

УДК 550.834

И.И. Семерикова

ИЗУЧЕНИЕ ЗОН ТРЕЩИНОВАТОСТИ ВБЛИЗИ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ НА ОСНОВЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Рассматриваются результаты сейсмических экспериментальных (физическое моделирование) исследований локальных зон трещиноватости в местах максимальной концентрации напряжений, их связи с протяженными разрывными нарушениями. Приводятся примеры для горных пород, различающихся прочностными свойствами. Ключевые слова: сейсмическое поле, сейсморазведка, флюидопроводящие трещины, силвинит, горная порода.

В данной работе внимание уделено рассмотрению возможностей сейсморазведки выявлять и оценивать как зоны разломов, содержащие флюидопроводящие трещины, так и объемные трещиноватые зоны — потенциальные коллекторские резервуары. Это весьма специфическая задача, и традиционные технологии оказываются неэффективными. Задача получения дополнительной информации на основе изучения изменения амплитудных и спектральных параметров отраженных волн в зависимости от параметров трещиноватости пород в последние годы вызывает появление и новых теоретических путей, на основе разнообразных представлений о моделях самих трещин [2]. Несмотря на имеющиеся теоретические исследования, посвященные описанию сейсмического поля для некоторых частных случаев подобных сред, решение прямой задачи не представлялось возможным в связи с многообразием реальных моделей. Трещиноватость в породах может быть различной — от выраженной единичной прерывистой трещины до закономерно распределенных в массиве систем трещин. Маловероятно поэтому создание в короткие сроки единой теории для описания поведения сразу всех

видов трещиноватых пород [4]. В связи с этим научные поиски обычно ведутся по одному из трех основных направлений:

- 1) учет одной трещины или системы параллельных трещин;
- 2) учет двух пересекающихся трещин или пересекающихся систем трещин;
- 3) изучение массива с произвольной трещиноватостью.

Хотя конечной целью является разработка общей теории, которая является надежным инструментом для прогноза поведения любого массива, несомненно, и то, что частные исследования, касающиеся структурной устойчивости горных пород, необходимы. Целесообразно в связи с этим детально изучить отдельные вопросы в проблеме определения поведения трещин, условий их роста. Простейшей для исследования системой является массив, содержащий единственную трещину или ряд параллельных трещин. В этом случае отклонение от поведения, описываемого теорией сплошной среды, наблюдается, прежде всего, тогда, когда массив по своему строению неоднороден.

Исследования проведены путем физического моделирования, когда на образце пород (на верхней грани

параллелепипеда 30*16*11 см) воспроизведена полевая расстановка сейсморазведки МОГТ [1, 7] (рис.1, а). Образец естественных пород состоит из сильвинитов с прослоями каменной соли. На рис. 1, б представлен стандартный временной разрез [7]. Затем в образце пород осуществлены (пропилены) поочередно разрывные нарушения (рис. 1, а) — протяженные трещины. Первое — под углом (падения) 68 градусов, длина его превышает длину сейсмического сигнала в два раза. Второе — под углом 48 градусов, длина его соизмерима с длиной сигнала. Сейсмические исследования также выполнялись поочередно: сначала в образце без трещин, затем — при наличии одной трещины, затем — в присутствии обеих трещин. На рис.1, б, в, г представлены соответственно стандартные временные разрезы.

Разрывные нарушения являются потенциальным источником локального возмущения естественного поля напряжений [3]. В работах. [10] выявлялись общие закономерности изменения напряженно-деформированного состояния соляного массива под нагрузкой. Однако изучение отдельных трещин связано с оценкой изменения естественного поля напряжений вблизи этих зон разрывных нарушений. Локальные изменения поля напряжений в окрестностях разрывных нарушений определяют повышенную трещиноватость породного массива [3].

Полученные временные разрезы ОГТ трансформированы в набор сейсмических дифференциальных параметров по методике распознавания трещинных зон по внутренней структуре [8, 9] (рис. 2). Данная методика выявления зон трещин и их разбраковки по внутренней структуре (протяженные, короткие разноориентированные) построена на расчете параметров-признаков по сейсмическому разрезу.

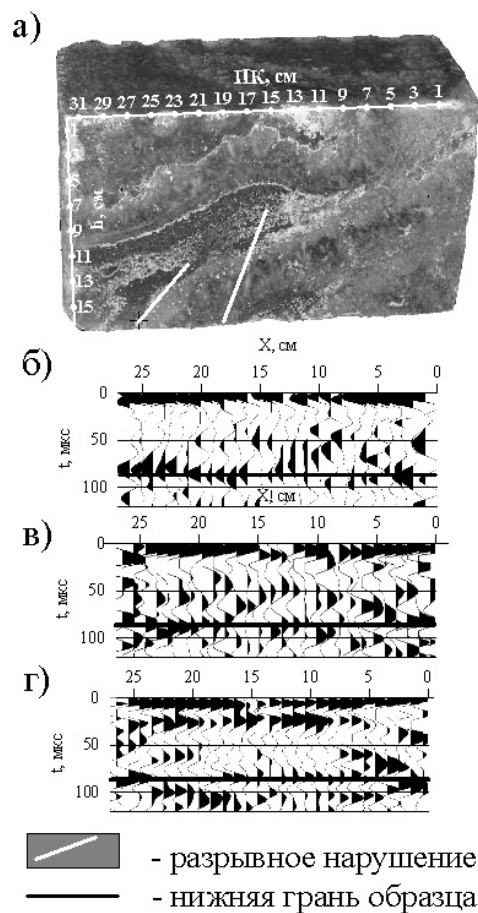


Рис. 1. Физическое моделирование: а — образец сильвинитовой породы для физического моделирования; временные разрезы МОГТ, полученные при физическом моделировании: б — образец без разрывных нарушений, в — образец с одним разрывным нарушением, г — образец с двумя разрывными нарушениями

Поисковые признаки для подобных зон в параметрах сейсмических волн установлены на основе моделирования (теоретического [8, 9], физического [1, 8, 9, 10]) отклика волновых полей на присутствие трещинных объектов, а так же по сейсмическим записям на трещинных объектах с известной геологией.

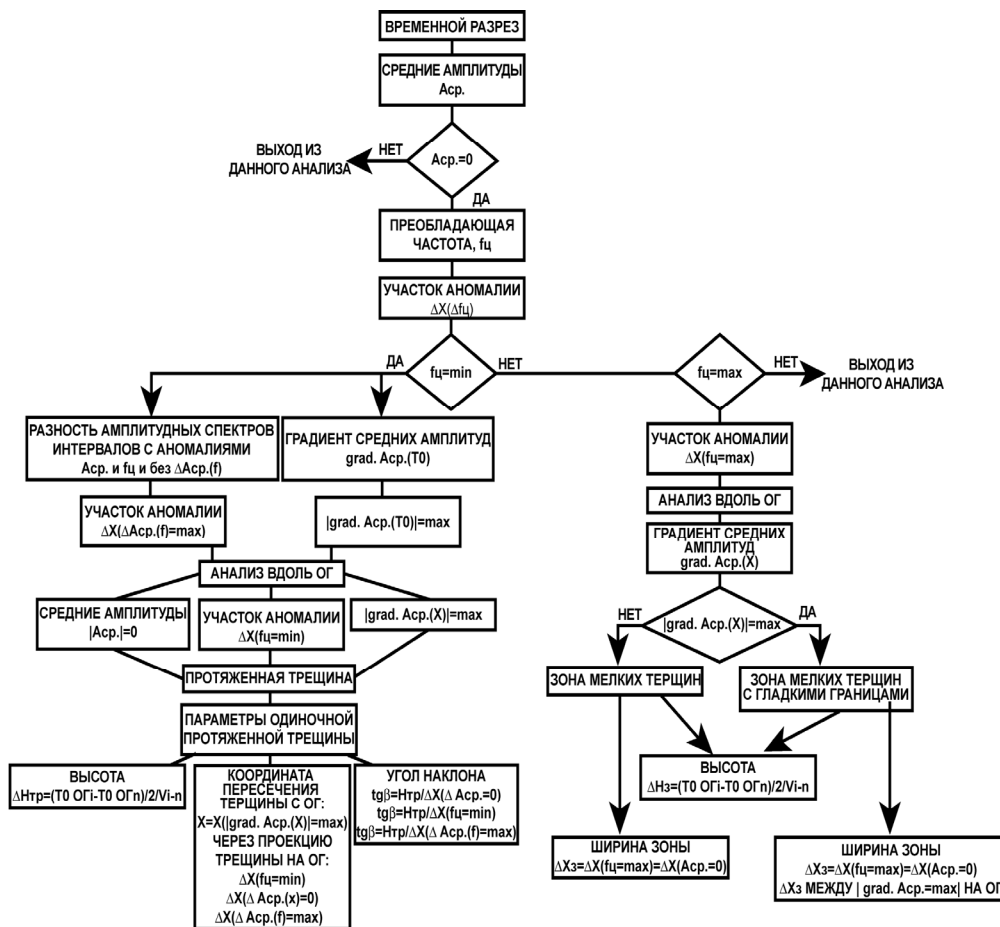


Рис. 2. Схема динамического анализа для выявления трещинных объектов

Установленные признаки зон трещин выражаются в аномалиях следующих динамических характеристиках: средние амплитуды A_{cp} , частотная координата центроида f_c , градиенты средних амплитуд по X и по t — $grad.A_{cp}(X)$ и $grad.A_{cp}(t)$, разность амплитудных спектров в интервалах с аномальными значениями параметров $\Delta A(f)$. Из множества динамических параметров в качестве поисковых признаков признавались лишь те, аномалии которых явились устойчивыми и статистически значимыми. Поисковые признаки сгруппированы по типам.

Универсальные характеризуют все типы трещинных зон, уникальные присущи либо только протяженным трещинам (соизмеримые и более длины волны сигнала) либо только совокупности мелких (короткие — менее длины волны сигнала) трещин.

Подход к решению данной задачи состоит в ее разбиении на три задачи. Первая задача состоит в получении дифференциальных динамических параметров в виде временных разрезов. Она решается в рамках построенной методики динамического анализа поотсчётно. Вторая задача со-

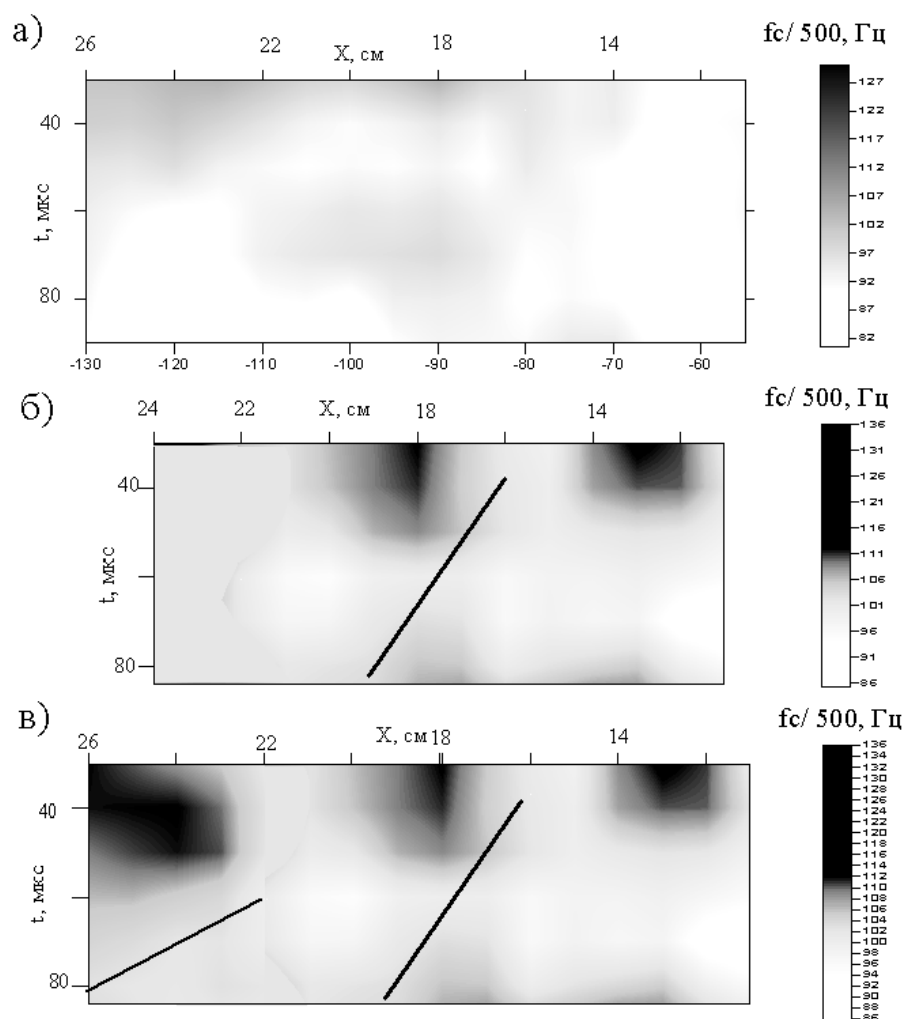


Рис. 3. Спектральная характеристика (частотная координата центра) для образца: *а* — без разрывных нарушений; *б* — с одним разрывным нарушением; *в* — с двумя разрывными нарушениями

стоит в нахождении определенного вида аномалий в поведении данных динамических параметров по разрезам, вызванных наличием трещинного объекта того или иного класса (рис.2). При этом эти аномалии должны превосходить уровень помех, оставшихся после обработки. Другими словами, тогда производится оценка степени достоверности существования данных аномалий на основе определения по-

грешностей, оставшиеся после компенсации остальных факторов, влияющих на данные сейсмические параметры. Для каждого временного отсчета можно записать уравнение аппроксимации коэффициента вероятности существования аномалии динамического параметра в виде ограниченной последовательности. Третья задача — формирование временного разреза эффективного пара-

метра вероятности наличия трещинного объекта.

В результате использования данной методики в нашем эксперименте изменения напряженно-деформированного состояния выразились в формировании локальных зон повышенной мелкой трещиноватости в местах разгрузки максимально сконцентрированных напряжений — на конце протяженной трещины. Образовавшиеся зоны аномалии спектрального параметра f_c на разрезе (рис. 3) с трещиной симметричны относительно самой трещины и имеют неизометричную форму. Эта форма подобна «бабочке», симметрично вытянута под углом к трещине. При появлении второй трещины так же появляется аномальная зона данного параметра на конце второй трещины (рис. 3.в). Форма этой аномалии напоминает «полбабочки» — аномалия имеется лишь с одной стороны от этой трещины, дальней от соседней первой трещины. Такая же вытянутая под углом ко второй трещине аномалия наблюдается на разрезе амплитудной характеристики $|A_{cp}|$ (рис. 4, б). Наконец, на разрезе параметра, соответствующего классу мелких разноориентированных трещин зона вновь сформировавшейся мелкой трещиноватости на концах данных трещин имеют аналогичный вид (рис. 5).

Картина нарушенности пород вблизи трещины согласуется лишь частично с известными в однородном массиве [4, 5]. Это обусловлено изменчивостью прочностных свойств пород образца, состава и структуры разнородных прослоев [3, 4]. Кроме того, влияние разрывных нарушений друг на друга здесь весьма наглядно [6]. Зона сформировавшейся мелкой трещиноватости на конце второй трещины имеется лишь с од-

ной стороны от этой трещины, дальней от соседней первой трещины.

В работах [3] по изучению геомеханических процессов в соляных породах показано, что на условие роста трещины в соляных породах значительное влияние оказывает эффект пластического деформирования среды, наиболее существенно проявляющийся в вершине трещины. Рассматривая известные теории, связывающих предельное напряженное состояние в теле с хрупким разрушением общие представления о размерах и форме зоны пластичности при вершине трещины в металлах [5] можно сделать ряд выводов. Согласно расчетам в данных работах зоны пластических деформаций при вершине трещины в зависимости от принимаемой исходной математической модели имеют изометричную либо гантелеобразную форму (рис. 6). Однако данные теории разработаны для металлов, для горных же пород механизм разрушения находится в стадии изучения. В тоже время, углы оси наблюдаемой «бабочки» с линией трещины составляют на разрезах параметров 125, 120, и 140 градусов, что примерно согласуется с выводами данных теорий. Здесь необходимо обратить внимание, что в нашей работе выделены зоны мелких трещин. Поэтому данные зоны нужно отличать от зон пластических деформаций, и называть зонами запредельных деформаций.

Данные исследования показали возможности изучения при отсутствии прямых физико-механических определений механизма разрушения, специфических особенностей деформации, интенсивности развития микродефектов соляных пород с использованием методов динамического анализа сейсмических данных.

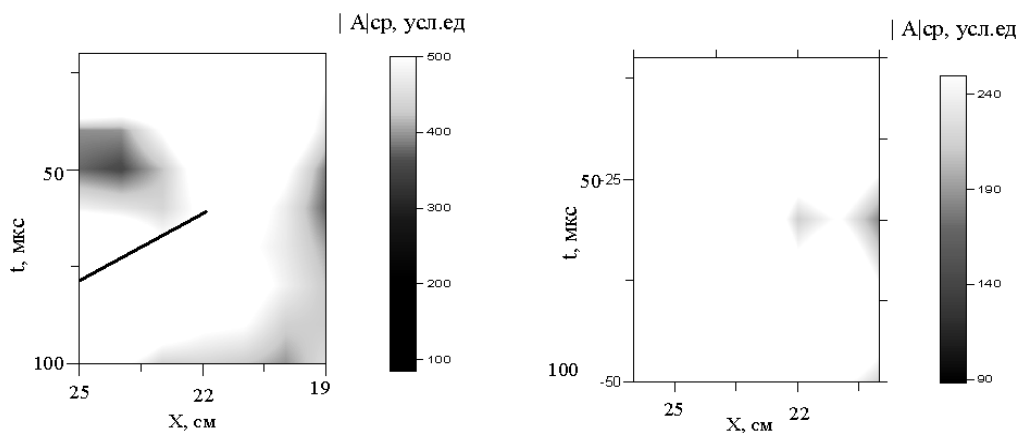


Рис. 4. Амплитудные характеристики: а — для образца без разрывных нарушений, б — для второго разрывного нарушения

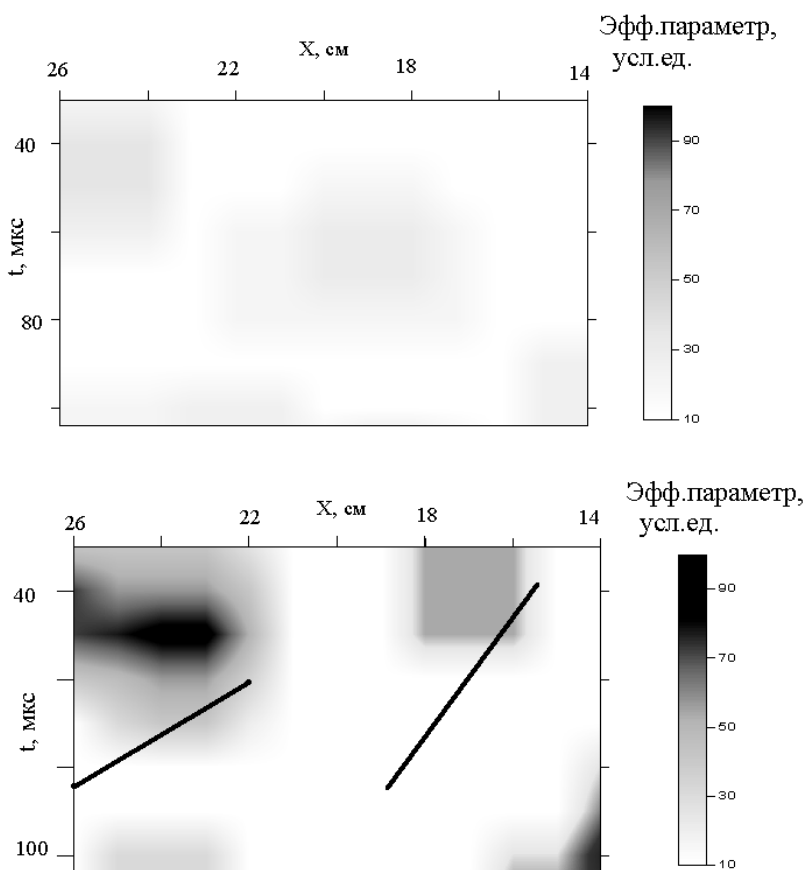


Рис. 5. Эффективный параметр вероятности наличия трещиноватого объекта: а — образец без разрывных нарушений, б — образец с двумя разрывными нарушениями

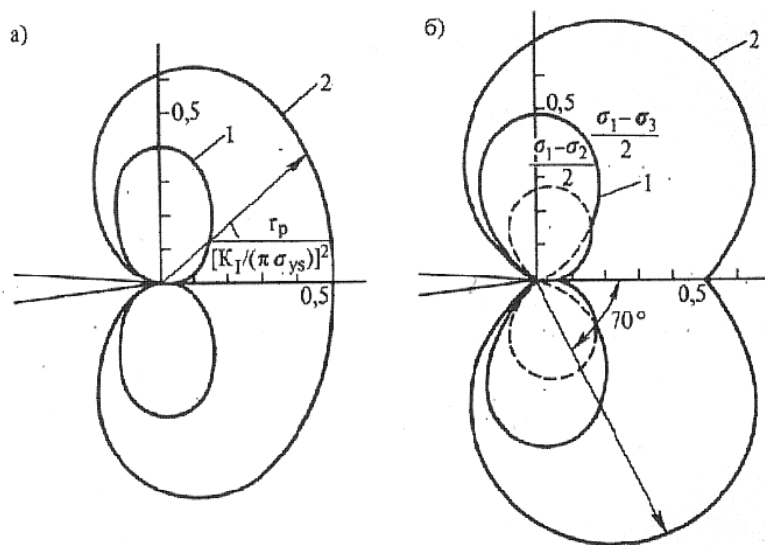


Рис. 6. [5] Формы зон пластичности, получающиеся в результате применения условий пластичности Мизеса и Треска: а — критерий Мизеса; б — критерий Треска: 1 — плоская деформация; 2 — плоское напряженное состояние [5]

Данные исследования показали возможности изучения при отсутствии прямых физико-механических определений механизма разрушения, специфических особенностей деформации, интенсивности развития микродефектов соляных пород с использованием методов динамического анализа сейсмических данных. Таким образом, учитывая ограниченность существующих методов наблюдения за процессами

разрушения (теоретические геомеханические расчеты; различного типа микроскопы, исследующих породы лишь на сколе; акустическая эмиссия), считаем, что найденный сейсмический подход позволяет «напрямую» наблюдать эти процессы в горных породах и исследовать закономерности образования локализованных зон микротрещиноватости и их связи с протяженными разрывными нарушениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабкин А.И., Ахматов А.Е. Оценка возможностей метода многократных перекрытий для картирования единичного разрывного нарушения на основе физического моделирования. // Стратегия и процессы освоения георесурсов. Сборник докладов. Пермь: Горный институт УрО РАН, 2004.

2. Баранский И.Л., Козлов Е.А., Мушин И.А., Давыдова Е.А. Проявление гидравлической связности порового пространства на сейсмических записях. // Тезисы докладов VII-ой Международной научно-практической

конференции «Геомодель — 2005». Геленджик. — С. 101—102.

3. Барях А.А., Еремина Н.А., Грачева Е.А. Оценка условий развития трещин в подработанном соляном массиве // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 1994. — № 5.

4. Бест Б.С. Механизм разрушения трещиноватых скальных пород. / Введение в механику скальных пород: Пер. с англ./ Под ред. Х. Бока. — М.: Мир, 1983. — С. 151—158.

5. Броек Д. Основы механики разрушений. Лейден, 1974. Перв. с англ.. — М.: Высшая школа, 1980. — 368 с.

6. Салганик Р.Л., Афанасенко Г.В., Иофис И.М. Горное давление: Учеб. для вузов. — М.: Недра, 1992. — 208 с.

7. Санфиоров И.А. Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ. Екатеринбург: УрО РАН, 1999.

8. Семерикова И.И. Динамические характеристики сейсмических волн при решении геологических задач в трещиноватых средах./Стратегия и процессы освоения георесурсов: Материалы науч. сессии Горно-

го ин-та УрО РАН. Пермь: Горный институт УрО РАН, 2005. — С. 138—142.

9. Семерикова И.И. Методика распознавания трещинных сред в сейсмических волновых полях. // Тезисы докладов VII-ой Международной научно-практической конференции «Геомодель — 2005». Геленджик, 13—19

10. Семерикова И.И. Использование методики распознавания трещинных сред для изучения изменения напряженно-деформированного состояния пород. // Тезисы докладов IX Международной научно-практической конференции «ГЕОМОДЕЛЬ-2007». Геленджик, 2007. — С. 28. **ПЛАТ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Семерикова И.И. — кандидат технических наук, научный сотрудник Горного института, Уральское отделение Российской академии наук, irina.semerikova@gmail.com, asa_ira@mi-perm.ru.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ БУРОВЫХ КОРОНОК (849/12-11 от 22.09.2011)

Боярских Илья Геннадьевич – Уральский государственный горный университет, igb2000@mail.ru

Проведен вероятностный анализ и разработана методика оценки структурной надежности коронок на этапах конструирования, производства и эксплуатации коронок; на этой основе разработана аналитическая модель структурной надежности буровых коронок, раскрывающая численными методами причинно-следственную связь параметров конструкции, изготовления и эксплуатации с надежностью структурных элементов коронок и показывающая возможность ее повышения путем структурного, временного и нагрузочного резервирования элементов армирования.

Ключевые слова: алмазная заточка, буровые коронки, бездефектность, технологическая и эксплуатационная наследственность.

Boyarskikh I.G. STRUCTURIZATION RELIABILITY AT MANUFACTURING AND OPERATION OF CHISEL CROWNS

The likelihood analysis is carried out and the technique of an estimation of structural reliability of crowns at stages of designing, manufacture and operation of crowns is developed; on this basis the analytical model of structural reliability of the chisel crowns, opening by numerical methods a relationship of cause and effect of parametres of a design, manufacturing and operation with reliability of structural elements of crowns and showing possibility of its increase by structural, time and loading reservation of elements of reinforcing is developed.

Key words: diamond grinding jackbits, zero defects, a technological and operational heredity.