

6
A-29

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ И МЕХАНИКИ ГОРНЫХ ПОРОД

На правах рукописи

Аспирант Колоколов С.Б.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ НА РАЗРУШЕНИЕ
МАССИВА, ОКРУЖАЮЩЕГО ГОРНУЮ ВЫРАБОТКУ

Специальность 311. Подземная разработка и
эксплуатация угольных, рудных и нерудных
месторождений

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Фрунзе, 1968

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ И МЕХАНИКИ ГОРНЫХ ПОРОД

На правах рукописи

Аспирант Колоколов С.Б.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ НА РАЗРУШЕНИЕ
МАССИВА, ОКРУЖАЮЩЕГО ГОРНУЮ ВЫРАБОТКУ

Специальность 311. Подземная разработка и
эксплуатация угольных, рудных и нерудных
месторождений

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Фрунзе, 1968

6
A29

Работа выполнена в Карагандинском политехническом институте

Научный руководитель: кандидат технических наук,
доцент П.В.Акимочкин

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Е.С.Ержанов

кандидат технических наук
К.П.Шкурина

Ведущее учреждение - институт Карагандагипрошахт

Автореферат разослан « 23 » ноябрь 1968 г.

Защита диссертации состоится на заседании
Объединенного ученого совета по естественным и
техническим наукам АН Киргизской ССР.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Академии наук Киргизской ССР.

Ученый секретарь Совета,
кандидат химических наук

В.А.Афанасьев

321217

Центральная научная
библиотека
Академии наук Киргизской ССР

Разработка месторождений полезных ископаемых подземным способом требует проведения и поддержания большого количества горных выработок. В настоящее время непроизводительные затраты на поддержание выработок составляют довольно значительную долю общих затрат на горные работы. Так, например, только при строительстве шахт в новых районах Карагандинского угольного бассейна на перекрепление и ремонт выработок расходуется от 15 до 27 процентов стоимости всех горных работ. Причиной частых поломок крепи является горное давление, развивающееся во вмещающей выработку массиве горных пород. Многочисленные исследования в области горного давления направлены на изучение процессов, происходящих в массиве в окрестности горной выработки, из которых основными являются разрушение и движение массива.

Настоящая диссертация посвящена изучению процесса разрушения массива в результате проведения в нём горной выработки и влияния естественной трещиноватости массива на этот процесс. Работа выполнена в течение 1965-1967 гг. в Карагандинском политехническом институте и на шахтах Карагандинского угольного бассейна. Диссертация состоит из пяти глав, введения, заключения и приложений.

В первой главе кратко освещены основные методы аналитического определения величины зоны разрушения.

На характер разрушения массива и глубину распространения зоны разрушения оказывает влияние большое число факторов, многие из которых нашли отражение в методах расчёта зоны разрушения М.М.Протоdjeконова, Р.Квапица, В.Д.Слеса-

рева, Г.Н.Савина, А.Лабасса, К.В.Гуппенейта и др. Однако, один из важных факторов - естественная трещиноватость массива - остаётся пока неучтённым. В то же время результаты исследований, проведенных в натуральных условиях и на моделях (О.С.Алфёров, В.И.Борщ-Компанеев, П.В.Васильев, Т.Р.Дзикая, П.Н.Кувяев, С.Н.Малинин, Э.Ф.Мельников, А.Д.Сорокин и др.), говорят о том, что этот фактор имеет существенное значение в формировании давления на крепь горных выработок. Экспериментальные исследования, приуроченные к конкретным горногеологическим условиям не позволяют сделать обобщающих выводов, которые могли бы лечь в основу методики учёта трещиноватости. Поэтому необходимо теоретическое рассмотрение вопроса для установления механизма влияния природных трещин на разрушение массива. Целью настоящей работы является аналитическое изучение процесса разрушения массива за счёт прорастания естественных трещин нормального разрыва, а также необходимые лабораторные и натурные исследования. В целом задачи исследования могут быть сформулированы следующим образом.

1. Аналитическое определение условий равновесия трещин нормального разрыва в окрестности горной выработки и установление зоны, в пределах которой указанные трещины в результате образования выработки становятся неравновесными. Выяснение влияния параметров естественной трещиноватости на величину и характер этой зоны.

2. Экспериментальное определение характеристики сопротивления материала росту трещин - модуля сцепления - для горных пород Карагандинского бассейна.

3. Исследование разрушения массива вокруг подготовительных выработок в условиях шахт Карагандинского бассейна и оценка результатов аналитических исследований.

Вторая глава посвящена построению аналитического решения задачи о разрушении массива за счёт роста трещин нормального разрыва, находившихся до проведения выработки в раскрытом состоянии.

Для описания процесса разрушения в трещиноватых массивах необходимо обратиться к теории разрушения (теории трещин), разработанной в трудах А.Гриффитса, Г.Ирвина, С.А.Христиановича, Г.И.Баренблатта, М.Я.Леонова, В.В.Панасюка, Г.П.Черепанова и др. Разрушение твердых тел представляет собой сложный процесс возникновения, накопления и развития (устойчивого и неустойчивого) дефектов структуры: дислокаций, микро - и макротрещин. Поскольку первые стадии разрушения не наблюдаются невооруженным глазом, под хрупким разрушением обычно понимают последнюю стадию - разделение тела на части неустойчиво растущими трещинами. Согласно теории трещин рост трещин начинается в том случае, если в кончиках их удовлетворяются некоторые предельные условия. Существует несколько форм записи этих условий (в напряжениях, в деформациях и др.). В отечественной литературе наибольшее распространение получило выражение предельных условий через модуль сцепления материала, предложенное Г.И.Баренблаттом.

Условие роста трещин нормального разрыва записывается, по Г.И.Баренблатту, следующим образом

$$N_0 \geq \frac{K}{\sigma} \quad (1)$$

где

N_0 - коэффициент интенсивности нормальных напряжений в кончике трещины, определяемых методами теории упругости,

K - модуль сцепления пород.

Таким образом, оценка равновесия любой трещины может быть дана, если известен коэффициент интенсивности напряжений N_0 (при условии, что модуль сцепления предварительно определен). Задача определения N_0 решается методами теории упругости при следующих общепринятых предположениях. Массив горных пород представляется в виде невесомой изотропной и упругой плоскости, сжатой в бесконечности вертикальным давлением $p = \gamma h$ и горизонтальным $q = \lambda p$, (где γ - средний объёмный вес вышележащих пород, h - глубина расположения выработки, λ - коэффициент бокового распора). Трещины в массиве моделируются прямолинейными разрезами, берега которых не налегают друг на друга. Предполагается, что трещины поддерживаются в раскрытом состоянии давлением, равным давлению в нетронутом массиве на площадках, совпадающих с плоскостью трещины.

Проведение горной выработки вызывает искажение напряжённого состояния в её окрестности и нарушение граничных условий на берегах трещины. Дополнительные напряжения, возникающие на берегах трещины создадут локальное напряжённое состояние около трещины. При этом та или иная трещина может закрыться, если дополнительные напряжения сжимающие. Если

последние являются растягивающими, то либо трещина остаётся равновесной за счёт увеличения сил молекулярного сцепления в концевой области, либо выполняется условие (I) и трещина начинает интенсивно расти. Таким образом, оценка равновесия трещин сводится к определению коэффициента интенсивности напряжений N_0 в вершинах трещин при нагружении их дополнительными напряжениями на берегах. Решение задачи осуществляется путём последовательного рассмотрения отдельных трещин. Влиянием соседних трещин пренебрегается. Рассматриваются трещины, размеры которых малы в сравнении с размерами выработки, и следовательно, влиянием первых на граничные условия на контуре выработки можно пренебречь.

Ввиду того, что напряжённое состояние в плоскости линейно зависит от напряжений p , действующих в бесконечности, дополнительные напряжения на берегах трещин можно представить в виде

$$\sigma(z) = p \cdot L(z), \tag{2}$$

где

z - комплексная координата,

$L(z)$ - безразмерный коэффициент, выражающий собой концентрацию напряжений в точке с координатой z

Величина $L(z)$ зависит, кроме z , от коэффициента бокового распора λ и угла наклона трещины к горизонту α

Используя метод Н.И. Мусхелишвили для определения напряжений в плоскости с прямолинейными разрезами, условие (I)

применительно к рассматриваемой задаче можно записать следующим образом

$$\int_0^1 (1-\xi)^{1/2} \cdot \xi^{-1/2} \cdot pL(\xi) d\xi \geq \frac{K}{\sqrt{2l}}, \quad (3)$$

где

$2l$ - длина трещины,

$$\xi = \frac{t-a}{2l}$$

t - координаты точек вдоль линии трещины (ot - действительная ось, совпадающая с линией трещины),

$t=a$ - координата ближайшего к выработке конца трещины.

Обозначив для краткости

$$A = \int_0^1 (1-\xi)^{1/2} \cdot \xi^{-1/2} \cdot L(\xi) d\xi, \quad (4)$$

а величину $p = const$ вынеся из-под интеграла, выражение (3) можно представить в виде

$$p \geq \frac{K}{A\sqrt{2l}}. \quad (5)$$

Выполнение условия (5) ведёт к росту трещины. Таким образом, для каждой трещины существует некоторое критическое значение $p = p_{кр.}$, при котором она начинает неудержимо расти. $p_{кр.}$ является функцией от нескольких параметров

$$p_{кр.} = f_1(z, 2l, \alpha, K, \lambda). \quad (6)$$

В свою очередь, в результате проведения выработки в массиве может возникнуть некоторая зона, в которой выполняется условие $p > p_{кр.}$. На контуре этой зоны $p = p_{кр.}$.

Формула контура представляет собой сложную функцию

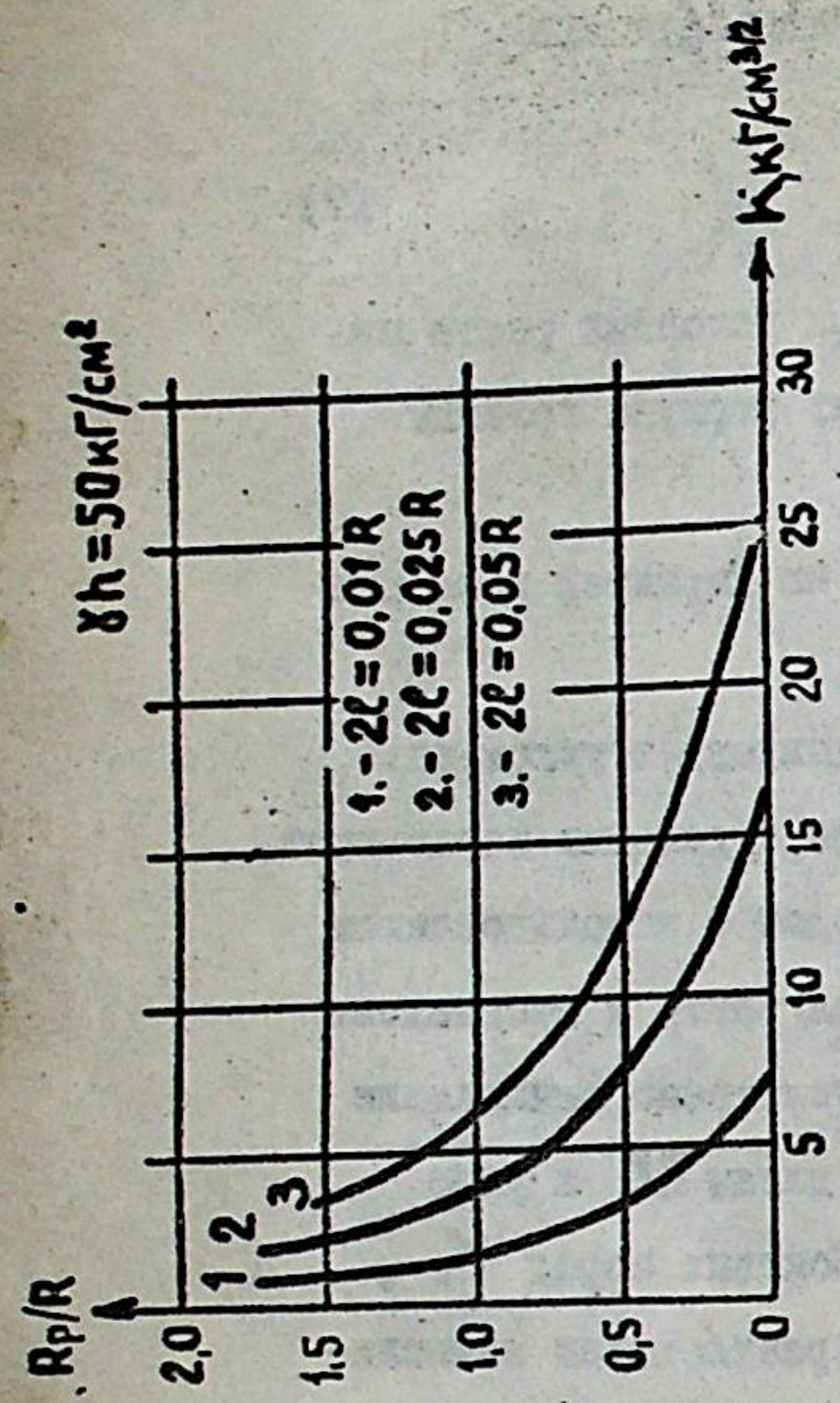
$$z = f_2(p, 2l, K, \alpha, \lambda). \quad (7)$$

Вне пределов этой зоны трещины в данных условиях расти не могут, следовательно выражение (7) есть формула границы зоны возможного разрушения.

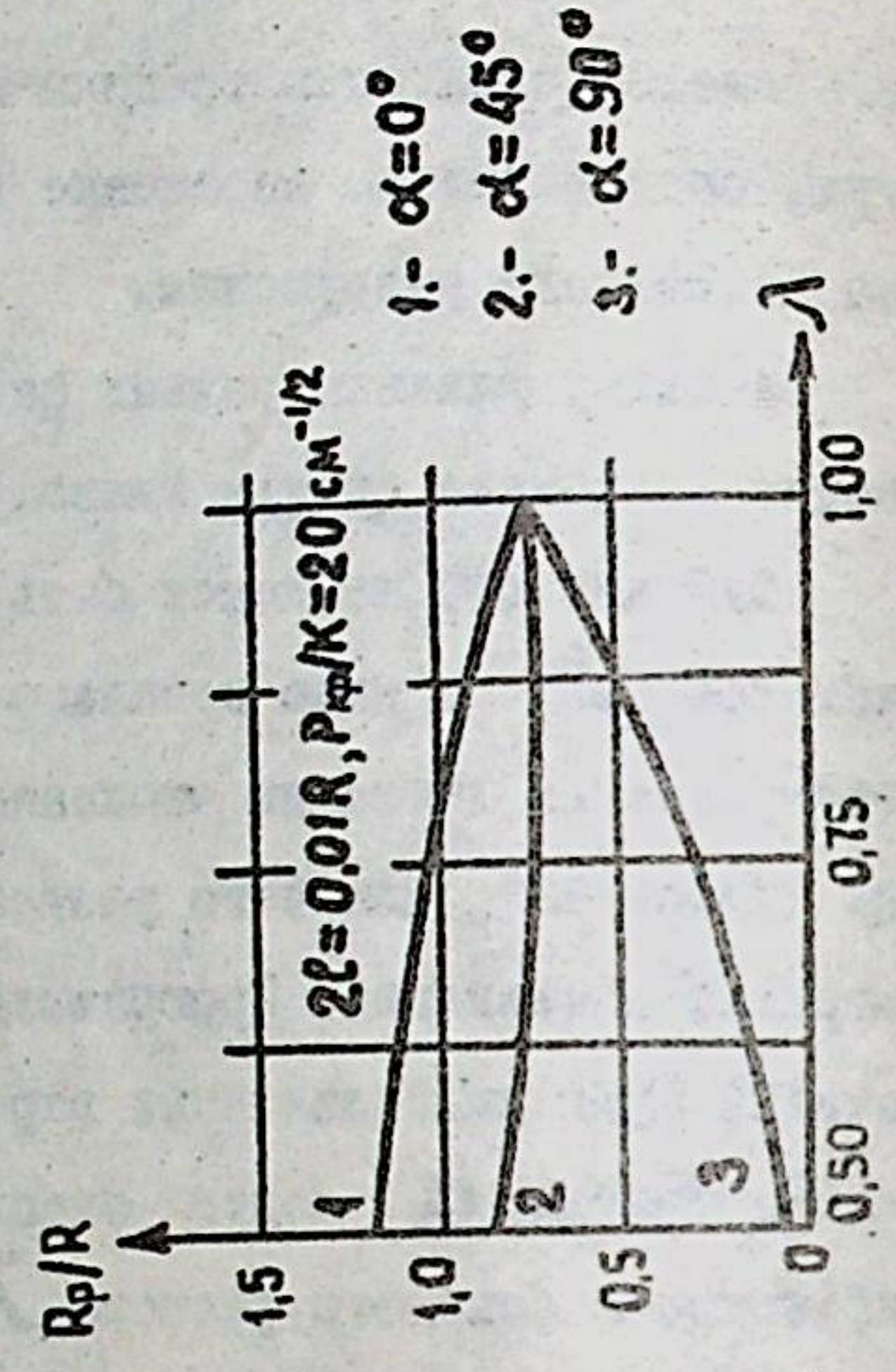
Анализ влияния разных факторов на характер зоны разрушения посвящена третья глава.

Функция (7) не может быть представлена в таком виде, в котором было бы явно показано влияние отдельных параметров. Поэтому анализ выполнен численным методом с использованием ЭВМ "Минск-22", для чего разработан алгоритм и составлена программа вычислений. Программой предусмотрено вычисление значений $p_{кр.}$ для различных вариантов длины $2l$ и угла наклона трещины α , модуля сцепления боковых пород K , коэффициента бокового распора λ . По результатам вычислений построены изолинии значений $p_{кр.}$ для рассмотренных вариантов. Для конкретной величины p изолиния $p_{кр.} = p$ является границей зоны разрушения.

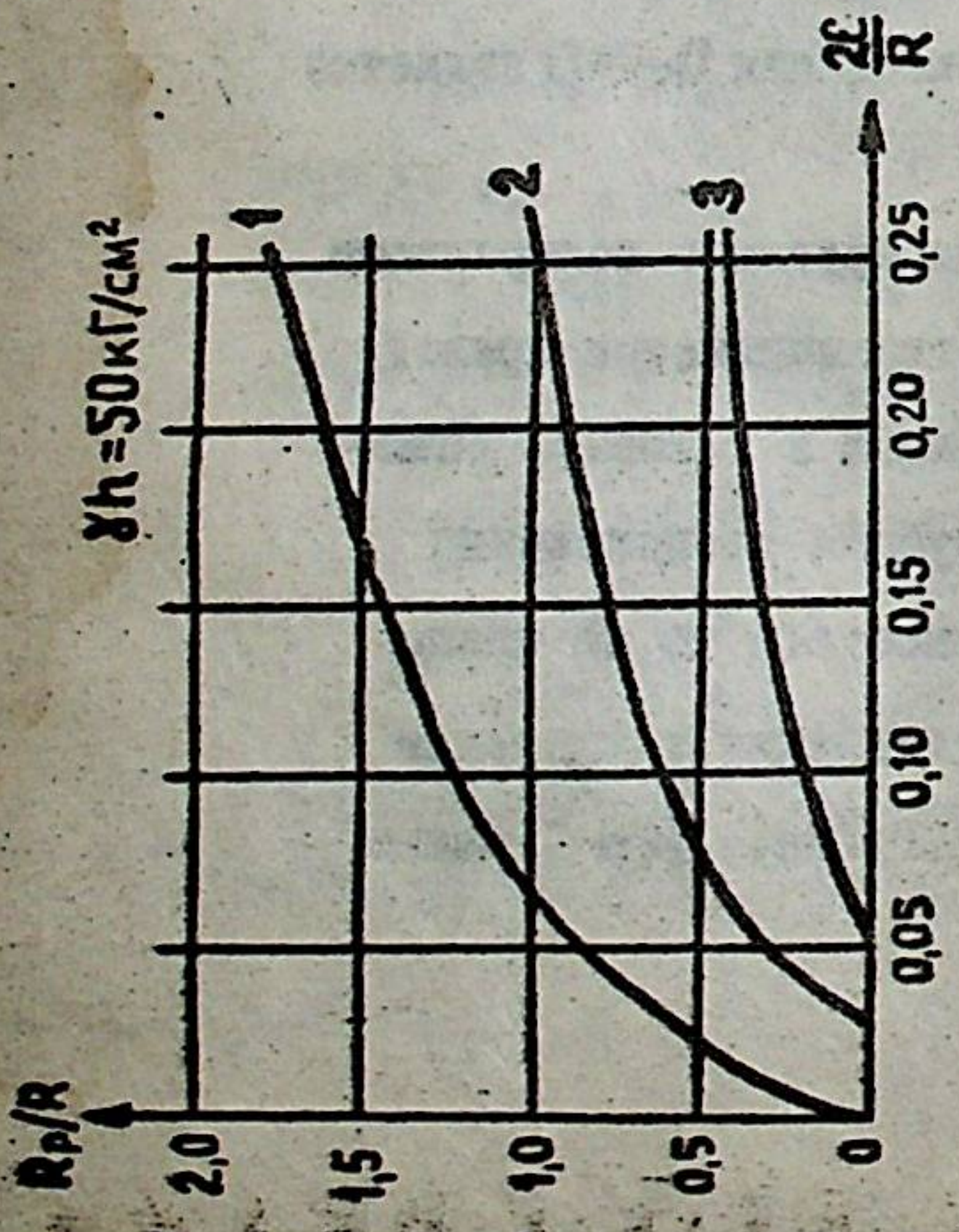
Анализ, проведённый для выработки круглого поперечного сечения показал, что зона разрушения ограничивается кривой параболического типа, вытянутой по нормали к наиболее опасной системе трещин. При увеличении глубины расположения выработки зона разрушения растёт по высоте, в то же время мало изменяясь в ширине. Обозначив максимальное удаление контура зоны от выработки радиусом разрушения R_p , можно



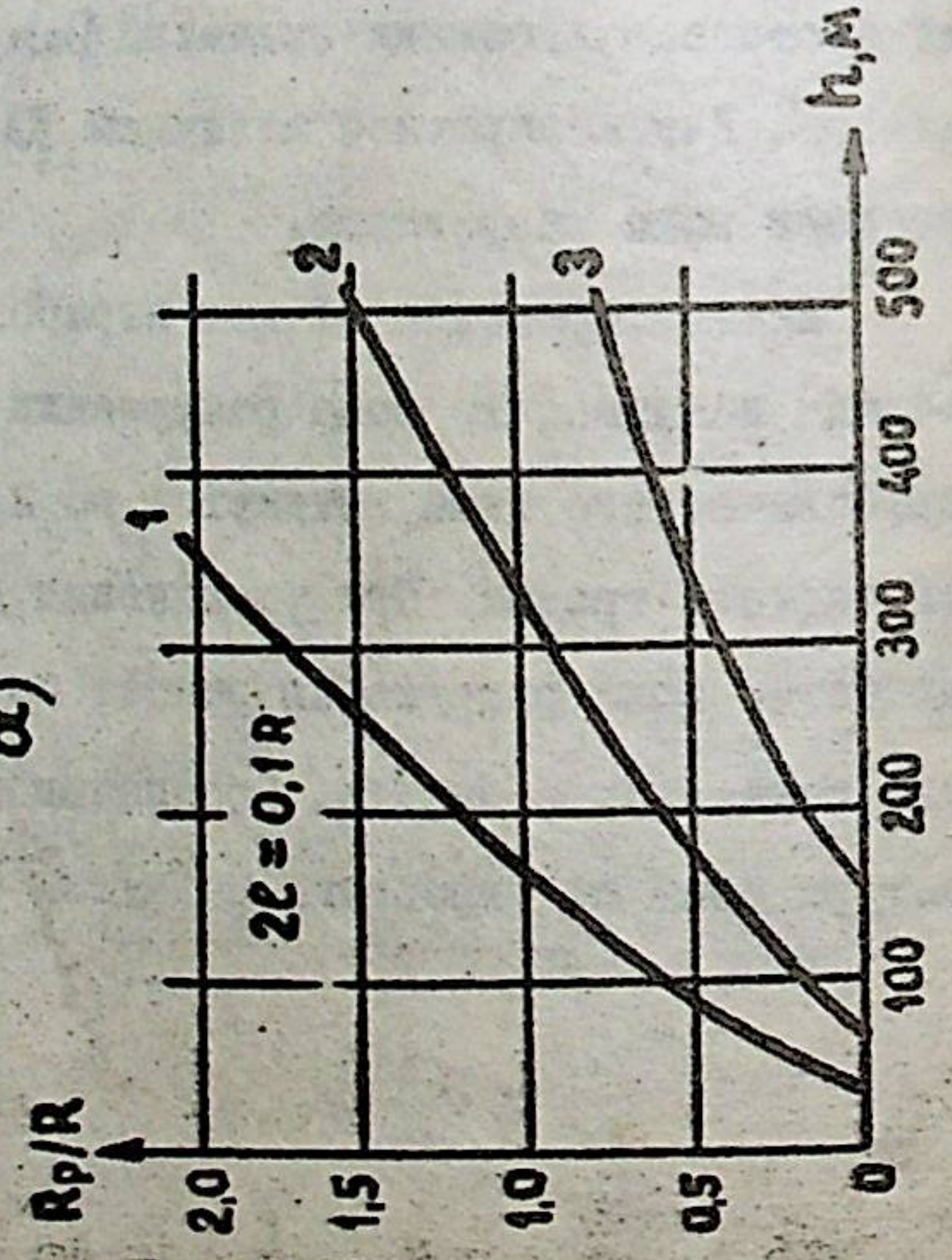
б)



2)



а)



б)

рис. 1

характеризовать величину зоны величиной R_p . На рис. 1 приведены некоторые из полученных зависимостей.

Рис. 1а и 1б иллюстрируют влияние длины трещины $2l$ и глубины расположения выработки h на величину R_p/R , (где R - радиус выработки), для случая $\lambda = 1$. Кривые 1-3 соответствуют значениям модуля сцепления пород K , равным 5, 15 и 25 $\text{кг/см}^{3/2}$. На рис. 1в и 1г показаны зависимости R_p/R от модуля сцепления K и коэффициента бокового распора λ .

Для практического построения зоны разрушения необходимо знать модуль сцепления K окружающих пород. Методика и результаты определения модуля сцепления изложены в четвертой главе.

Модуль сцепления зависит от плотности поверхностной энергии и упругих констант материала. Опыт измерения поверхностной энергии и модуля сцепления освещен в работах В.Д.Кузнецова, В.В.Панасюка, С.Е.Ковчика, С.С.Яремы, Г.С.Крестина и др. Сведения о величине модуля сцепления различных материалов весьма ограничены, а для горных пород вообще отсутствуют. Идея экспериментального метода определения модуля сцепления состоит в установлении предельной нагрузки, при которой разрушается образец с предварительно нанесенной трещиной. Если известно напряженное состояние у вершины трещины в момент разрушения, величина модуля сцепления может быть вычислена по формуле (1). Определение напряжений у вершины трещины представляет значительную трудность. Простейшая схема - растяжение пластинки с одиночной прямолинейной трещиной, перпендикулярной направле-

ние растягивающих усилий, применяемая при определении модуля сцепления конструктивных материалов, не может быть использована для этой цели в экспериментах с горными породами. Причиной этого является чрезвычайная трудоёмкость изготовления образцов горных пород с внутренними трещинами. Поэтому при составлении методики определения модуля сцепления горных пород особое внимание уделено схемам, которые было бы возможно воспроизвести в лабораторных условиях. Наиболее удобной является схема растяжения прямоугольной пластинки с трещиной, выходящей на её контур. Решение этой задачи, данное О.Бови и Д.Нилом, использовано в разработанной методике экспериментального определения модуля сцепления горных пород.

Из штучек горных пород изготавливаются квадратные пластинки, в которых тонким алмазным диском прорезается щель. В конце щели острой пластинкой делается надрез. Крепление образцов на механическом прессе производится с помощью специально сконструированного приспособления, обеспечивающего передачу нагрузки в плоскости образца. К захватам приспособления образцы приклеиваются эпоксидным клеем. Образцы подвергнутся растяжению перпендикулярно щели до разрушения. На основе результатов работы О.Бови и Д.Нила определяется значение N_0 , соответствующее разрушающей нагрузке, после чего по формуле (I) вычисляется значение модуля сцепления K .

Определение модуля сцепления проведено для наиболее типичных пород Карагандинского бассейна - песчаников кре-

пость 4 и 7 по М.М.Протодакионову. Установлено, что модуль сцепления песчаников крепость 4 равен $0,19 \text{ даи/м}^{3/2} = 6,0 \text{ даи/см}^{3/2} = 6,1 \text{ кг/см}^{3/2}$ при коэффициенте вариации 15,6 %, а песчаника крепость 7 равен $0,68 \text{ даи/м}^{3/2} = 21,5 \text{ даи/см}^{3/2} = 21,9 \text{ кг/см}^{3/2}$ при коэффициенте вариации 18,7 %. Сравнение модулей сцепления различных материалов показало, что модули сцепления стекла, бетона и песчаника являются величинами одного порядка.

В пятой главе излагаются результаты исследований зоны разрушения и трещиноватости массива в шахтах Карагандинского бассейна.

Для изучения разрушения в окрестности подготовительных выработок были установлены замерные станции с глубинными реперами. Репера располагались в кровле, почве и боках выработок на расстоянии от 0,7 до 6 м от контура выработки. Изучение движения реперов показало, что на некотором расстоянии от контура смещения точек массива резко уменьшаются. Многие авторы объясняют этот факт тем, что смещения у контура в значительной степени возрастают за счет разрушения протекающего в этой части массива. Данные замеров смещений позволяют оценить размеры зоны больших смещений, которая может считаться зоной разрушения. Исследования, проведенные на шахтах Карагандинского бассейна показали, что зона разрушения в кровле выработок, сложенной песчаником средней крепости, достигает 0,7 - 2,0 м. В аналогичных условиях величина зоны разрушения определялась методом нагнетания в массив старого воздуха. Высота зоны интенсивной трещино-

кратости, установленная этим методом, составляет 0,7 м в кровле и 0,4 м в боках выработок. Эти результаты совпадают с данными, полученными А.М.Фридляндом на шахтах новых районов Карагандинского бассейна.

Для выявления характера трещиноватости проведены массовые замеры трещин в подготовительных выработках шахт Саранского участка. Обработка результатов замеров выполнена методом стереографических проекций. Определены элементы залегания основных систем трещин, характерных для участка.

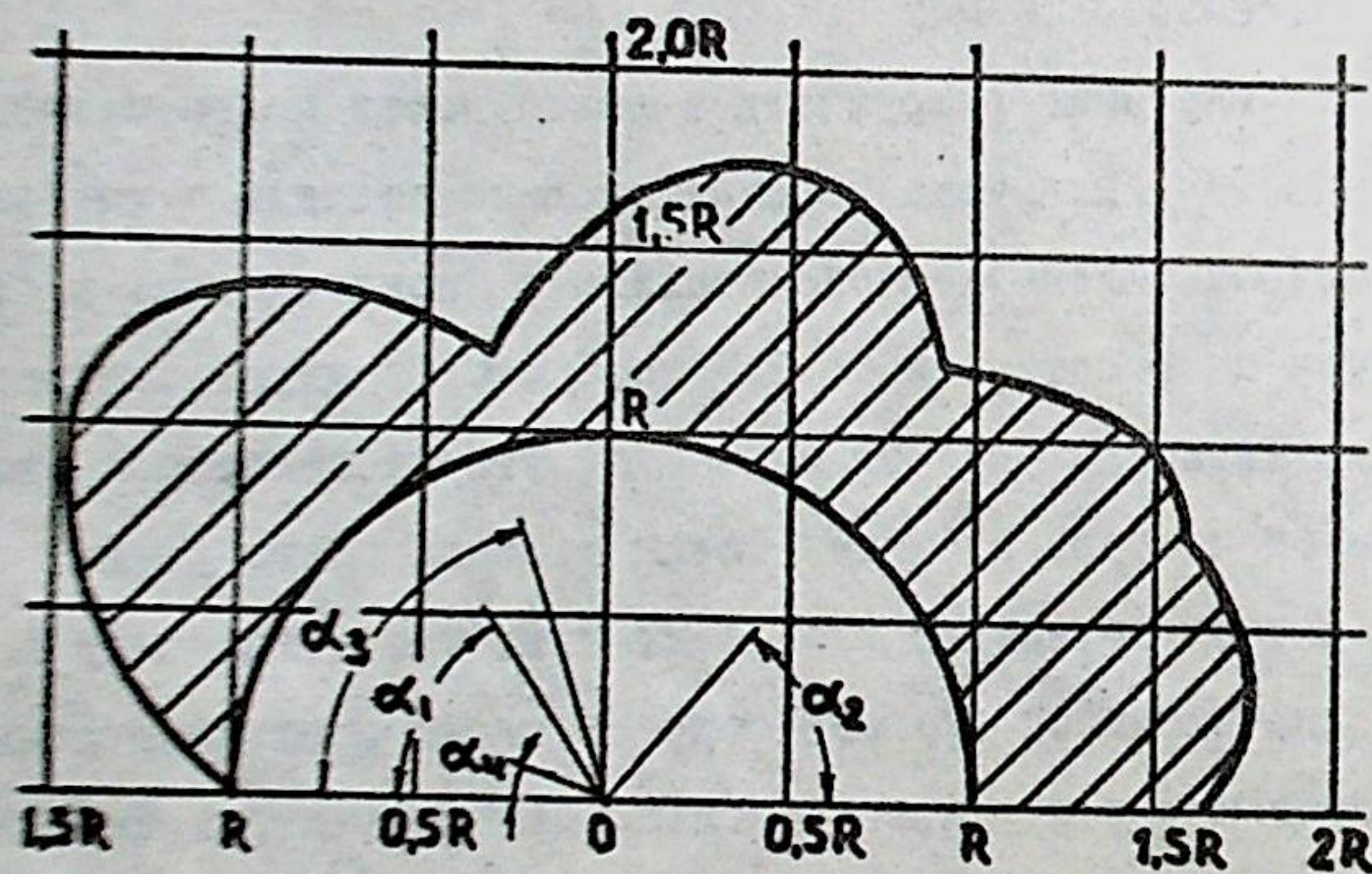


рис.2

Результаты шахтных исследований трещиноватости, а также лабораторного определения модуля сцепления использованы для построения зоны возможного разрушения массива в условиях полевого участка шахты к. 120-Саранской Карагандин-

ского бассейна. На рисунке 2 приведена теоретически рассчитанная зона разрушения, форма и размеры которой позволяют судить о характере и величине давления на крепь выработки.

ВЫВОДЫ.

1. Оценка влияния естественной трещиноватости на разрушение массива произведена на основе положений теории трещин. Определены условия, при которых трещины в окрестности выработки начинают интенсивно расти, разрушая массив. Показана возможность аналитического определения величины зоны разрушения с учётом естественной трещиноватости.

2. Разработан алгоритм вычисления критического значения давления $p = \gamma h$ при котором начинается рост трещины. Составлена программа и проведены вычисления на ЭВМ "Минск-22".

3. В результате численного анализа установлен характер влияния различных факторов на зону разрушения. Показано, что наиболее опасным для разрушения кровли выработки является горизонтальное расположение трещин, а для разрушения стенок выработки - вертикальное. Вертикальные трещины не влияют на разрушение кровли. Увеличение длины трещин в нетронутом массиве ведёт к увеличению зоны разрушения при проведении выработки. Установлено, что зона разрушения ограничена кривой параболического типа и вытянута по нормали к наиболее опасной системе трещин (при гидростатическом распределении напряжений в нетронутом массиве). При

уменьшении бокового распора зона разрушения отклоняется в сторону вертикали, это отклонение тем больше, чем меньше коэффициент бокового распора.

4. Разработана методика и впервые определён модуль сцепления K горных пород. Для песчаников крепостью 4 по М.М.Протоdjяконову $K = 6,0 \text{ дан/см}^{3/2} = 6,1 \text{ кг/см}^{3/2}$, для песчаников крепостью 7 $K = 21,5 \text{ дан/см}^{3/2} = 21,9 \text{ кг/см}^{3/2}$.

5. Проведены натурные исследования зоны разрушения в условиях шахт Карагандинского бассейна. Установлено, что высота зоны разрушения достигает 0,7-2 м.

6. Выявлены основные системы трещин и определены их параметры для пород, окружающих подготовительные выработки Саранского участка.

7. Сравнение результатов теоретического расчёта зоны разрушения на основе проведённых исследований с данными натурных наблюдений показало удовлетворительное их совпадение.

8. Использование результатов исследований позволяет учитывать естественную трещиноватость при расчётах давления на крепь горных выработок.

Результаты исследований доложены и обсуждены на I Всесоюзной конференции по механике горных пород (Алма-Ата, сентябрь, 1965 г.), УШ региональном научно-координационном совещании по горному давлению (Новосибирск, май, 1966 г.), Всесоюзном совещании по механике горных пород и горному давлению (Новосибирск, февраль, 1968 г.), семинаре отдела механики горных пород Института физики и механики горных

пород АН Кирг.ССР (Фрунзе, июнь, 1968 г.), научных конференциях преподавателей и сотрудников Карагандинского политехнического института (Караганда, 1965-1968 гг).

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. О приложении теории трещин к расчету зоны разрушения вокруг горизонтальной горной выработки. Горное дело (тематический сборник научных работ аспирантов и соискателей), в.3, Алма-Ата, 1967.

2. Определение зоны разрушения вокруг выработок, пройденных в трещиноватых породах (в соавторстве). Проектирование и строительство угольных предприятий, № 3, (III), 1968.

3. Развитие трещиноватости вокруг подготовительной выработки (в соавторстве). Известия вузов, горный журнал, № 6, 1968.

4. Исследование проявлений горного давления в подготовительных выработках в Карагандинском бассейне (в соавторстве). Всесоюзное совещание по механике горных пород и горному давлению (тезисы докладов), Новосибирск, 1968.

5. Определение области разрушения массива, окружающего горизонтальную выработку (на основе теории трещин), (в соавторстве). Всесоюзное совещание по механике горных пород и горному давлению (тезисы докладов), Новосибирск, 1968.

УД №05858 I8/XI - 68г. Тираж 200 Заказ 66

Ретапринт Карагандинского политехнического института

г.Караганда, Бульвар Мира, 56.

321217

Центральная научная
БИБЛИОТЕКА
Академии наук Киргизской ССР

321217