

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР
Институт физики и механики горных пород

Э. В. КАСПАРЬЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ
НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
В МАССИВАХ СКАЛЬНЫХ ПОРОД

(на примере некоторых месторождений
Кольского полуострова)

Специальность 310. Маркшейдерское дело

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Апатиты - 1968

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР
Институт физики и механики горных пород

Э. В. КАСПАРЬЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ
НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
В МАССИВАХ СКАЛЬНЫХ ПОРОД

(на примере некоторых месторождений
Кольского полуострова)

Специальность 310. Маркшейдерское дело

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Апатиты - 1968

Просим Вас и всех заинтересованных лиц Вашего учреждения принять участие в заседании Объединенного Ученого Совета Отделения естественных и технических наук Академии наук Киргизской ССР, посвященном публичной защите диссертации, или прислать свои отзывы в 2 экземплярах по адресу:

г.Фрунзе Киргизской ССР
ул. XXII партсъезда 265-а

Ученый секретарь Совета

канд.химических наук (В.Афанасьев)

Основная часть производственных наблюдений и экспериментальных работ выполнена на комбинате "Североникель" им. В.И.Ленина, Аналитические исследования проведены в Лаборатории механики горных пород Горнометаллургического института Кольского филиала АН СССР.

Научный руководитель – кандидат техн. наук, старший научный сотрудник И.А.Турчанинов.

Официальные оппоненты: АН Кирг. ССР, профессор – доктор техн.наук С.Г.Авершин, кандидат техн.наук К.Д.Медведев.

Ведущее предприятие – Всесоюзный научно-исследовательский Институт механизации шахтного строительства (ВНИИОМШС).

Автореферат разослан " " 1968 г.

Защита диссертации состоится *в конце ноября* 1968 г. на заседании Объединенного Ученого Совета Отделения естественных и технических наук Академии наук Киргизской ССР (г.Фрунзе, ул. XXII партсъезда, 265-а).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Академии наук Киргизской ССР. (г.Фрунзе, бул.Дзержинского,30)

На Кольском п-ове эксплуатируются месторождения различных полезных ископаемых, имеющие важное народнохозяйственное значение. Здесь расположены уникальные месторождения никеля, железа и редкометалльного сырья, разрабатываются крупнейшие месторождения апатита, добывается слюда и различные строительные материалы.

Большая часть месторождений Кольского п-ова разрабатывается подземным способом, что требует проведения и поддержания сотен километров капитальных и подготовительных выработок. В связи с дальнейшим ростом добычи полезных ископаемых в ближайшие годы предстоит увеличение глубин разработки до 800-1000 м, вследствие чего вопросы крепления капитальных и подготовительных выработок приобретают важное значение, а правильное и экономичное их решение существенно сказывается на общих экономических показателях предприятий.

Однако методы оценки устойчивости обнажений скальных трещиноватых пород разработаны недостаточно, что затрудняет обоснованный выбор крепи выработок и расчет её параметров. Применение же проектных решений, выполненных для условий осадочных породных массивов вызывает необоснованный перерасход средств и не всегда достаточно эффективно.

Настоящая работа преследует цель разработать метод оценки устойчивости одиночных выработок в массивах скальных пород с учетом трещиноватости для обоснованного выбора конструкции и параметров их крепи.

Основной объем экспериментальных исследований выполнен на медно-никелевых месторождениях Нитис-Кумужья-Травяная и Сопчинском (к-т Североникель) и Енских месторождениях слюдоносных пегматитов (Енское рудоуправление). Обобщены также результаты обследования состояния горных выработок в условиях всех месторождений Кольского п-ова, разрабатываемых подземным способом.

Аналитические исследования проведены в Лаборатории механики горных пород Горнометаллургического института Кольского филиала АН СССР.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и выводов и содержит 141 страницу машинописного текста, 65 рисунков, 30 таблиц, 62 формулы, список литературы из 114 наименований и приложения.

322 446

Центральная научная
Библиотека

Глава I посвящена анализу теоретических и экспериментальных исследований о взаимодействии устанавливаемой крепи для обеспечения устойчивости одиночных выработок с массивом вмещающих пород. Рассмотрены различные реологические модели для описания свойств реальных породных массивов - сыпучая среда (М.М.Протоdjаконов, П.М.Цимбаревич, В.Д.Слесарев, А.П.Максимов, Ю.А.Фнищенко, Р.Феннер и др.), упругое пространство (П.Кюн, А.Н.Динник, Г.Н.Савин, С.Г.Лехницкий и др.), модели, учитывающие нелинейно-упругие, пластические или вязко-упругие деформации (Ф.А.Белаенко, К.В.Руппенейт, А.С.Строганов) или деформации ползучести (Ю.Н.Работнов, Э.С.Ержанов и др.).

Указанные модели применимы для описания деформирования отдельных литологических разностей, их использование для описания деформирования массивов пород сопровождается большими погрешностями вследствие наличия в массивах многочисленных поверхностей ослабления (геологических нарушений, естественной трещиноватости, кливажа и др.). Особенно это характерно для массивов, сложенных скальными породами. (Н.Н.Кувзаев, С.А.Роза, В.С.Эристов, Г.Л.Фисенко и др.).

Это побуждает при рассмотрении условий деформирования породных массивов разрабатывать специальные способы учета поверхностей ослабления. Одним из таких приемов, например, является применение в расчетах "коэффициента структурного ослабления" (А.Л.Борисов, В.Н.Семевский, Г.Л.Фисенко).

Аналитические способы учета поверхностей ослабления на устойчивость обнажений пород в выработках разработаны крайне недостаточно, имеются лишь единичные исследования (А.М. Козел).

Вместе с тем различными исследованиями установлено, что напряженное состояние трещиноватого массива до проведения выработки не отличается от напряженного состояния сплошной однородной среды, т.к. трещиноватость не вносит аномалий в поле напряжений до тех пор, пока трещины закрыты и сдвиг или растяжение по ним отсутствуют (С.Г.Авершин, Б.Е.Славин, А.Д.Сорокин). Это позволяет применять теорию упругости для описания начального поля напряжений. Условие разрушения по трещинам, в первом приближении, представляется целесообразным определять методами теории специального предельного равновесия.

Рассматриваются также гипотезы о роли и назначении крепи выработок, принимавшиеся различными исследователями. Основными из них являются: гипотеза о восстановлении крепью напряженного состояния, существовавшего в массиве пород до проведения выработки (М.М.Протоdjаконов для вертикальных выработок, П.М.Цимбаревич, А.Н. Динник) и гипотеза о воздействии на крепь ограниченных объемов пород, непосредственно примыкающих к контуру выработки (М.М.Протоdjаконов и А.Н.Динник для горизонтальных выработок, В.Д.Слесарев, Л.Д.Шевяков).

Эти гипотезы, как частные случаи, объединяются современной гипотезой "деформаций" об образовании вокруг выработок зон различного напряженного состояния (Ф.Мор, Р.Феннер, А.Лабасс, Г.Н. Савин, Ф.А.Белаенко, К.В.Руппенейт).

С позиций гипотезы деформаций проведено и настоящее исследование, однако образование зон различного напряженного состояния вокруг выработки в случае скальных массивов отличается особенностями вследствие блочной их структуры.

Наряду с теоретическими исследованиями анализируются результаты экспериментальных исследований по рассматриваемым вопросам (Г.А.Крупенников, Н.С. Булычев, Н.А. Филатов, А.М. Фридлянд и др.). Отмечается, что большая часть экспериментальных данных об устойчивости выработок получена путем непосредственных измерений нагрузок на крепь, однако для условий скальных трещиноватых массивов более предпочтительным является определение размеров зон, непосредственно оказывающих влияние на крепь, так как нагрузки на крепь в рассматриваемых условиях есть величины случайные.

Исходя из результатов проведенного анализа, для разработки метода оценки устойчивости выработок в массивах скальных пород необходимо:

1. Установить особенности строения и структуры массивов скальных пород и выявить основные факторы, оказывающие преимущественное влияние на устойчивость одиночных выработок в массиве скальных пород.

2. Изучить закономерности пространственного расположения поверхностей естественных трещин в массивах пород и экспериментально определить прочностные характеристики по их контактам.

3. Разработать методы расчета величины зоны, оказывающей основное действие на крепь выработок на основе данных о структуре массивов пород.

4. Обосновать основные требования к крепи выработок в рассматриваемых условиях, выбор рационального типа крепи и расчет ее параметров.

В качестве основного принят комплексный метод исследования, сочетающий проведение натуральных наблюдений (визуальных и инструментальных) с аналитическим рассмотрением задач.

В главе II произведена оценка устойчивости капитальных и подготовительных выработок в условиях месторождений Кольского п-ова с целью установления особенностей образования зоны неупругих деформаций в массивах скальных трещиноватых пород, выявления преобладающего вида потери устойчивости выработок и определения наиболее вероятного режима работы крепи выработок. Приводится краткая характеристика массивов пород месторождений, составленная на основании изучения геологических условий месторождения с позиций оценки их деформационно-прочностных свойств. Отмечается, что породы, составляющие массивы месторождений, представлены весьма прочными и упругими разностями, пределы прочности на одноосное сжатие которых варьируют от 690 до 3400 кг/см² (69-340 мн/м²), составляя преимущественно 1200-2100 кг/см² (120-210 мн/м²). Таким породам на современных глубинах разработки свойственно хрупкое разрушение.

Однако деформационно-прочностные характеристики массивов в целом резко отличаются от свойств отдельных литологических разностей вследствие наличия геологических нарушений, слабых прослоек и трещиноватости.

Последняя развита повсеместно, и, в отличие от других видов ослаблений, отдельные трещины вследствие их большой частоты разбивают массивы пород на небольшие по размерам структурные блоки, соизмеримые с линейными размерами сечений горных выработок. Вследствие этого трещиноватость оказывает на устойчивость выработок основное влияние.

Это подтверждается результатами наблюдений за устойчивостью выработок и состоянием их крепи. При анализе степени устойчивости капитальных и подготовительных выработок наряду

с непосредственными наблюдениями привлекались материалы маркшейдерской и геологической служб, а также документация службы техники безопасности и горнотехнической инспекции.

Анализ визуальных наблюдений показал, что в некоторой области массива, непосредственно примыкающей к контуру выработки, происходит разрушение пород. Преобладающим видом разрушения является раскрытие естественных трещин, преобладающим видом потери устойчивости обнажений — образование вывалов из кровли и стенок выработки, а основным назначением крепи выработок в этих условиях — восприятие нагрузок от образовавшихся вывалов (режим заданной нагрузки по Г.А. Крупенникову). Зону, в пределах которой происходит раскрытие трещин, целесообразно именовать термином "ослабленная зона", поскольку сцепление между структурными блоками в ее пределах существенно ниже по сравнению со сцеплением между структурными блоками в остальной части массива.

Очевидно, в данном случае ослабленная зона представляет собой часть зоны неупругих деформаций, которая в первую очередь определяет устойчивость выработок, вид необходимой крепи и ее параметры.

Размеры ослабленной зоны вокруг одиночных горизонтальных и вертикальных выработок весьма невелики, о чем свидетельствует состояние выработок, большая часть которых не закреплена вовсе или закреплена деревянной крепью с весьма небольшой несущей способностью. Так, например, из 18 вертикальных стволов, эксплуатирующихся на месторождениях Кольского п-ова, 11 стволов закреплены деревянной подвесной крепью.

Вместе с тем во многих случаях имеет место применение излишне прочных и дорогих видов крепи, не являющихся необходимыми в данных условиях. В частности, это характерно для вертикальных стволов, закрепленных бетонными и тубинговыми крепями (к-т Апатит).

Поскольку образование ослабленной зоны происходит в результате раскрытия, в первую очередь, естественных трещин отдельности, для предрасчета ее размеров оказалось необходимым изучить закономерности распространения трещиноватости в пространстве и прочностные характеристики по поверхностям контактов трещин.

Методика и результаты изучения трещиноватости различных массивов горных пород применительно к оценке устойчивости выработок рассматриваются в главе III. Изучение трещиноватости проводилось на медно-никелевых месторождениях – Сопчинском и Ниттис-Кумужья-Травяная и месторождениях Енских слюдоносных пегматитов – Енском и Риколатвинском. Выбор этих месторождений определялся удобством разработки общей методики, поскольку совокупность названных месторождений охватывает все типы месторождений, различающихся специфической трещиноватостью и требующих применения различных приемов наблюдений, а также решением ряда практических задач.

На стадии ознакомления с геологическими условиями месторождений удалось подразделить все рудные месторождения Кольского п-ова в зависимости от характера трещиноватости на три вида.

Первый вид характеризуется однородным литологическим составом слагающих пород, постепенным переходом отдельных разновидностей пород друг в друга и равномерной, сравнительно однородной трещиноватостью пород всего массива.

Трещиноватость массивов этого вида изучалась на примере месторождения Ниттис-Кумужья-Травяная. Полевые наблюдения проводились методом наблюдательных станций, представлявших собой участки выработок площадью 2.0x2.0 м. В пределах станций горным компасом измерялись элементы залегания всех, без исключения трещин. Одновременно описывалась их генетическая характеристика – заполнение, длина, величина раскрытия, частота. Всего было произведено более 2300 единичных замеров трещин.

Ко второму виду отнесены массивы, однородные по составу пород, где на фоне равномерной интенсивной трещиноватости выделяются группы трещин, резко отличающиеся своими размерами, характером заполнения и внешним видом. Этот вид месторождений отличается наличием неоднородной трещиноватости при сравнительно однородном составе пород. Методика изучения трещиноватости массивов такого вида разрабатывалась на примере изучения трещиноватости Сопчинского месторождения. При этом различные группы трещин оказалось необходимым наблюдать различными образом. В частности, мелкоблочная трещиноватость (раскрытие и мощность заполнения трещин этой группы

не превышает 1.0–1.3 мм, а длина – нескольких метров при расстоянии между соседними трещинами порядка нескольких десятков сантиметров) наблюдалась методом наблюдательных станций, а крупноблочная трещиноватость (трещины с мощностью заполнения до 1.0–2.0 см, простирающиеся на десятки метров с расстоянием между соседними трещинами около 1,0 м), – методом сплошной съемки. В этом случае измерение геометрических параметров трещин производилось по стенкам выработок на значительном их протяжении (до 1 км.), по возможности расположенных ортогонально друг к другу.

Всего на Сопчинском месторождении было проведено измерение параметров более 700 крупноблочных трещин и около 1300 единичных замеров мелкой трещиноватости.

Третий вид месторождений, наиболее часто встречающийся, характеризуется наличием неоднородного состава пород и неоднородной трещиноватостью, причем различные виды трещиноватости приурочены к определенным литологическим разновидностям. Представителями такого вида являются месторождения Енских слюдоносных пегматитов, вмещающие породы которых представлены гнейсами (для них характерна крупноблочная трещиноватость) и амфиболитами с типично мелкоблочной трещиноватостью. В соответствии с этим в амфиболитах методом замерных станций было выполнено более 300 единичных замеров мелкоблочных трещин, а в гнейсах – свыше 2000 замеров крупноблочных трещин.

С целью выявления рациональной методики обработки наблюдений трещиноватости на различных месторождениях проводилась различными образом: с применением круговых диаграмм (сферограмм) на сетке Вальтер-Шмидта, на прямоугольных диаграммах В.И. Борщ – Компонийца и прямоугольных диаграммах, предложенных И.Н. Ушаковым. В результате установлено, что наиболее удобны и наименее трудоемки при составлении, прямоугольные диаграммы И.Н. Ушакова, применение которых и рекомендуется в дальнейшем.

Результаты обработки наблюдений показали, что на месторождениях Кольского п-ова четко выделяются несколько взаимно-сопряженных систем трещин (число их обычно составляет 4–6), при этом наблюдается преобладающее количество крутопадающих трещин с углами падения 60–90°.

Изучение геометрических закономерностей распространения трещин в пространстве дополнялось изучением их некоторых прочностных характеристик, в частности, величины сцепления по контактам. Для этого разработана методика определения сцепления в подземных условиях скальных массивов, отличие которой от ранее разработанных (Г.Л.Фисенко, Н.Н.Куваев) заключается в том, что подготовленная к срезу призма должна иметь связь с массивом пород минимум по двум поверхностям во избежание ее произвольного скола под действием собственного веса.

Это повлекло необходимость создания специальной методики обработки полученных данных и расчета величины сцепления.

Срез породных призм по контактам естественных трещин осуществлялся давилкой установкой БУ-Г, состоящей из системы гидравлических домкратов.

В условиях Сопчинского месторождения было проведено 9 срезов. В результате установлено, что величины сцепления по различным группам трещин существенно различаются. Так, средняя величина сцепления для группы крупноблоковых трещин составляет $10,5 \text{ кг/см}^2$ ($1,05 \text{ мн/м}^2$), а для группы мелкоблоковых трещин — $58,1 \text{ кг/см}^2$ ($5,8 \text{ мн/м}^2$), что обуславливает коэффициент структурного ослабления массива трещиноватостью соответственно по группам трещин 0,02 и 0,13. Получаемые величины коэффициента структурного ослабления соответствуют результатам других исследований (Н.Н.Куваев, Г.Л.Фисенко). Это позволяет ограничиваться проведением единичных измерений, а в случае невозможности получения величин сцепления по контактам слабейших трещин принимать его равным 1-2% от величины прочности на срез образцов соответствующих пород.

Результаты изучения трещиноватости массивов позволили перейти к расчету параметров ослабленной зоны вокруг выработок, чему посвящена IX глава диссертации.

Вследствие развития многочисленных систем трещин массивы скальных пород можно рассматривать сложными из отдельных структурных блоков, сравнительно слабо связанных между собой. Устойчивость выработок при этом определяется как прочностью структурных блоков, так и условием скола по трещинам, ограни-

чивающим структурный блок. Однако, при глубинах до 1000 м разрушение структурных блоков под действием статических напряжений, как показывают расчеты, не происходит, и устойчивость выработки определяется лишь отсутствием скола по трещинам.

Условие скола по трещинам, оконтуривающим структурный блок на основании теории специального предельного равновесия запишется:

$$\frac{\sigma_i - \sigma_j}{2} \cos 2\alpha (\operatorname{tg} 2\alpha - \operatorname{tg} \varphi) = \tau_{\text{тр}} + \frac{\sigma_i + \sigma_j}{2} \operatorname{tg} \varphi, \quad (I)$$

- где $\sigma_i; \sigma_j$ — соответствующие компоненты главных нормальных напряжений, образующих разрушающую комбинацию;
- α — угол ориентировки плоскости трещины по отношению к минимальному главному напряжению;
- $\tau_{\text{тр}}$ — сцепление по контактам трещин;
- φ — угол внутреннего трения.

Вид разрушающей комбинации (при цилиндрической системе координат $\{\sigma_1; \sigma_2\}$, $\{\sigma_3; \sigma_2\}$ или $\{\sigma_2; \sigma_3\}$) определяется ориентировкой поверхности трещины в пространстве.

Для образования вывала из обнажения пород в выработке необходимо, чтобы скол и отрыв происходил по всем граням структурного блока, которым он примыкает к массиву пород. Исследованиями установлено, что это может иметь место лишь при одновременном действии по крайней мере двух разрушающих комбинаций напряжений, т.е. в зоне одновременного скола под действием двух (или всех трех) разрушающих комбинаций.

Таким образом, предрасчет ослабленной зоны вокруг выработок сводится к определению размеров зоны возможных вывалов, т.е. зоны, из которой возможно выпадение структурных блоков или их частей вследствие скола по слабейшим естественным трещинам.

Для этого необходимо:

1. Определить поле статических напряжений в массиве горных пород вблизи контура выработки.
2. При заданном паспорте прочности пород в массиве найти размеры зон возможного скола для всех разрушающих комбинаций напряжений.

3. Определить размеры зон вывалов, где одновременно возможен скол по поверхности трещин под действием двух (или всех трех) разрушающих комбинаций напряжений.

Результаты расчетов зоны возможного вывала вокруг вертикальных стволов различной формы поперечного сечения проведены применительно к условиям Сопчинского медно-никелевого месторождения.

Поле напряжений вокруг ствола кругового поперечного сечения определялось выражениями С.Г.Лехницкого, а вокруг ствола эллиптического и прямоугольного сечения - путем решения первой основной задачи теории упругости методом Н.И. Мусхелишвили. Вычисления компонентов напряжений вокруг ствола прямоугольного сечения выполнялись на ЭВМ Минск-1.

Для эллиптического сечения с соотношением полуосей $\frac{a}{b} = 2$ отображающая функция и функции напряжений получены в виде:

$$\left. \begin{aligned} \omega(\zeta) &= 0.75(\zeta + \frac{1}{\zeta}) \\ \varphi(\zeta) &= -p \cdot 0.25\zeta^{-1} \\ \psi(\zeta) &= p \left(-0.75\zeta - \frac{0.25 + 0.0833\zeta^2}{\zeta^3 - 0.3333\zeta} \right) \end{aligned} \right\} (2)$$

где p - нагрузка, равная весу столба пород над рассматриваемым сечением.

Для прямоугольного сечения эти же функции имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \omega(\zeta) &= 1.114 (-0.0108\zeta^5 - 0.09\zeta^3 + 0.0235\zeta + 0.765\zeta^{-1}) \\ \varphi(\zeta) &= p(0.012\zeta^5 + 0.1036\zeta^3 - 0.2372\zeta) \\ \psi(\zeta) &= p[-0.8522\zeta - 0.0033\zeta^{-3} - 0.0245\zeta^{-1} - \lambda(\zeta)] \\ \lambda(\zeta) &= \frac{0.0459 + 0.2519\zeta^{-3} - 0.1138\zeta - 0.0243\zeta^{-1} + 0.0179\zeta^{-3} + 0.0026\zeta^{-5}}{-0.054\zeta^4 - 0.27\zeta^2 + 0.235 - 0.765\zeta^{-2}} \end{aligned} \right\} (3)$$

Подставляя численные значения компонентов напряжений, вычисленные при помощи комплексных потенциалов Колосова-Мусхелишвили с использованием значений функций (2) и (3) в уравнение (I), определялись размеры зон возможного скола по крупноблоковым трещинам вокруг ствола при различной форме поперечного сечения и для различных глубин. Из результатов

расчетов следует, что зоны возможных вывалов из стенок ствола изменяются от 0,2 м при эллиптической форме поперечного сечения до 0,6 м для прямоугольной формы сечения (табл. I).

Таблица I

Максимальные размеры зон возможного скола при различных формах поперечного сечения вертикального ствола при $\tau_{тр} = 10,5 \text{ кг/см}^2$ ($\sim 1,05 \text{ мн/м}^2$)

Глубина, Н, м	Круговое сечение $\alpha = 2,75 \text{ м}$	Эллиптическое сечение $\alpha = 2,75 \text{ м } b = 1,38 \text{ м}$		Прямоугольное сечение $\alpha = 2,75 \text{ м } b = 1,38 \text{ м}$		
	$\{\sigma_x; \sigma_z\}$	$\{\sigma_\theta; \sigma_z\}$	$\{\sigma_x; \sigma_z\}$	$\{\sigma_\theta; \sigma_z\}$	$\{\sigma_x; \sigma_z\}$	
200	$\frac{0.43^x}{51-78^0}$	-	$\frac{1.26}{55-75^0}$	$\frac{0.19}{55-75^0}$	$\frac{2.04}{55-75^0}$	-
300	$\frac{1.05}{47-83^0}$	$\frac{0.07}{57-72^0}$	$\frac{2.06}{50-80^0}$	$\frac{0.19}{50-80^0}$	$\frac{3.02}{50-80^0}$	-
400	$\frac{1.45}{45-85^0}$	$\frac{0.17}{53-78^0}$	$\frac{3.02}{50-85^0}$	$\frac{0.19}{50-85^0}$	$\frac{3.58}{50-85^0}$	$\frac{0.44}{60-70^0}$
500	$\frac{1.75}{44-86^0}$	$\frac{0.25}{49-81^0}$	$\frac{3.30}{50-85^0}$	$\frac{0.19}{50-85^0}$	$\frac{3.85}{50-85^0}$	$\frac{0.60}{55-75^0}$
600	$\frac{1.95}{43-86^0}$	$\frac{0.30}{49-82^0}$	$\frac{3.52}{50-85^0}$	$\frac{0.19}{50-85^0}$	$\frac{4.12}{50-85^0}$	$\frac{0.60}{55-75^0}$

x) В числителе приведены максимальные размеры зоны возможного скола Δl , м; в знаменателе - пределы углов наклона трещин, в интервале которых возможен скол.

При этом примечательна форма зон возможных вывалов вокруг выработок при различных формах сечения. Так, для кругового и эллиптического сечения конфигурация зоны возможных вывалов подобна контуре, а для прямоугольного сечения при $\tau_{тр} = 10,5 \text{ кг/см}^2$ ($\sim 1,05 \text{ мн/м}^2$) зона возможных вывалов развита лишь по короткой стороне сечения.

Это позволяет рекомендовать оптимальную ориентировку сечения относительно господствующих систем трещин рассматриваемого месторождения. При этом необходимо стремиться сосредоточить зону возможных вывалов на возможно меньшей длине контура.

Проведен анализ влияния величины сцепления на размеры зоны вывалов и определено, что предельные размеры ее (при $z_{np} = 0$) для кругового сечения составляют $0,25\alpha$, а для прямоугольного сечения — $0,65\alpha$ и $0,3\alpha$, соответственно в направлении большей и меньшей стороны сечения, где α — радиус сечения или половина большей стороны. Также установлено, что с уменьшением величины сцепления размеры зоны возможных вывалов резко увеличиваются. Особенно это характерно для небольших глубин (100–300 м).

Метод определения величины зоны возможных вывалов применен и для оценки устойчивости горизонтальных выработок. Задача решалась также применительно к условиям Солчинского месторождения, но вычислялись лишь предельно-возможные параметры зоны вывалов ($z_{np} = 0$). Как выяснилось при проведении расчетов, величина радиальной протяженности зоны возможных вывалов зависит от величины коэффициента бокового распора. Поэтому расчеты проводились при двух возможных значениях коэффициента бокового распора $\xi = I$ и $\xi = 0,25$, поскольку определение истинного значения коэффициента в массиве в задачу исследования не входило.

Отображающая функция для отверстия сводчатой формы $\frac{\alpha}{h} = 3$ (применительно к паспорту горизонтальной выработки — штольни "Капитальная") и функции напряжений вычислены в виде:

$$\omega(\zeta) = 0.3519\zeta^{-1} + 0.3408 + 0.0567\zeta + 0.0211\zeta^2 - 0.0338\zeta^3 + 0.0133\zeta^4$$

$$\varphi(\zeta) = p(-0.0033\zeta^4 + 0.0084\zeta^3 - 0.0002\zeta^2 - 0.1486\zeta + 0.088\zeta^{-1}) + q(-0.0033\zeta^4 + 0.0084\zeta^3 - 0.0124\zeta^2 - 0.1734\zeta + 0.088\zeta^{-1})$$

Х) Отображающая функция была получена специально для настоящих исследований сотрудниками вычислительного центра Кольского филиала АН СССР.

$$\psi(\zeta) = p[-0.088\zeta - 0.1486\zeta^{-1} + 0.0002\zeta^{-2} - 0.0084\zeta^{-3} + 0.0033\zeta^{-4} + H(\zeta)(0.0132\zeta^3 - 0.0252\zeta^2 + 0.0004\zeta - 0.1486 + 0.088\zeta^{-2})] + q[-0.088\zeta + 0.1734\zeta^{-1} + 0.0124\zeta^{-2} - 0.0085\zeta^{-3} + 0.0033\zeta^{-4} + H(\zeta)(0.0132\zeta^3 - 0.0252\zeta^2 + 0.0248\zeta + 0.1734 + 0.088\zeta^{-2})] \quad (4)$$

$$H(\zeta) = \frac{0.3519\zeta + 0.3408 + 0.0567\zeta^{-1} + 0.0211\zeta^{-2} - 0.0338\zeta^{-3} + 0.0133\zeta^{-4}}{0.0532\zeta^3 - 0.1014\zeta^2 + 0.0422\zeta + 0.0567 - 0.3519\zeta^{-2}}$$

$p = \gamma H$; $q = \xi \gamma H$ — соответственно вертикальная и горизонтальная нагрузки.

Максимальные значения зоны возможных вывалов вокруг горизонтальной выработки сводчатого сечения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Максимальные значения зоны вывалов вокруг горизонтальной выработки сводчатого сечения.

Вид напряженного состояния	Радиальная протяженность ослабленной зоны от контура выработки в массив (в долях полуширины α)		
	в кровле	в стенке	на сопряжении стенки и кровли
$\xi = I$	0.11	0.06	0.48
$\xi = 0,25$	0.08	0.11	0.29

Для проверки разработанного метода оценки устойчивости выработок полученные результаты расчета величины ослабленной зоны сопоставлялись с результатами экспериментальных определений зоны раскрытия трещин в приконтурной области массива методом фильтрации (Фридлянд А.М.) и путем просмотра шпуров с помощью прибора РВП-451.

Экспериментальное определение ослабленной зоны проводилось в выработках различной площади поперечного сечения (от 40 м^2 до 10 м^2), пройденных на различных глубинах от земной поверхности (от 180 м до 600 м), срок эксплуатации кото-

рых насчитывал от 1 года до 28 лет.

Получены данные по 9 наблюдательным станциям в выработках Сопчинского месторождения, 3 наблюдательным станциям на месторождении Ниттис-Кумузья-Травяная, 2 станциям на медно-никелевом месторождении "Восток", 4 наблюдательным станциям на Енских месторождениях слюдоносных пегматитов и 3 наблюдательным станциям на апатитовом месторождении Расвумчорр. Всего проведены измерения в 150 шпурах, из них в 20 шпурах в стенках вертикальных стволов.

Результаты измерений позволяют утверждать, что образование ослабленной зоны вокруг выработок происходит, главным образом, под влиянием двух факторов - воздействия динамических нагрузок (в частности, взрывных работ) и статического поля напряжений.

Влияние динамических нагрузок в широком диапазоне горно-геологических условий можно приблизительно считать одинаковым. Для условий месторождений Кольского п-ова размеры зоны, образовавшейся под воздействием взрывных работ составляют 0,15-0,20 м.

Увеличение размеров ослабленной зоны свыше 0,15-0,20 м до 0,6-0,7 м (а иногда и до 1,2 м) происходит за счет действия статических напряжений, чему также содействуют процессы выветривания.

Сравнение результатов экспериментальных определений ослабленной зоны вокруг горизонтальных выработок с расчетными показывает хорошую сходимость. Так, по результатам расчета и данным непосредственных замеров в штольне "Капитальная" Сопчинского массива пород, расхождение наблюдается лишь в 2 точках из 18. Разница в размерах зон составляет ~ 20 см, что не выходит за пределы точности расчетного метода.

Более того, все данные натурных измерений ослабленной зоны вокруг выработок укладываются в предельные значения зон возможных вывалов, несмотря на отличие конфигурации и размеров их поперечных сечений от сечения, применительно к которому выполнялись расчеты. Это свидетельствует о незначительных отличиях поля напряжений (а, следовательно и размеров зон возможных вывалов) вокруг сводчатых сечений, подготовительных и капитальных выработок.

Данные измерений ослабленной зоны, выполненные в вертикальных стволах Сопчинского месторождения и месторождения Восток также подтверждают результаты расчета.

В первом случае размеры ослабленной зоны (до 0,8 м) меньше предельных значений, составляющих для условий Сопчинского ствола (при $\tau_{гп} = 0$) 1,8 м, но больше величины зоны, рассчитанной при $\tau_{гп} = 10,5 \text{ кг/м}^2$ ($\sim 1,05 \text{ мн/м}^2$). Это свидетельствует об уменьшении величины сцепления по трещинам в массиве, что неудивительно, поскольку измерения производились в зумпфе ствола, обычно наполненном шахтными водами, после 3 лет эксплуатации выработки.

На месторождении "Восток" размеры ослабленной зоны составляют 0,10-0,35 м на глубинах 70 м и 140 м от земной поверхности и обусловлена, главным образом, влиянием лишь взрывных работ. Влияние статических напряжений здесь почти не проявляется вследствие небольшой глубины ствола.

В заключение отметим, что полученные данные о развитии ослабленной зоны не противоречат данным исследований в условиях других рудных месторождений. Так, по данным Ключникова А.Б., в массиве пород, сложенном амфиболовыми сланцами и метадиабазами с крепостью пород по шкале М.М.Протоляконова $f = 8 - 14$, размеры ослабленной зоны также составляет 0,4-0,6 м вокруг горизонтальных выработок при площади поперечного сечения выработки $\sim 15 \text{ м}^2$.

Сходимость экспериментальных данных с результатами расчетов свидетельствует о применимости разработанного метода к определению ослабленной зоны вокруг выработок, что необходимо для обоснованного выбора и расчета параметров их крепи.

В У главе на основании проведенных расчетов обоснованы и сформулированы требования к крепи выработок в рассматриваемых условиях:

1. Увеличение сцепления в приконтурной части массива пород и, тем самым, предотвращение вывалов.
2. Изоляция стенок выработок от воздействия агентов выветривания с целью предотвращения увеличения размеров ослабленной зоны с течением времени.
3. Восприятие случайных нагрузок от отдельных структурных блоков или их частей, потерявших связь с массивом пород.

С точки зрения этих требований проанализированы применяющиеся крепи и указан рациональный вид крепи — сочетание штанговой крепи (для увеличения сцепления в приконтурной области и удержания крупных блоков пород) с набрызг-бетонным покрытием стенок (для изоляции от агентов выветривания и удержания мелких блоков пород).

Предложена схема расчета параметров рекомендуемого вида крепи — выбор вида штанг, их длины, сетки размещения, а также определение толщины набрызг-бетонного покрытия.

Для условий скальных массивов наибольшее увеличение сцепления в породах, окружающих выработку, обеспечивают железобетонные штанги, имеющие связь с породами массива по всей своей длине. Длина их определяется радиальной протяженностью ослабленной зоны, а сетка размещения — по величине структурного блока, определяемого из данных изучения трещиноватости массива пород.

Толщину набрызг-бетонного покрытия можно, приблизительно определить исходя из параметров ослабленной зоны, считая, что покрытие работает как тонкая подпорная стенка.

Поскольку наибольший интерес представляет применение рекомендуемого вида крепи для вертикальных стволов, по предлагаемой схеме рассчитаны параметры паспорта крепи ствола прямоугольного сечения применительно к условиям Сопчинского месторождения и произведена экономическая оценка его по сравнению с фактическими затратами на сооружение ствола шахты "Сопча".

При этом получено, что применение рекомендуемого вида крепи позволяет уменьшить площадь сечения ствола на 20% и снизить долю ручного труда в процессе возведения крепи. Экономия в стоимости 1 пог.м готового ствола, даже по сравнению с наиболее дешевым видом крепи — деревянной, составляет 10% от всех затрат. Причем расчеты экономии выполнены без учета снижения трудоемкости и сроков строительства, что также повлечет существенную экономию в заработной плате, являющейся основной статьей в смете расходов на сооружение стволов.

Результаты проведенных исследований нашли применение в проекте проходки и крепления вертикального ствола глубиной 600 м для условий Сопчинского месторождения, а также позволили

рекомендовать комбинату "Североникель" применение железобетонных штанг в горизонтальных выработках длиной 1.0 м (вместо 1.8 м и 2.2 м), причем имеется в виду, что штанги устанавливаются непосредственно после проходки выработки. В тех же отдельных случаях, когда штанги устанавливаются, спустя длительное время после проходки (свыше 2-х лет), их длина должна быть увеличена до размеров 1.8-2.0 м, учитывая снижение сцепления в приконтурной части массива за счет действия агентов выветривания.

Эти рекомендации одобрены техническим советом рудника Ниттис-Кумужье и приняты к внедрению.

Выводы и рекомендации

1. Несмотря на то, что все месторождения Кольского п-ова сложены высокопрочными скальными породами, реальная прочность массивов пород рассматриваемых месторождений существенно снижается за счет геологических нарушений, включений слабых разностей и многочисленных систем трещин.

2. Вокруг выработок в массивах скальных трещиноватых пород под воздействием статических (веса налегающих пород) и динамических (взрывных) нагрузок образуется ослабленная зона, т.е. зона с пониженной величиной сцепления: по сравнению со сцеплением в массиве пород. Результаты непосредственных измерений ослабленной зоны вокруг вертикальных и горизонтальных выработок показывают, что размер ослабленной зоны, образующейся под воздействием взрывных работ составляет 0.2-0.3 м. Под влиянием статических напряжений в рассматриваемых условиях образуется ослабленная зона протяженностью до 0.6-0.7 м от контура выработки для глубин до 600 м.

3. Наибольшее влияние на образование ослабленной зоны оказывает естественная трещиноватость массивов горных пород. В связи с этим разработаны методы проведения наблюдений и их обработки с целью установления закономерностей расположения в пространстве и определения прочностных характеристик трещиноватости породных массивов Кольского п-ова.

Впервые выполнены определения величин сцепления по контактам трещин в скальных массивах в подземных условиях.

4. Для оценки устойчивости выработок предложен метод расчета параметров зоны возможных вывалов из их стенок и кровли под действием статических напряжений.

Метод заключается в определении размеров зон, где одновременно может происходить скол по трещинам под действием различных комбинаций напряжений. Величины напряжений при этом определяются методами теории упругости, а условие скола — по теории специального предельного равновесия с использованием экспериментально определяемых прочностных характеристик по контактам трещин и закономерностей их пространственного расположения. Применимость метода подтверждена сравнением расчетных величин зон возможных вывалов с данными измерений ослабленной зоны вокруг выработок в условиях различных месторождений.

5. Проведены расчеты зон возможных вывалов вокруг вертикальных и горизонтальных выработок различной формы поперечного сечения. Расчеты зон возможных вывалов вокруг вертикальной выработки прямоугольного поперечного сечения выполнены на ЭВМ-Минск-2.

6. Исходя из условий образования ослабленной зоны обоснованы и сформулированы требования к крепи выработок в скальных породах и рекомендован рациональный вид крепи одиночных выработок в рассматриваемых условиях — сочетание железобетонных штанг с набрызг-бетонным покрытием. Эти разработки были использованы при составлении проекта проходки и крепления ствола на Сопчинском месторождении.

7. Параметры предлагаемого вида крепи одиночных выработок в массивах скальных трещиноватых пород определяются исходя из радиальной протяженности ослабленной зоны и размеров структурного блока.

8. Выполненные исследования и расчеты позволили рекомендовать для крепления горизонтальных выработок в условиях комбината "Североникель" применение железобетонных штанг уменьшенной длины (1.0 м вместо 1.8 м и 2.2 м).

Результаты проведенных исследований, в частности, предлагаемый метод оценки устойчивости выработок и расчет параметров их крепи могут быть использованы и в условиях месторождений других районов, сложенных скальными трещиноватыми породами.

Материалы диссертационной работы докладывались на Технические Советах комбинатов "Североникель" и "Печенганикель", на Всесоюзном семинаре по исследованиям механических свойств горных пород в массиве (Институт горного дела им. А.А.Скоцинского, 1964 г.), на Всесоюзном совещании по механике горных пород и горному давлению (г.Новосибирск, 1968 г.).

Основные положения диссертации опубликованы в следующих статьях:

1. Турчанинов И.А., Э.В.Каспарьян. Закономерности трещинной тектоники месторождения Ниттис-Кумукья-Травяная и ее влияние на проявление горного давления. В сб. "Технология разработки рудных месторождений Заполярья", М.-Л., Наука, 1964.

2. Булычев Н.С., И.А.Турчанинов, Э.В.Каспарьян. Выбор рациональной конструкции крепи шахтного ствола на Сопчинском месторождении. В сб. Физика и технология разработки недр. М.-Л., Наука, 1965.

3. Галахов В.В., Э.В.Каспарьян. Изучение физико-механических свойств пород Сопчинского месторождения. В сб. Горное давление, сдвигание горных пород и методика маркшейдерских работ, сб. ВНИМИ LX, Л., 1966.

4. Каспарьян Э.В. К расчету штанговой крепи горных выработок в скальных трещиноватых породах. Колыма, № 5, 1967.

5. Каспарьян Э.В., Л.А.Новиков. К расчету зон ослабления вокруг вертикальных выработок, пройденных в массиве скальных трещиноватых пород. В сб. Физика и технология разработки рудных месторождения в Заполярье, Наука, Л., 1967.

6. Турчанинов И.А., Э.В.Каспарьян. Исследование закономерностей трещинной тектоники массива пород Сопчинского месторождения применительно к вопросам горного давления". В сб. Физика и технология разработки рудных месторождений в Заполярье. Наука, Л., 1967.

7. Турчанинов И.А., Э.В.Каспарьян. Аналитический метод учета влияния трещиноватости на устойчивость выработок в скальных трещиноватых породах. Тезисы докладов Всесоюзного совещания по механике горных пород и горному давлению. Новосибирск, 1968.