Ордена Трудового Красного Знамени
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА
имени А.А. Скочинского

А. И. БЕРОН, М. И. КОЙФМАН,
С. Е. ЧИРКОВ, И. А. СОЛОМИНА

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД НА ОБРАЗЦАХ ПОЛУПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЫ

МОСКВА
1976

gost.e-ecolog.ru

Министерство угольной промышленности СССР
Академия наук СССР
Ордена Трудового Красного Знамени
Институт горного дела им. А. А. Скочинского

Лаборатория
физико-механических свойств
углей и горных пород

Утверждена
зам. начальника Технического
управления Минуглепрома СССР
А. А. Сурпачевым
21 января 1975 г.

Проф., докт. техн. наук А. И. БЕРОН,
проф., докт. техн. наук М. И. КОЙФМАН,
докт. техн. наук С. Е. ЧИРКОВ
инж. И. А. СОЛОМИНА

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД НА ОБРАЗЦАХ ПОЛУПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЫ



Москва
1976

УДК 622.02

Настоящая методика является руководством по определению прочности горных пород при растяжении и сжатии на образцах полуправильной формы. Она составлена на основе исследований, выполненных в ИГД им.А.А.Скочинского, и обобщения опыта применения данного метода другими организациями. При составлении методики учтены замечания, полученные в отзывах на временное руководство, изданное в 1973 г.

Изложены сущность и назначение метода определения прочности горных пород на образцах полуправильной формы, рассмотрены требования, предъявляемые к отбору проб горных пород, даны рекомендации, относящиеся к аппаратуре, порядку, технике выполнения и подсчету результатов испытаний.

В приложениях даны краткое обоснование методики, рекомендации к использованию метода для решения горнотехнических вопросов, а также некоторые сведения о практическом использовании предложенных ИГД им.А.А.Скочинского методов определения прочности при растяжении (по принципу раскалывания) и сжатии на образцах полуправильной формы некоторыми научно-исследовательскими институтами, геологоразведочными и другими лабораториями для изучения пород угольных, рудных и других месторождений.

В исследованиях и составлении методики кроме авторов принимали участие инж.Н.И.Пожидаев, лаборанты Е.Т.Рамзаева и В.Т.Коршунова (ИГД им.А.А.Скочинского), канд.геол.-минер.наук Г.С.Сенатская (ИОТТ).

Методика предназначена для геологоразведочных, научно-исследовательских, учебных и проектно-конструкторских организаций, занимающихся изучением механических свойств горных пород.

© Институт горного дела им. А. А. Скочинского (ИГД им. А. А. Скочинского), 1976

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении длительного времени физико-механические свойства горных пород изучались главным образом для строительных целей. В течение последних 40–50 лет исследования в этом направлении широко развиваются применительно к горному делу, геологии и геофизике.

На первых этапах в горнодобывающей промышленности для данных исследований применялись в основном методы строительной механики. Прочность пород изучалась главным образом на образцах правильной формы сравнительно большого размера.

Извлечение крупных проб с больших глубин земных недр в подземных рудниках и шахтах, а также изготовление из горных пород точно обработанных образцов для испытаний сопряжены с большими трудностями. Поэтому раздел механики пород, относящийся к изучению их физико-механических свойств для горнодобывающей промышленности, развивался медленно. В XIX веке и первой половине XX века были сделаны только первые шаги в этом направлении. Большая часть пород угольных и рудных месторождений оставалась неисследованной. Недостаточно изучены они и до сих пор.

При изучении изменяющихся в широких пределах механических свойств горных пород как сложных (с особыми свойствами) сред требуется особый подход. Необходимы новые, более простые и доступные методы исследований.

Положительным является значительное развитие в Советском Союзе методических разработок, направленных на изучение механических свойств горных пород и углей. Отмечая эффективность этого направления в целом, следует указать, что чрезмерное разнообразие рекомендаций и вариантов методов исследований, предложенных многими авторами, имеет и отрицательную сторону. Данные о механических свойствах пород, полученные разными методами, часто несопоставимы, что в значительной степени обесценивает их. Поэтому необходима унификация существующих методов.

Известно, что важные механические свойства горных пород, имеющие общетехническое значение, определяются величинами, характеризующими прежде всего их прочность при сжатии и растяжении.

В ИГД им.А.А.Скочинского проф.,докт.техн.наук М.И.Койфманом и докт.техн.наук С.Е.Чирковым разработан комплексный метод определения прочности на растяжение (по принципу раскалывания) и одноосное сжатие образцов полуправильной формы. Применение его в горном деле, и в частности в угольной промышленности, все более расширяется. Однако не все вопросы, относящиеся к практическому использованию методов, достаточно детально изучены и окончательно решены. Применяются их различные методические варианты и модификации. Для унификации метода испытаний пород на образцах полуправильной формы, а также для расширения области его применения и предназначаются настоящие методические указания.

В данных методических указаниях изложены только рекомендации по комплексным испытаниям горных пород на растяжение и сжатие, выполненным на образцах полуправильной формы. Методические рекомендации по испытаниям прочности горных пород на растяжение по принципу раскалывания необработанных кернов буровых скважин, а также образцов-кусков породы неправильной формы находятся в стадии детальной разработки и апробирования. Они будут подготовлены и выпущены ИГД им.А.А.Скочинского дополнительно в виде отдельной методики.

Подробное обоснование настоящих рекомендаций изложено в отчете по теме 0150-1974 г., этап 7 (научный фонд ИГД им.А.А.Скочинского, арх. № 14305).

I. НАЗНАЧЕНИЕ, СУЩНОСТЬ И ГЛАВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ

I.I. Настоящие методические указания предназначаются в основном для проведения испытаний механических свойств горных пород угольных и рудных месторождений. Их можно использовать также для изучения пород месторождений горючих сланцев, горнохимического, неметаллорудного минерального сырья, месторождений нефти и газа.

Рекомендации предназначены для горных, геологоразведочных и инженерно-геологических целей. Систематические массовые испытания пород данными методами могут производиться на стадии разведки месторождений, а также при строительстве и эксплуатации шахт и разрезов предприятий горнодобывающей промышленности.

Испытания могут выполняться как в лабораторных (стационарных), так и в полустационарных и шахтно-полевых условиях с использованием соответствующей разным условиям аппаратуры и приборов.

I.2. Сущность методики испытаний заключается в проведении последовательно:

определения пределов прочности (разрушающих напряжений) на растяжение посредством многократного направленного раскалывания образцов горных пород в виде пластин с двумя плоскопараллельными гранями любых очертаний в плане (в том числе в виде дисков круглой или эллиптической формы);

определения пределов прочности (разрушающих напряжений) при одноосном сжатии образцов полуправильной формы, имеющих две параллельные плоские грани (используются кубовидные или секторовидные образцы, полученные при испытаниях на растяжение-раскалывание исходных пластин или дисков в двух взаимно перпендикулярных направлениях).

I.3. Физическая основа рекомендуемого способа определения предела прочности пород на растяжение заключается в измерении предельных разрывающих напряжений при раскалывании образцов пород преимущественно линейно-приложенными силами, вызывающими растягивающие напряжения и, в конечном счете, отрыв в заданной плоскости.

Физическая основа методов испытаний пород на сжатие с применением образцов полуправильной формы принципиально близка к основе аналогичных испытаний на образцах правильной формы.

I.4. Для определения прочности особенно сильно рассланцованных и некоторых других горных пород, при раскалывании которых возникают, помимо плоскостей раскалывания, явления расслаивания, данный метод не рекомендуется. Для испытаний таких пород может быть использован только способ определения прочности на растяжение по принципу раскалывания (без последующего определения прочности на сжатие).

I.5. Принципиальными особенностями предлагаемых методов определения прочности пород (а также углей) для горнодобывающей промышленности являются вытекающие из теоретических представлений и практического опыта:

а) выполнение испытаний на растяжение (разрыв) по принципу многократного направленного раскалывания, который дает вполне достоверные данные и практически легко осуществим;

б) проведение испытаний на растяжение с учетом и с целью количественной оценки весьма существенной для большинства горных пород (особенно осадочных пород угольных месторождений) текстурной анизотропии - слоистости, сланцеватости и расслаиваемости по контактам;

в) выполнение испытаний прочности на одноосное сжатие преобладающего большинства пород (из которых можно изготовить плоскопараллельные пластины или диски) на образцах, обладающих только двумя плоскими контактными поверхностями. Этим образцам, получившим наименование образцов полуправильной формы, можно придать контактные поверхности, отличающиеся повышенной точностью обработки. Когда в результате раскалывания плоскопараллельных пластин большого размера получаются кубовидные образцы, выпуклость их плоских торцевых поверхностей минимальна, что способствует повышению точности измерений прочности на сжатие;

г) изучение и оценка прочности пород с учетом проявления масштабного эффекта;

д) создание возможности проведения испытаний основных характеристик прочности большинства пород угольных, рудных и других месторождений (особенно при проведении геологоразведочных работ) на пробах небольшого объема, в частности на кернах разведочного бурения, в том числе и малого диаметра;

е) определение (главным образом, при изучении размокающих пород) изменения прочности пород под действием насыщения их водой;

ж) проведение комплексных испытаний прочности на растяжение и сжатие, когда это представляется необходимым и возможным.

Все вышеизложенное способствует увеличению объема необходимой информации, а также повышению полноты и достоверности данных о свойствах пород. Вместе с тем значительно уменьшаются затраты на изучение пород.

I.6. Существенной особенностью настоящей методики, что отличает ее от большинства ранее разработанных, является дифференциация величин исходных проб, размеров и количества образцов с учетом прежде всего различной степени неоднородности пород на основе признаков, приведенных в табл. I.I. Величину образцов рекомендуется выбирать разной также в зависимости от прочности образцов (см. табл. 2.I и 4.2).

Таблица I.I

Горные породы	Признаки неоднородности пород (для испытаний на прочность)
Однородные	Кристаллы, зерна, включения, ингредиенты или поры равномерно распределены в породе и имеют линейные размеры до 0,2 см
Умеренно неоднородные	Кристаллы, зерна, включения, ингредиенты или поры равномерно распределены в породе и имеют линейные размеры 0,2-0,6 см
Весьма неоднородные	Кристаллы, зерна, включения, ингредиенты или поры распределены неравномерно и имеют линейные размеры больше 0,6 см

Однородные и большой прочности породы целесообразно испытывать на образцах меньшего объема, а неоднородные и слабые - на образцах большего объема.

I.7. С целью получения сопоставимых значений прочности методические указания предусматривают применение масштабных переводных коэффициентов.

I.8. Данные методические указания относятся к определению прочности пород на образцах, отделенных от массива. Результаты этих испытаний с учетом трещиноватости, неоднородности пород и закономерностей проявлений масштабного эффекта могут быть использованы для приближенной оценки прочности пород в массивах.

I.9. Рекомендуемыми методами можно получить данные о прочности пород с достаточной для инженерных расчетов точностью (в дальнейшем такие испытания именуются методами испытаний нормальной надежности). Когда объем отобранной породы невелик и поставленной задаче удовлетворяют приближенные сведения о прочности пород или углей, методы могут быть использованы также для определения прочности пород с пониженной надежностью, т.е. с меньшей степенью достоверности полученных результатов.

I.IO. На шахтах и разрезах Министерства угольной промышленности СССР испытания пород по данной методике должны выполняться с учетом рекомендаций, изложенных в утвержденной Минуглепромом СССР Инструкции по работам геологической службы.

2. ОТБОР ПРОБ

2.I. Отбор проб горных пород и их документирование должны производиться при участии или под наблюдением геолога.

2.2. Места отбора проб вскрытых месторождений, а также интервалы глубины скважин, из которых отбираются пробы горных пород для определения их прочности данными методами, определяются с учетом горногеологических условий месторождения или участка, целями испытаний и действующими инструкциями (Минуглепрома СССР и УССР, Министерств геологии СССР и союзных республик, ВКЗ при Совете Министров СССР, а также других министерств, в ведении которых находятся соответствующие предприятия горнодобывающей промышленности).

2.3. Места отбора и каждая проба горной породы, отобранная для испытаний, должны быть типичными в геолого-литологическом и горнотехническом отношении и представительными для месторождения, участка или интервала глубины скважины.

2.4. Породы, представленные в одной пробе несколькими монолитами (кусками) или кернами, должны быть одинаковыми по вещественному составу, петрографическим особенностям и состоянию.

2.5. Разрушенные, поврежденные или подвергавшиеся выветриванию поверхностные слои пород из обнажений горных выработок, где производится отбор проб, должны быть, как правило, предварительно (до отбора пробы) удалены. Это не исключает выполнения специальных испытаний выветрелых пород в тех случаях, когда это представляется необходимым.

Пробы горных пород, отличающихся слоистостью и упорядоченной трещиноватостью, следует отделять от массива с учетом их слоистости и трещиноватости.

2.6. Пробы извлекаются из массива в виде:

а) монолитов параллелепипедообразной или кубовидной формы;

б) кернов цилиндрической формы с неровными торцевыми поверхностями.

2.8. Технология отбора проб из горных выработок должна в максимальной степени исключать дополнительные повреждения, разрушение или их расслоение. С этой целью для извлечения проб горных пород из массива следует применять режущие устройства, бурильные устройства вращательного действия, буровые коронки и пробоотборники, обеспечивающие минимум технологических повреждений. В отдельных случаях допускается обуривание монолитов и отделение их от массива посредством клиньев. При этом должны соблюдаться соответствующие меры предосторожности. Отделять пробы от массива посредством взрывов не следует.

Технология отбора проб из массива и их консервирование должны быть такими, чтобы в пробах была по возможности сохранена природная влажность породы.

2.9. Исходные пробы породы, отобранные в шахтах или карьерах, при достаточной мощности испытуемого пласта должны представлять собой монолиты (глыбы), верхняя и нижняя поверхности которых (или хотя бы одна из них) были более или менее параллельными слоистости. Объем проб определяется согласно табл. 2.I.

Таблица 2.I

Горные породы	Объем кусков ($дм^3$) при испытаниях	
	нормальной надежности	пониженной надежности
Однородные средней и большой прочности ($R_{сж} \geq 200$ кгс/$см^2$)	3-5	I
Умеренно неоднородные любой прочности. Однородные малой прочности ($R_{сж}$ от 50 до 200 кгс/$см^2$)	5-8	2
Весьма неоднородные любой прочности. Однородные и умеренно неоднородные весьма малой прочности ($R_{сж}$ <50 кгс/$см^2$)	I0-I5	4

2.I0. Пробы горных пород неоднородного состава и строения должны быть представлены не менее чем двумя блоками.

2.II. Верхняя и нижняя поверхности монолитов осадочных пород, отобранных в горных выработках, должны совпадать со слоистостью пород.

2.I2. На монолитах отмечается их верхняя поверхность. Несмываемой краской наносят на эту поверхность номер пробы.

2.I3. Одновременно с отбором монолитов из горных выработок для проведения испытаний их прочности рекомендуется отбирать пробу породы для определения содержания природной (пластовой) влаги в условиях залегания породы в массиве. Соответствующая проба в виде нескольких кусочков общим весом I50-200 г должна быть извлечена в местах, отдаленных от поверхностных слоев, т.е. из участка массива, который не подвергался высушиванию или дополнительному увлажнению. Эту пробу герметически упаковывают.

Содержание влаги в породе определяют известными методами.

2.I4. Исходные пробы, отобранные для испытаний при разведочном колонковом бурении, должны представлять собой один или несколько кусков керна, суммарная длина которых указана в табл.2.2.

Таблица 2.2

Диаметр керна, мм	Суммарная длина кернов, см	
	рекомендуемая	минимальная
До 70	Не менее 20	10
Свыше 70	" " 30	15

В разведочном бурении для испытаний прочности пород, представленных слоями, мощность которых меньше 10 см, а также при детальном изучении изменчивости пород или при недостаточном выходе керна допускается отбирать пробы в виде цилиндрических кернов меньшей длины (соответственно мощности испытуемого слоя породы), а также в виде обломков.

2.15. Каждый кусок керна должен быть пронумерован. Должен быть отмечен его верхний торец и указана глубина отбора пробы в скважине. Номера проб наносят на кернах в двух-пяти местах (в зависимости от длины керна).

2.16. На каждую пробу горной породы составляют паспорт. В сопроводительных документах для мест отбора проб должна быть дана геологическая, а на шахте или разрезе по возможности также маркшейдерская характеристика участка.

В паспорте пробы, отобранной в шахте или разрезе, должны быть отмечены характер обнажения (забоя, горной выработки), условия залегания породы, наличие пропластков, прожилков и включений. Должно быть указано время отбора пробы.

2.17. Транспортировку и хранение проб слабых и весьма пористых пород производят с соблюдением правил консервации (посредством обильного парафинирования и упаковки в полиэтиленовые мешочки). Высокопрочные нетрещиноватые породы, влагонасыщение которых не превышает 1%, можно хранить и перевозить без консервирования.

Пробы, предназначенные для транспортировки в испытательные лаборатории, расположенные на значительном расстоянии от места их отбора, упаковываются в плотные ящики. Свободное пространство заполняется древесными опилками, стружкой или аналогичными по свойствам материалами. Монолиты и керны весьма слабых, а также весьма хрупких и трещиноватых пород следует при укладке в ящики отделять от стенок ящика слоем заполнителя толщиной 3–4 см, а друг от друга прокладками или слоем заполнителя.

Внутрь ящиков, которые следует пронумеровать, под крышку помещают завернутые в пленку или кальку паспорта проб. Вторые

ПАСПОРТ ПРОБЫ ГОРНОЙ ПОРОДЫ,
отобранной для физико-механических испытаний

Бассейн, район _____

Объединение, комбинат _____ Шахтоуправление _____

Шахта (разрез) _____ Участок _____

Горная выработка (скважина) _____

Пласт (наименование, геологический индекс) _____

Глубина залегания _____ м Мощность пласта __ м

Угол падения _____

Петрографическая характеристика породы, включающая сведения
о слоистости и трещиноватости _____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Приложение: разрез пласта или геологическая колонка в месте
отбора пробы.

Пробу отобрал Подпись

Главный геолог шахты, разреза Подпись

Дата и время отбора

экземпляры паспортов проб с указанием номера ящика, в который помещены пробы, высылаются в испытательную лабораторию почтой.

Пробы пород (особенно слабых) при транспортировке не должны подвергаться резким динамическим воздействиям (сбрасыванию, ударам). Следует предохранять их также от значительного воздействия атмосферных факторов (многократного увлажнения и высыхания, замерзания и т.п.).

3. ОБОРУДОВАНИЕ, АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

3.I. В зависимости от величины образцов, прочности пород, условий выполнения испытаний и оснащенности лабораторий соответствующим оборудованием применяют следующие испытательные машины и устройства:

а) стационарную испытательную машину – испытательный пресс с гидравлическим приводом, универсальную испытательную машину или другой испытательный прибор, – включающую нагружающее устройство с максимальными усилиями, на 20–30% превышающими силы, разрушающие наиболее прочные испытуемые образцы пород, и силоизмерительное устройство с точностью измерений ±2%.

Испытательная машина должна обеспечивать плавное, без рывков повышение нагрузки в указанных выше пределах, а также регулировку скорости приложения нагрузки. Целесообразно применять стационарную испытательную машину на различную предельную нагрузку с переключающимися шкалами, снабженную силоизмерительным устройством, которое позволяет непрерывно наблюдать и фиксировать максимальное усилие при разрушении испытуемого образца.

Для правильной и равномерной передачи нагрузки на образец породы испытательная машина должна быть снабжена установочно-центрирующим устройством с подвижной сферической опорой;

б) портативные (переносные) испытательные машины любой конструкции, включающие нагружающее и силоизмерительное устройство с точностью измерений ±2% и максимальными усилиями, на 20–30% превышающими силы, разрушающие наиболее прочные из образцов породы (с установочно-центрирующими приспособлениями).

Такие испытательные машины предназначаются для проведения испытаний пород на растяжение и одноосное сжатие главным образом в полустационарных лабораториях, обслуживающих шахты, разрезы и геологоразведочные партии;

в) устройство для раскалывания, устанавливаемое на испытательных машинах, включающее два встречных ножа (клина) с радиусом закругления лезвий 3 мм или два встречных цилиндрических стержня диаметром 6 мм из закаленной стали.

3.2. При проведении испытаний на растяжение методами направленного раскалывания нельзя применять изношенные ножи-клинья. Следует пользоваться устройствами, конструкция которых обеспечивает их действие в одной плоскости и полный контакт рабочей части клиньев или стержней с поверхностью испытуемого образца и соответственно равномерную передачу нагрузки. Желательно применять устройства со сменными рабочими органами.

3.3. Необходимое вспомогательное оборудование и материалы:

а) камнерезная машина с рабочими органами в виде вращающихся режущих дисков (с несколькими параллельно установленными или с одним диском) любой конструкции;

б) абразивно-алмазные отрезные диски или абразивные отрезные диски из мелкозернистого карбида кремния минимальной толщины. Диаметр отрезных дисков должен соответствовать величине исходных проб;

в) шлифовальный станок для обработки плоских поверхностей образцов, включающий чугунный диск, вращающийся вокруг вертикальной оси (любой надежной конструкции);

г) штангенциркуль;

д) лекальная линейка;

е) стойка с индикатором;

ж) порошкообразный карбид кремния черный (шлифзерно, шлифпорошок марки КЗ по ГОСТ 3647-71 № 80-230).

Примечание. При отсутствии карбида кремния указанной зернистости допускается замена его другими абразивными материалами той же или близкой к ней зернистости.

4. ПОДГОТОВКА К ИСПЫТАНИЯМ

4.1. Подготовка и хранение образцов пород перед испытаниями должны выполняться в условиях, обеспечивающих сохранение их представительности, строения и состава. Этому требованию должно удовлетворять также качество оборудования, применяемого для подготовки проб.

4.2. Технология подготовки образцов для проведения испытаний, камнерезные машины, инструменты и режимы обработки должны обеспечивать минимум повреждений породы.

4.3. Глыбы-монолиты (шахтные пробы или пробы, отделенные от массива на открытых разработках) разрезают на плоскопараллельные пластины. Керны разведочного колонкового бурения разрезают на диски (цилиндры) круглой формы или эллиптических очертаний в плане. Пробы осадочных анизотропных пород разрезают в направлении, параллельном и перпендикулярном к слоистости (с учетом текстуры, свойств пород и порядка выполнения испытаний).

4.4. Высота дисков, вырезаемых из кернов колонкового бурения перпендикулярно к оси керна (круглых в плане) или под углом к его оси (эллиптических в плане), указана в табл. 4.I.

Таблица 4.I

Диаметр кернов, мм	Рекомендуемая высота дисков[x] в долях диаметра керна	Минимальная высота дисков, мм
До 70	0,45	I0-I5
70-I00	0,45	I5-20
Свыше I00	0,2-0,45	20-25

x) Высота пластин, дисков крупнокристаллических горных пород не должна быть меньше 7-I0 линейных размеров зерен породообразующих минералов. Это относится и к табл. 4.2.

4.5. Рекомендуемая высота плоскопараллельных пластин, вырезаемых из кусков (блоков), представляющих шахтные пробы, указана в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Горные породы	Высота пластин, мм[xx]
Однородные, средней и большей прочности ($R_{сж} > 200$ кгс/см^2)	20-25
Умеренно неоднородные любой прочности. Однородные малой прочности ($R_{сж}$ от 50 до 200 кгс/см^2)	25-40
Весьма неоднородные любой прочности. Однородные и умеренно неоднородные весьма малой прочности ($R_{сж} < 50$ кгс/см^2)	40-70

xx) См. сноску к табл. 4.I.

4.6. Количество пластин или дисков, используемых для проведения испытаний, определяется степенью неоднородности пород и проявлениями анизотропии.

В преобладающем большинстве случаев достаточно испытать количество пластин или дисков, указанное в табл. 4.3 (для анизотропных пород в двух, а для макроскопически изотропных – в одном направлении).

Таблица 4.3

Горные породы	Количество пластин из блоков	Количество дисков
Однородные	Не менее 2	Не менее 3
Умеренно неоднородные	" " 3	" " 4
Неоднородные	" " 4	" " 5

4.7. Когда порода залегает в виде прослоев малой мощности, небольших жил или включений, для ее испытания можно сократить размеры или количество пластин, хотя это и связано со снижением достоверности полученных результатов.

4.8. При отсутствии камнерезного оборудования приближенные определения прочности горных пород при растяжении и сжатии могут быть выполнены на образцах подуправильной формы, полученных из отдельных штуфов (кусочков) породы посредством образования двух противоположных параллельных граней (с применением для этой цели способа подшлифовки последних).

4.9. Контактные поверхности исходных образцов (пластин или дисков), воспринимающие давление ножей-клиньев (при раскалывании) или сжимающих плит (при сжатии), должны быть тщательно обработаны, а в ответственных случаях дополнительно доведены до плоскостности посредством шлифовки с применением мелкозернистого абразивного материала. Выпуклость или вогнутость (величина стрелки кривизны в долях диаметра или меньшего поперечника контактной поверхности), а также отклонения от параллельности по длине каждого из двух взаимно перпендикулярных размеров образца не должны быть больше величин, указанных в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Ширина пластин, мм	Выпуклость или вогнутость	Отклонения от параллельности, мм
До 60	0,0015	0,5
60-120	0,0010	1,0
Свыше 120	0,0008	2,0

Шероховатость рабочих поверхностей образцов должна быть не ниже 4-го класса (по ГОСТ 2784-5I).

4.I0. Выпуклость или вогнутость образцов контролируется посредством индикатора часового типа, установленного на стойке, и лекальной линейки, степень шероховатости - посредством индикатора и индикаторной стойки. Отклонение от параллельности проверяется штангенциркулем или микрометром.

4.II. Ориентировку относительно слоистости следует отмечать карандашом на контактных поверхностях образцов, подготовленных для испытаний.

4.I2. В настоящее время в качестве характеристик прочности слабых и средней крепости горных пород на растяжение и одноосное сжатие принимают величины, полученные при испытаниях консервированных проб. Условно допускается, что эти величины отражают механические свойства горной породы в состоянии "пластовой" влажности.

Для получения строго определенных и сопоставимых данных о прочности различных разновидностей пород и в целях установления (в дальнейшем) более совершенных правил механических испытаний пород в отношении их влажности и склонности к размоканию рекомендуется по возможности уже в настоящее время определять характеристики отдельных типичных разновидностей пород как в воздушно-сухом состоянии, так и в состоянии искусственного насыщения водой. В этом случае следует вырезать соответственно большее количество образцов (пластин) для испытаний.

4.I3. На подготовленных пластинах горных пород и остатках пробы (особенно в связи с геологоразведочными работами и инженерно-геологическими изысканиями) следует выполнить минералого-петрографические исследования вещественного состава и текстурно-структурных особенностей пород. Краткая литолого-петрографическая характеристика пород обязательна.

5. ВЫПОЛНЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

5.I. На одной стороне пластины или диска, изготовленного из горной породы, наносят карандашом сетку линий, по которым следует произвести опыты растяжения-раскалывания.

Расстояние между направлениями раскалывания на кубовидные образцы принимают равным высоте пластины или диска. Диски круг-

лой формы, высота которых равна 0,45 диаметра, раскалывают по двум взаимно перпендикулярным диаметрам на четыре равных сектора. Диски эллиптической формы раскалывают в направлении двух полуосей или частично на кубовидные образцы.

5.2. Кубовидные или секторовидные образцы, сохранившие две параллельные тщательно обработанные плоские поверхности, испытывают на одноосное сжатие без смазки. Рабочими гранями образцов, прилегающими к плитам пресса, служат две параллельные обработанные поверхности.

Центрировка образцов производится совмещением центров тяжести их оснований с центрами давильных плит. Центр тяжести основания секторовидного образца располагается на оси симметрии сектора на расстоянии 0,37r от середины его дуги.

5.3. Скорость нарастания напряжения при растяжении-раскалывании и сжатии должна быть в пределах от 5 до 20 кгс/см^2 в секунду. Время нагружения до разрушения испытуемых образцов при испытаниях пород различной прочности и размера должно примерно соответствовать данным табл. 5.I.

Таблица 5.I

Разрушающая сила F		Время нагружения, с
кН	тс	
До 50	До 5	I0-30
50-I00	5-I0	20-60
Свыше I00	Свыше I0	30-90

5.4. При проведении испытаний на сжатие рекомендуется применять прокладки из закаленной стали. Периодически по мере износа прокладок их следует выравнивать посредством шлифовки.

5.5. При проведении испытаний на растяжение-раскалывание и одноосное сжатие фиксируют:

предельные разрушающие нагрузки;

линейные размеры испытуемых образцов (длину и высоту поверхностей отрыва, поперечные размеры меньшего основания и высоту кубовидных образцов полуправильной формы, подвергаемых одноосному сжатию; диаметр и высоту вырезанных из керна дисков, средние радиусы или площадь контактной поверхности образцов секторовидной формы).

Предельные разрушающие нагрузки и линейные размеры разрушаемых образцов фиксируют с точностью до 2%, при приближенных испытаниях – до 3%.

5.6. При проведении испытаний в пластинах, вырезанных из штуфов (блоков), в большинстве случаев для получения достоверных средних значений достаточно выполнить количество повторных опытов, указанное в табл. 5.2, с надежностью определений не ниже 0,95.

Таблица 5.2

Горные породы	Количество опытов		
	для определения прочности на растяжение при		для определения прочности на сжатие
	разрыве по контактам слоев или в плоскости напластования	разрыве по поверхностям, перпендикулярным к слоистости	
Однородные	6–8	4–6	4–6
Умеренно неоднородные	8–10	6–8	6–8
Весьма неоднородные	10–14	8–10	8–10

5.7. Испытания макроскопически изотропных изверженных и других однородных горных пород допускается производить в одном направлении (с учетом условий их залегания в горном массиве).

5.8. Испытания анизотропных, осадочных, слоистых и им подобных пород производят с учетом их текстурной анизотропии. Определения прочности на растяжение выполняют при этом в направлении: а) перпендикулярном к слоистости (напластованию) и ослабленным контактам и б) параллельном слоистости. Испытания на одноосное сжатие выполняют, как правило, в одном направлении (перпендикулярно к слоистости или с регистрацией направления действующих сил по отношению к направлению слоистости).

5.9. Когда объем исходных проб недостаточен для производства повторных опытов в количестве, указанном в табл. 5.2, допускается выполнение приближенных испытаний при меньшем числе повторных опытов (при соответственно пониженной достоверности результатов).

5.10. Слабые и расслаивающиеся породы должны быть испытаны не более чем через 7–10 дней после извлечения проб из массива.

6. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

6.1. Предел прочности горных пород на растяжение при раскалывании пластин R_p (в кгс/см^2) вычисляют по формуле

$$R_p = \frac{F_p}{h \cdot \ell} K_м^p ,$$

где F_p – предельное значение раскалывающего усилия, вызывающего разрыв при раскалывании, кгс;

h – высота раскалываемой пластины, см;

ℓ – средняя длина плоскости отрыва, см;

$K_м^p$ – переводный масштабный коэффициент согласно табл. 6.I.

6.2. Предел прочности при одноосном сжатии образцов кубовидной формы $R_{сж}$ (в кгс/см^2) вычисляют по формуле

$$R_{сж} = \frac{F_{сж}}{a \cdot b} K_м^c ,$$

где $F_{сж}$ – предельное значение разрушающей нагрузки при одноосном сжатии образца, кгс;

a – ширина образца, см;

b – длина образца, см;

$K_м^c$ – переводный масштабный коэффициент согласно табл. 6.I.

6.3. Предел прочности при одноосном сжатии секторовидных образцов, получаемых при раскалывании, по п. 5.I (в кгс/см^2) вычисляют по формуле[x)]

$$R_{сж} = \frac{4 F_{сж}}{\pi r^2} K_м^c ,$$

где $F_{сж}$ – предельное значение разрушающей нагрузки при одноосном сжатии секторовидного образца, кгс;

r – средний радиус сектора, см;

$K_м^c$ – переводный масштабный коэффициент согласно табл. 6.I.

6.4. Вычисленные по приведенным формулам в кгс/см^2 значения R_p и $R_{сж}$ пересчитываются в Н/м^2 путем умножения результата на $9{,}8 \cdot 10^4 \approx 10^5$.

6.5. Коэффициенты вариации параллельных определений (в %) вычисляют по формуле

$$v = \frac{\sigma \cdot 100}{\bar{R}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum^n (R_i - \bar{R})^2}{n-1}}}{\bar{R}} \cdot 100 ,$$

---

x) Допускается производить расчет прочности по отношению суммы разрушающих сил ко всему сечению диска.

где R_i – отдельные значения предела прочности;

$\bar{R}$ – среднее значение предела прочности;

n – количество определений;

σ – среднее квадратическое отклонение.

6.6. Значения прочности пород, полученные по формулам раздела 6, приведены к единому размеру кубовидных образцов (площади сечения 5·5 = 25 $см^2$), для чего в формулы введены масштабные коэффициенты, значения которых указаны в табл. 6.I.

Таблица 6.I

Площадь сечения раскалываемого образца, $см^2$	$K_м^р$	Площадь сечения сжимаемого кубовидного образца, $см^2$	$K_м^с$
4	0,74	4	0,83
9	0,83	9	0,90
I6	0,90	I6	0,94
25	I,00	25	I,00
36	I,I0	36	I,07
49	I,I5	49	I,II
64	I,22	64	I,I5
8I	I,30	8I	I,2I
I00	I,37	I00	I,25
I2I	I,44		
I44	I,52	Бо́льшие размеры образцов методикой не предусмотрены	
I69	I,58		
I96	I,64		
225	I,7I		

Для действительных значений площади сечения раскалываемого или сжимаемого образца значения $K_м^р$ и $K_м^с$ определяются интерполяцией ближайших табличных значений.

КРАТКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ

Комплексный метод определения прочности горных пород [I-6], изложенный в данных методических указаниях, состоит из выполняемых последовательно на одних и тех же образцах определений:

предела прочности пород на растяжение по принципу направленного раскалывания образцов в виде плоскопараллельных пластин любых очертаний в плане (в том числе цилиндрических дисков, вырезанных из кернов разведочного бурения);

предела прочности пород на одноосное сжатие на образцах, полученных при раскалывании указанных пластин или дисков и сохранивших при этом две плоские грани.

Разрабатывая предлагаемую методику, авторы исходили прежде всего из концепции, что преобладающим и первостепенным видом разрушения в горном деле является разрыв. Исходя из этого, важнейшей прочностной характеристикой пород следует считать предел прочности при растяжении. Вместе с тем авторы придают важное значение традиционной и широко применяемой на протяжении большого периода времени характеристике прочностных свойств горных пород – пределу их прочности при одноосном сжатии.

Вторая концепция, положенная в основу разработки рекомендуемого метода определения прочности горных пород при сжатии, заключается в том, что решающее значение для получения достоверных характеристик прочности имеют строгие контактные условия, правильное и равномерное в плоскости контакта приложение внешних сил, для чего необходимо, чтобы именно контактные поверхности в максимальной степени приближались к геометрически правильной плоскости. Форма боковых поверхностей не имеет столь важного значения.

Пределы прочности горных пород при растяжении и одноосном сжатии являются основными прочностными характеристиками, используемыми в горнотехнических расчетах и теоретических исследованиях. Посредством предлагаемой методики могут быть определены комплексно две указанные важные характеристики большинства твердых пород и углей. Методика проста и доступна.

Наряду с сочетанием раскалывания и сжатия в определенных условиях можно применить только испытания на растяжение по принципу раскалывания, которые являются первой и основной частью комплексной методики.

Определение прочности горных пород на растяжение по принципу раскалывания вытекает из решения теории упругости о загружении цилиндра линейно распределенными сжимающими силами, приложенными к диаметрально противоположным образующим цилиндра. Эта задача была решена, как известно, еще Герцем [7]. Из решения Герца следует, что в плоскости приложения линейно приложенных сил сжатия возникают равномерно распределенные напряжения растяжения, действующие перпендикулярно к этой плоскости. Когда объектом воздействия таких сил являются хрупкие твердые тела, к числу которых относится преобладающее большинство твердых горных пород, предельное растягивающее напряжение ведет к разрыву куска породы на две части по поверхности, совпадающей или близкой к плоскости действия приложенных сил. Кроме растягивающих, в этой плоскости возникают также сжимающие напряжения, направленные перпендикулярно к напряжениям растяжения. В области, близкой к контакту испытуемой породы с плитами пресса, сжимающими цилиндры в направлении, перпендикулярном к образующим, равно как и на контактах с рабочими поверхностями клиньев или инденторов, напряжения сжатия весьма велики. По мере приближения к оси цилиндра или к середине испытуемого образца породы напряжения сжатия уменьшаются, достигая в центре некоторого минимума.

Следует отметить, что при воздействии линейно приложенной на образец нагрузки реальный характер деформирования и разрушения горных пород существенно отличается от идеализированных представлений теории упругости. В приконтактной зоне, где создается напряженное состояние местного всестороннего сжатия, возникают необратимые (в основном псевдопластические) деформации, сочетающиеся с местным разрушением. Характер проявления местных деформаций и разрушения зависит от физических свойств, в частности от пластичности ("псевдопластичности") или хрупкости, а также от пористости и текстурно-структурных особенностей породы. Это оказывает большое влияние на действительное напряженное состояние в зоне раскалывания.

Исследованиями, выполненными в ИГД им.А.А.Скочинского в последние годы, установлено, что эти отклонения связаны с неоднородностью строения (сложностью, трещиноватостью, пористостью

и т.п.) и прочностью (включая твердость) горных пород. С увеличением прочности пород значение коэффициента пропорциональности в расчетных формулах (раздел 6.I) при раскалывании снижается от I±0,2 (для углей) до величины, близкой к теоретической, – $2/\pi$. Однако имеющихся материалов недостаточно для количественной оценки значений этого коэффициента применительно к породам разной прочности и степени нарушенности; так как породы угольной формации и угли существенно неоднородны и для них значения коэффициента всегда больше, чем 2π, то до накопления дополнительных данных в настоящей методике оставлен коэффициент пропорциональности, равный единице. Прочность пород при растяжении, определенная раскалыванием, рассматривается как условная, но более близкая к истинной прочности по сравнению с полученной при непосредственном одноосном растяжении образцов этих пород.

В практической работе по изучению механических свойств и закономерностей разрушения горных пород, углей, породообразующих минералов авторы данной методики изучали разнообразные способы и варианты измерений прочности на растяжение по принципу раскалывания. Объектом испытаний были плоскопараллельные пластины, цилиндрические образцы (керны, извлеченные из геологоразведочных скважин), образцы пород и углей неправильной формы, породообразующие минералы в виде небольших зерен. Раскалывание осуществлялось посредством прямых клиньев, клиньев с криволинейной в плоскости разрыва режущей кромкой и т.п. Применялись клинья закругленные, а также инденторы другой формы. Направленное раскалывание осуществлялось двумя встречно действующими клиньями, а также тремя-четырьмя (в зависимости от условий испытаний) и одним клином. Образцы цилиндрической формы и зерен породообразующих минералов [8] раскалывались силами сжатия, передаваемыми плитами с плоской контактной поверхностью. К числу методов определения прочности пород на растяжение по принципу раскалывания относятся метод раздавливания образцов горных пород неправильной формы [9], а также разработанные в СССР и за рубежом способы раскалывания двумя сферическими (или коническими с закругленной головкой) инденторами [I0]. Существуют и другие модификации принципа раскалывания.

Несмотря на формальные различия и некоторые частные особенности, все эти методы имеют единую физическую основу. Природа и физические основы явлений остаются при всех видах и способах раскалывания принципиально теми же. Всегда возникает именно

разрыв. Это создает возможность измерений прочности горных пород и других твердых тел на растяжение простым и доступным способом раскалывания.

Методические исследования принципа растяжения при раскалывании в применении к изучению механических свойств горных пород и углей, выполненные ИГД им.А.А.Скочинского и другими институтами, дали положительные результаты.

Для изучения прочностных свойств горных пород (особенно пород угольных месторождений и других пород осадочного происхождения, отличающихся существенной анизотропией) наиболее целесообразно рекомендовать методы направленного раскалывания.

Определение предела прочности пород при одноосном сжатии на образцах полуправильной формы, выполняемое в сочетании с испытанием прочности пород на растяжение по принципу направленного раскалывания, также предназначено для массовых испытаний и проведения широких исследований механических свойств пород. Все классические способы испытаний как горных пород, так и других материалов на сжатие требуют изготовления ряда образцов правильной геометрической формы (цилиндров, кубов, призм). Образцы разрушают силами, приложенными к торцевым поверхностям. Известно, что при сжатии образцов испытуемых материалов на контактах породы со сжимающими плитами испытательных прессов возникают силы трения. В образцах породы создается неоднородное напряженное состояние, что оказывает существенное влияние на полученные в разных условиях характеристики деформируемости и прочности пород. Установлено, что при отношениях высоты образца к диаметру $h/d = 2$ влияние трения на контакте породы с нагружающим устройством на результаты испытаний уменьшается. Все же на практике испытания на сжатие выполняют большей частью на образцах, высота которых равна или незначительно отличается от диаметра. Для массового метода такой путь представляется нам наиболее простым.

Преимуществом испытания на сжатие образцов кубовидной формы (или соответственно цилиндров с $h/d = 1$) является также то, что в этих условиях уменьшается отрицательное, искажающее влияние эксцентриситета приложения нагрузки.

Известно, что выпуклость контактной поверхности и неудовлетворительная чистота обработки контактных граней ведет к существенным погрешностям. Правильная точная обработка торцевых

поверхностей дает более высокие, более достоверные характеристики прочности пород. При разработке предлагаемого метода авторы исходили из концепции, что решающее значение для получения надежных характеристик прочности пород и углей имеет создание строгих контактных условий, обеспечивающих равномерное приложение нагрузки. При раскалывании пластин большого размера можно получить колотые образцы с двумя плоскими контактными плоскостями лучшей геометрической формы в сравнении с индивидуально обработанными образцами, торцевые поверхности которых выравнивают посредством шлифования, и т.д. Это положительная особенность испытаний пород на образцах кубовидной формы, полученных раскалыванием больших пластин.

Сопоставительные определения прочности методами сжатия образцов полуправильной и правильной формы были выполнены на разнообразных породах угольных, рудных и других месторождений, а также на углях. Все эти исследования дали хорошее совпадение результатов.

Усредненные масштабные поправочные коэффициенты (табл. 6.I) определены на основе рекомендаций, изложенных в работах [4, II, I2]

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ В ГОРНОМ ДЕЛЕ И ПРАКТИКЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

I. Применение методов для решения вопросов механики пород и горного дела

I.I. Определение механических свойств пород различных бассейнов и месторождений. Главной целью применения предложенных методов является конкретное изучение механических свойств вмещающих пород, а также углей и руд различных угольных и рудных бассейнов.

Полученная информация свидетельствует о том, что методы ИГД им.А.А.Скочинского успешно использованы и применяются для изучения горных пород всех основных угольных бассейнов (Донецкого, Львовско-Волынского, Карагандинского, Кузнецкого, Печорского, Канско-Ачинского, Минусинского), а также Якутии и Дальнего Востока. Посредством этих методов изучены породы ряда железорудных месторождений (Кривбасс, КМА, Ена-Ковдор и др.), породы полиметаллических месторождений Казахстана и многие другие.

По предварительным сведениям, с применением методов ИГД им.А.А.Скочинского в последний период определены свойства десятков тысяч разновидностей пород. Изучены, в частности, углевмещающие породы с глубоких горизонтов Донецкого, Карагандинского и других бассейнов. О практическом использовании методов свидетельствуют сведения, приведенные ниже.

I.2. Применение метода для изучения проявлений масштабного эффекта в горных породах и углях. Известно, что прочность и другие механические свойства горных пород существенно зависят от размеров образцов. Особенно сильно проявляется масштабный эффект в ископаемых углях. Для решения многих вопросов горного дела, оценки прочности пород в массиве, в частности для решения задач, связанных с расчетом угольных и рудных целиков, проблема масштабного эффекта имеет весьма важное значение. Несмотря на многочисленные исследования, проводившиеся в течение продолжительного периода времени, этот вопрос до сих пор не получил

окончательного решения. Опытные данные, полученные различными научно-исследовательскими организациями и авторами, противоречивы. Испытания, проводившиеся с разными горными породами в различных условиях, не дали ясных результатов. Для некоторых пород, послуживших ранее для проведения методических исследований (например, для каменной соли, изученной румынскими исследователями), были получены результаты, противоположные общей для всех твердых тел главной закономерности, вытекающей как из теоретических предпосылок, так и из преобладающего большинства опытных данных, относящихся к самым разнообразным природным и искусственным твердым телам. В основных понятиях и представлениях, относящихся к проблеме масштаба, в горном деле возникли серьезные противоречия. На основе некоторых экспериментальных исследований возникла концепция, согласно которой прочность пород с увеличением размеров не уменьшается, а, наоборот, возрастает. Такая позиция могла повлечь за собой существенные погрешности в горнотехнических расчетах и проектировании горных предприятий.

Критический анализ и широкие обобщения, подкрепленные результатами экспериментальных исследований, выполненных в ИГД им.А.А.Скочинского (главным образом методом растяжения при раскалывании и сжатия образцов полуправильной формы), позволили внести ясность в эту проблему. Была показана решающая роль проявления в горных породах и углях главного масштабного эффекта, сущность которого заключается в уменьшении прочности с увеличением размеров, эффекта, вытекающего из современных представлений физики реальных твердых тел [4, II, I2].

Большое практическое значение приобрели исследования по масштабному эффекту, выполненные в ИГД им.А.А.Скочинского для оценки прочности угольных целиков. Использование установленных зависимостей для расчетов несущей способности целиков позволило по данным лабораторных испытаний предварительно оценить прочностные характеристики углей в массиве.

Ряд конкретных данных, отражающих проявления масштабного эффекта в углях, приведен в работах [4, II, I3]. В этих работах, в частности, было показано, что в различных направлениях (по отношению к плоскостям ослабления) масштабный эффект проявляется по-разному.

I.3. Применение метода для получения расчетных паспортов прочности. Полной прочностной характеристикой горных пород часто считают огибающие предельных кругов напряжений Мора, получившие

наименование паспортов прочности. Рядом авторов предложены расчетные способы построения этих паспортов с использованием одной или двух экспериментально определенных характеристик прочности пород [I4, I5]. На различных породах, углях и искусственных материалах в ИГД им.А.А.Скочинского были сопоставлены огибающие предельных кругов напряжений Мора, рассчитанные по способам М.М.Протодьяконова и Г.Н.Кузнецова, с огибающими, построенными по данным испытаний образцов правильной формы в условиях объемного сжатия. При этом было показано, что расчетные огибающие, полученные по данным испытаний пород на образцах полуправильной формы, практически совпадают с упомянутыми экспериментальными.

I.4. Применение метода для изучения анизотропии прочности горных пород и оценки прочности связи по ослабленным контактам. Изучение анизотропии механических свойств как горных пород (особенно слоистых, сланцеватых), так и углей было одной из наиболее важных целей, к которой мы стремились при разработке метода определения прочности на растяжение при раскалывании, а также комплексного метода растяжения-раскалывания и сжатия на образцах полуправильной формы. Уже в первых исследованиях, проведенных в ИГД им.А.А.Скочинского указанными методами [I3], было показано, как сильно проявляется в ряде осадочных пород и углей фактор анизотропии, особенно при растяжении. Была установлена связь прочности на растяжение при раскалывании с некоторыми существенными минералого-петрографическими особенностями пород (количеством и ориентировкой слюдистых и других ослабляющих прослоев, развитием трещин, спайностью породообразующих минералов) [I6].

Сильно выраженная анизотропия (особенно по контактам слоев) часто наблюдается в сравнительно слабых и значительно рассланцованных породах. Анизотропия проявляется, однако, также в некоторых весьма плотных и прочных породах.

Следует отметить, что анизотропия прочности при растяжении может проявляться не только в двух, но иногда (например, в углях) и в трех направлениях.

Примером применения предлагаемого метода для изучения анизотропии могут служить, в частности, данные о прочности бурых углей Харанорского месторождения на разрыв и одноосное сжатие (в мерзлом и талом состоянии), полученные при испытаниях, выполненных непосредственно на карьере и частично в лабораторных условиях (исследования А.И.Берона, С.Е.Чиркова, Н.И.Ножидаева) [I7].

Хорошим доказательством целесообразности применения метода растяжения при раскалывании для изучения сильно выраженной анизотропии (неоднородности и прочности связи пород по ослабленным межслоевым контактам) являются результаты испытаний кернов из геологоразведочных скважин, выполненных во ВНИМИ (С.Т.Кузнецов, И.Н.Воронин) [I8, I9]. Раскалывание по контактам использовано для прогноза расслаиваемости углевмещающих осадочных пород при решении задач об их устойчивости над очистными горными выработками.

I.5. Использование методов для изучения водоустойчивости и морозостойкости горных пород. Все механические, в том числе прочностные свойства пород, существенно изменяются под действием насыщения водой. В горном деле изменению свойств горных пород под влиянием агрессивных факторов (в том числе насыщения водой) долгое время не уделялось необходимого внимания. До сих пор недостаточно изучено влияние воды на статические и динамические свойства пород.

В ИГД им.А.А.Скочинского придают большое значение исследованиям в этой области [20, 2I], для чего также может быть успешно использован метод растяжения при раскалывании и сжатия образцов полуправильной формы. Особенно важное значение имеет это направление для изучения свойств пород, разрабатываемых открытым способом, где явления разрушения под действием атмосферных влияний могут интенсивно развиваться и значительно осложнять горные работы.

В связи с изложенным уместно отметить, что метод испытаний пород на образцах полуправильной формы успешно использован в последнее время институтом ВНИМИ (Г.Л.Фисенко, С.В.Кагермазова, Т.К.Пустовойтова) [22] для оценки морозостойкости горных пород при ведении открытых горных работ. Для данной цели во ВНИМИ рекомендован метод одноосного сжатия образцов полуправильной формы, предложенный ИГД им. А.А.Скочинского. Целесообразность данной рекомендации не вызывает сомнения. По нашему мнению, не менее важно для оценки потери прочности горных пород при многократном замораживании и оттаивании сопоставлять и показатели прочности на растяжение. Для этой цели также можно рекомендовать использовать именно принцип растяжения при раскалывании.

I.6. Использование метода для моделирования и изучения трещиноватости массива горных пород. Трудоемкость натурных испытаний пород в массиве заставляет искать другие пути оценки влияния трещиноватости на свойства пород. Одним из перспективных в этом

отношении направлений является моделирование трещиноватости массива на образцах и эквивалентных материалах. Широко используются модели трещиноватого массива, сложенные из образцов горной породы или искусственных материалов подобно элементарному блоку массива.

Упомянутые способы моделирования трещиноватости массива, наряду с преимуществами, имеют некоторые недостатки. Массивы горных пород бывают, как известно, разбиты в основном двумя типами трещин – трещинами отрыва и сдвига. Большую помощь в изучении влияния трещиноватости на свойства горных пород может оказать способ создания направленных систем трещин в монолитных образцах пород (или эквивалентных им материалах), который позволил бы моделировать трещины отрыва. Такой способ на основе метода направленного раскалывания призматических и кубических образцов горных пород посредством клиньев был разработан в ИГД им.А.А.Скочинского. От методики, рекомендуемой данными методическими указаниями, этот способ отличается лишь тем, что раскалывание производится в сочетании с боковым сжатием. Такое моделирование трещиноватости использовано для изучения влияния ее на прочностные и деформационные характеристики пород. Результаты некоторых из выполненных исследований изложены в работах [12, 23, 24, 25].

2. Практическое использование методов научно-исследовательскими институтами Академии наук СССР и союзных республик, министерств угольной промышленности, цветной, черной металлургии, геологической службы СССР и другими организациями

Методы, предложенные ИГД им.А.А.Скочинского, широко и успешно используются в настоящее время научно-исследовательскими институтами АН СССР, АН УССР, АН КазССР, СО АН СССР, Кольским филиалом АН СССР, большинством институтов Министерств угольной промышленности СССР и УССР, институтами и лабораториями геологоразведочных организаций Министерств геологии СССР и УССР, Министерства химической промышленности СССР, лабораториями вузов и другими организациями. Нашли применение они также за рубежом (ГДР, НРБ).

В ИГД им.А.А.Скочинского эти методы систематически и успешно применяются для изучения разнообразных горных пород и углей.

Изучены породы большого числа угольных, рудных и других месторождений, включения в углях, эквивалентные материалы и т.д. На протяжении последних лет эти методы стали основными при определении прочностных свойств пород и углей. На методы определения прочности углей, которые, как известно, обладают специфическими физико-техническими свойствами, Институтом горного дела имени А.А.Скочинского разработаны по плану Государственной стандартизации проект стандарта ПГ 401-374-74 [26] и вторая редакция этого стандарта. Как данные методические указания, относящиеся к горным породам, так и проект стандарта, относящийся к углям, подготовлены исходя из единых концепций и на единой принципиальной основе.

В лаборатории физических и физико-химических свойств горных пород и полезных ископаемых сектора физико-технических горных проблем ИФЗ АН СССР им.О.Ю.Шмидта (М.М.Протодьяконов, Р.И. Тедер) комплексный метод раскалывания и сжатия также применяется в качестве основного для определения прочности изверженных, метаморфических и осадочных горных пород многих месторождений, шахт и рудников. С применением этих методов указанной лабораторией изучены прочностные свойства углевмещающих пород ряда районов Донецкого бассейна (из шахт комбинатов "Донецкуголь", "Донбассантрацит", "Ростовуголь"), вмещающие породы Эстонского месторождения горючих сланцев (карьер "Вийвиконду"), породы месторождений КМА (Михайловское месторождение), Дашкесанского, Ено-Ковдорского, Каджаранского железорудных месторождений и др.

Методика испытаний прочности пород на образцах полуправильной формы включена в ГОСТы на методы определения механических свойств горных пород, подготовленные этой лабораторией и утвержденные Государственным комитетом стандартов СССР в 1975 г. В полученном ИГД им.А.А.Скочинского от сектора физико-технических горных проблем ИФЗ АН СССР заключении отмечается, что эта методика ИГД им. А.А.Скочинского заслуживает самой высокой оценки.

По сообщению Института геотехнической механики АН УССР (В.Т.Глушко, Г.Т.Кирничанский и др.), комплексный метод раскалывания-сжатия и метод определения прочности на растяжение посредством раскалывания клиньями успешно применяются этим институтом. Методика использована в качестве основной для массовых испытаний пород угольных и других месторождений с целью решения задач управления горным давлением, оценки выбросоопасности пород

(А.З.Широков и др.) и для других практических и научных целей. С применением данного метода изучены типичные породы Новомосковского, Павлоградско-Петропавловского, Лисичанского, Алмазно-Марьевского, Центрального, Донецко-Макеевского, Боково-Хрустального, Красноармейского, Краснодонского, Ворошиловградского угленосных районов Донецкого бассейна, а также породы Львовско-Волынского угольного бассейна. За последние годы метод использован при определении свойств 10-12 тысяч проб различных пород.

Как указывает ИГТМ АН УССР, использование метода ИГД им.А.А.Скочинского способствует повышению достоверности горнотехнических расчетов, улучшению проектирования шахт и рудников, уменьшению запасов прочности и прогнозированию с целью предотвращения аварийных ситуаций. Институтом геотехнической механики предложен хороший вариант метода испытаний пород на образцах полуправильной формы, а именно раскалывание цилиндров в двух взаимно перпендикулярных направлениях и последующее сжатие секторовидных образцов.

Институтом горного дела Сибирского отделения АН СССР (К.И.Дудушкина, В.В.Смирнов и др.) [27] метод определения прочности на образцах полуправильной формы широко использован для изучения свойств пород глубоких горизонтов Кузбасса, пород вскрыши Барандатского месторождения Канско-Ачинского буроугольного бассейна и других месторождений. По заключению ИГД СО АН СССР, метод хорошо зарекомендовал себя, незаменим для крупномасштабных исследований и может быть рекомендован в качестве стандартного.

Широко использует метод определения прочности на разрыв посредством раскалывания клиньями для изучения руд и пород месторождений Казахстана лаборатория горного давления Института горного дела АН КазССР. В частности, были выполнены исследования пород Джезказганского, Бакеновского, Карашальского месторождений и рудника "Бакырчик". По данным этой лаборатории, сопоставительные испытания с другими методами (прямым растяжением, методом соосных пуансонов) показали значительные преимущества метода раскалывания, что послужило основанием к тому, что этот метод принят в ИГД АН КазССР в качестве основного.

Метод ИГД им.А.А.Скочинского применяется и Горнометаллургическим институтом Кольского филиала АН СССР. В частности, он использован для изучения пород из сверхглубоких геологоразведочных скважин.

Комплексный метод раскалывания-сжатия и определения прочности на разрыв посредством раскалывания клиньями успешно использован Всесоюзным институтом гидрогеологии и инженерной геологии – ВСЕГИНГЕО (Г.Г.Скворцов, В.И.Кузькин, В.В.Фромм и др.). По сообщению ВСЕГИНГЕО, он широко применяется как основной метод массового изучения пород в целях прогнозной оценки условий разработки месторождений углей и других полезных ископаемых на стадии разведки. Посредством методов ИГД им.А.А.Скочинского институтом ВСЕГИНГЕО изучены породы большого числа угольных месторождений Донбасса, месторождений Криворожского железорудного бассейна, осадочные, метаморфические и изверженные породы ряда месторождений Южного Урала, Прибалтики, Северного Кавказа, Якутии и Дальнего Востока. Данная методика рекомендована для инженерно-геологической оценки угольных и рудных месторождений разработанными во ВСЕГИНГЕО руководствами как для лабораторных, так и для полевых условий.

Лабораторией инженерной геологии месторождений полезных ископаемых института ВСЕГИНГЕО [28] сделаны полезные рекомендации по усовершенствованию метода применительно к изучению пород угольных месторождений и разновидностей слабых пород.

Большая работа по испытанию прочности пород по ослабленным контактам посредством раскалывания клиньями выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском институте горной геомеханики и маркшейдерского дела ВНИМИ (С.Т.Кузнецов, И.Н.Воронин, Ю.Т.Кротов). В 1972 г. Техническим управлением Минуглепрома СССР утверждена подготовленная ВНИМИ "Методика предварительного выявления угольных пластов с тяжелыми и неустойчивыми кровлями", предусматривающая в комплексе методов для данной цели также определения пределов прочности на разрыв по принципу раскалывания. Во ВНИМИ разработана конструкция прибора БП-3, посредством которого рекомендовано определять прочностные характеристики горных пород в шахтных условиях [29].

С использованием рекомендаций ИГД им.А.А.Скочинского во ВНИМИ предложен также способ испытаний на сжатие образцов полуправильной формы, полученных посредством обработки двух параллельных друг другу поверхностей (Ю.М.Карташов) [30]. Успешно применен во ВНИМИ метод испытаний на сжатие на образцах полуправильной формы для оценки морозостойкости пород при проведении открытых работ (Г.Л.Фисенко, С.В.Кагермазова, Т.К.Пустовойтова) [22]. Во ВНИМИ разработаны также методика и аппаратура для опре-

деления прочности пород на растяжение посредством раскалывания двумя сферическими инденторами и в сочетании с этим модуля упругости и характеристик пластичности (Г.В.Михеев) [10]. Для проведения испытаний в полевых условиях предложена конструкция портативного прибора (БУ-39). Метод направленного раскалывания был рекомендован во ВНИМИ для оценки прочности на растяжение эквивалентных материалов (Г.Н.Кузнецов) [31]. Большая работа по опробованию и оценке метода в применении к испытаниям углей и пород выполнена во ВНИМИ Б.В.Матвеевым, Ю.М.Карташовым и А.А.Грохольским.

В Донецком бассейне кроме ИГТМ АН УССР комплексный метод раскалывания-сжатия применяют лаборатории управления Южукргеология (б. Днепрогеология) - А.В.Безазьян. Лаборатории ДонУГИ (Б.П.Овчаренко, М.Н.Шамаева), управления Ворошиловградгеология (Н.И.Козлова и др.) и Волго-Донского геологического управления (В.В.Смирнов) используют метод раскалывания.

Широко использован метод ИГД им.А.А.Скочинского для изучения пород угленосной толщи Карагандинского угольного бассейна. Институт КНИУИ (М.М.Мукушев, Г.Н.Гуменюк и др.) применил этот метод для изучения механических свойств как вмещающих пород, так и ряда разновидностей карагандинских углей [32]. Этим институтом отмечены неоспоримые достоинства методики (значительное сокращение трудоемкости работ и снижение затрат на проведение механических испытаний).

Метод ИГД им.А.А.Скочинского успешно применяется в Центральной лаборатории Центрально-Казахстанского геологического управления (ЦЛ ЦКТГУ) - Т.Серикбаев, И.Косенко и др. По данным ЦЛ ЦКТГУ, этим методом испытано около 3 тысяч образцов пород угленосной толщи Карагандинского бассейна.

По сообщению комбината "Воркутауголь" и института ПечорНИИпроект, с применением комплексного метода ИГД им.А.А.Скочинского изучено 1800 проб горных пород, вмещающих основные угольные пласты Печорского бассейна. В этом бассейне впервые в СССР посредством данного метода выполнены систематические исследования нарушенных углей ряда угольных пластов Воркутинского месторождения и т.д. (Ю.И.Калимов и др.) [33, 34].

В Кузнецком бассейне (КузНИУИ) комплексным методом растяжения и сжатия образцов полуправильной формы на протяжении двух лет испытано более 500 разновидностей горных пород (сообщение КузНИУИ). Изучены, в частности, породные прослойки и твердые

включения в угольных пластах Ленинского, Осиповского, Байдаевского и Прокопьевско-Киселевского месторождений.

С применением метода ИГД им.А.А.Скочинского широко изучены углевмещающие породы Волынских месторождений (Л.Ф.Зорин, Г.В.Кузькин, В.И.Бразицкий) [35].

Методика определения прочности горных пород на образцах полуправильной формы успешно применяется институтом НИИОГР (А.П.Красавин и др.) для изучения прочностных свойств вскрышных пород угольных месторождений, разрабатываемых открытым способом. Посредством этого метода определены характеристики пород Бородинского и Березовского месторождений Канско-Ачинского бассейна, Изыхского, Черногорского и Бейского месторождений Минусинского бассейна (735 литологических разновидностей пород). В 1974 г. изучались вскрышные породы Азейского месторождения.

По сообщению ВСЕГИНГЕО (В.В.Фромм), методы ИГД им.А.А.Скочинского применяются для изучения свойств угольных месторождений Якутии и Дальнего Востока.

Метод растяжения и сжатия образцов полуправильной формы успешно использован также для изучения изверженных, метаморфических и осадочных пород месторождений цветных металлов Казахстана. Отмечая равноценность результатов и вместе с тем простоту, удобство и сокращение затрат на выполнение испытаний Институт ВНИИцветмет (К.П.Катин и др.) [36] указывает на целесообразность замены методами ИГД им.А.А.Скочинского стандартных методов испытаний.

Институтом ВНИПИИСтромсырье (М.Нисневич, Н.Левкова) [37] комплексный метод раскалывания-сжатия применялся для оценки качества строительных камней (в основном наполнителей бетонов).

Большая работа по применению метода раскалывания при инженерно-геологических изысканиях и разведке большого числа месторождений строительного камня выполнена на Дальнем Востоке Хабаровским институтом инженеров железнодорожного транспорта (А.Д.Болотникова, И.Я.Медник). В числе других изучаются породы и бетоны на Восточном участке Байкало-Амурской магистрали.

Применяются методы для изучения месторождений горнохимического сырья институтом ГИГХС (Г.И.Дарыкина, Н.И.Лямина) [38], Институтом галургии (Н.М.Проскуряков, Р.С.Пермяков, А.Н.Черников) [39].

В Народной Республике Болгарии метод применяется инженерно-геологической лабораторией Комитета геологии НРБ (А.Тончев,

Е.Михайлов и др.) для изучения пород и углей ряда месторождений [41].

Метод раскалывания использован также в ГДР (Х.Пфорр, Г.Розетц) [41].

По данным института горючих ископаемых Минуглепрома СССР (Е.М.Тайц), метод ИГД им.А.А.Скочинского дал хорошие результаты при испытаниях металлургического кокса.

Метод определения прочности на растяжение по принципу направленного раскалывания,а также комплексный способ испытаний на растяжение при раскалывании и на сжатие применены по рекомендации ИГД им.А.А.Скочинского для изучения ряда синтетических материалов и полуфабрикатов для их производства (Институты ВНИИстром и др.). Метод применен также для испытаний каменного литья, дорожных покрытий на силикатной основе, некоторых разновидностей ситаллов и других искусственных веществ.

ЛИТЕРАТУРА

I. Койфман М. И. Скоростной комплексный метод определения механических свойств горных пород. – В сб.: "Механические свойства горных пород". М., Изд-во АН СССР, 1963.

2. Койфман М. И., Чирков С. Е. Исследования прочностных свойств типичных пород некоторых угольных и сланцевых месторождений новым методом. – В сб.: "Механические свойства горных пород". М., Изд-во АН СССР, 1963.

3. Протодьяконов М. М., Койфман М. И., Чирков С. Е., Кунтыш М. Ф., Тедер Р. И. Паспорта прочности горных пород и методы их определения. М., "Наука", 1964.

4. Чирков С. Е. Влияние масштабного фактора на прочность углей. М., "Наука", 1969.

5. Кунтыш М. Ф. Исследование методов определения основных физико-механических характеристик горных пород, используемых при решении задач горного давления. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., ИГД им.А.А.Скочинского, 1964.

6. Ильницкая Е. И., Тедер Р. И., Ратолин Е. С., Кунтыш М. Ф. Свойства горных пород и методы их определения. М., "Недра", 1969.

7. Hertz M. „Zeitschr. für Mathemat. u. Physik, B. 28, 1889, c. 125.

8. Койфман М. И. Прочность минеральных частиц высокой стойкости.–ДАН СССР, т. XXIX, 1940, № 7.

9. Протодьяконов М. М., Вобликов В. С. Определение крепости горных пород на образцах неправильной формы. – "Уголь", 1957, № 4.

10. Михеев Г. В. Исследование и разработка комплексного экспресс-метода определения прочности и деформируемости твердых горных пород. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., ИФЗ им. О.Ю.Шмидта, 1972.

11. Койфман М. И. Главный масштабный эффект в горных породах и углях. – В сб.: "Проблемы механики горных пород". М., Изд-во АН СССР, 1963.

12. Чирков С. Е. Влияние на прочность и деформируемость горных пород напряженного состояния и масштабного эффекта. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М., ИГД имени А.А.Скочинского, 1974.

13. Койфман М.И., Чирков С.Е., Аболенский Б.Н., Рамзаева Е. Т. Исследование влияния размеров образцов и анизотропии на прочность некоторых углей Донбасса и Кузбасса. – В сб.: "Механические свойства горных пород". М., Изд-во АН СССР, 1963.

14. Протодьяконов М. М. Обобщенное уравнение огибающих к предельным кругам напряжений Мора. – В сб.: "Исследование физико-механических свойств горных пород применительно к задачам управления горным давлением". М., Изд-во АН СССР, 1962.

15. Кузнецов Г. Н. Механические свойства горных пород. М., Углетехиздат, 1947.

16. Койфман М. И., Сенатская Г.С., Чирков С.Е., Квашнина О. И. Исследования масштабных изменений прочности горных пород в связи с их петрографическим строением. - В сб.: "Механические свойства горных пород". М., Изд-во АН СССР, 1963.

17. Берон А.И., Чирков С.Е., Пожидаев Н.И. О прочности мерзлых и талых бурых углей. - В сб.: "Разрушение углей и пород" (научные сообщения, вып. 92). М., ИГД им.А.А.Скочинского, 1972.

18. Воронин И. Н. Определение в полевых условиях прочности горных пород при разрыве по ослабленным межслоевым контактам.— Научные труды, сб. 70. Л., Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела, 1968.

19. Кузнецов С. Т., Воронин И. П. О прогнозе расслаиваемости осадочных пород при решении задач об устойчивости их над очистными выработками. - В сб.: "Научные труды", вып. 64. Л., Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела, 1968.

20. Чирков С. Е., Мельников А. Н. Комплексные исследования физико-механических свойств песчаников в сухом и водонасыщенном состояниях. - В сб.: "Исследование физико-механических свойств и взрывного способа разрушения горных пород". М., "Наука", 1970.

21. Койфман М. И., Ильницкая Е. И. Влияние влажности на прочность горных пород при растяжении и сжатии. - В сб.: "Исследование физико-механических свойств и взрывного способа разрушения горных пород". М., "Наука", 1970.

22. Фисенко Г. Л., Кагермазова С. В., Пустовойтова Т. К. Методические указания по изучению выветривания и осыпания пород в откосах угольных разрезов. Л., ВНИМИ, 1972.

23. Чирков С. Е. Моделирование трещиноватости в образцах горных пород. - В сб.: "Научные сообщения", вып. 78. М., ИГД им.А.А.Скочинского, 1970.

24. Чирков С. Е. Исследование влияния трещиноватости на прочность горных пород. - В сб.: "Научные сообщения", вып. 81. М., ИГД имени А.А.Скочинского, 1971.

25. Чирков С. Е., Алексеенко С. Ф. Влияние трещиноватости на прочность и деформируемость горных пород. - "Технология и механизация разработки угольных месторождений" (научные сообщения, вып. 87). М., ИГД им.А.А.Скочинского, 1971.

26. Угли бурые, каменные и антрациты. Методы определения прочности на растяжение и одноосное сжатие. Проект ГОСТ ПГ 401-374-74.

27. Дудушкина К. И., Смирнов В. В. Физико-механические свойства пород вскрыши Барандатского месторождения Канско-Ачинского бурогольного бассейна. - В сб.: "Технология и механизация открытых горных работ". Новосибирск, "Наука", 1971.

28. Скворцов Г. Г., Фромм В. В. Инженерно-геологическое изучение глубоких горизонтов месторождений полезных ископаемых при разработке. М., "Недра", 1970.

29. Кузнецов С.Т., Воронин И.Н., Ставрогин А.Н., Кротов Ю. Т. Методика предварительного выявления угольных пластов с тяжелыми и неустойчивыми кровлями. Л., Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела, 1973.

30. Карташов Ю. М. Методические указания по определению прочности горных пород на сжатие. Л., Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела, 1973.

31. Кузнецов Г. Н. и др. Моделирование проявлений горного давления. Л., "Недра", 1968.

32. Свойства горных пород Карагандинского угольного бассейна. Караганда, Карагандинский научно-исследовательский угольный институт, 1972.

33. Калимов Ю. И. Физико-механические свойства горных пород Воркутинского месторождения. Сыктывкар, Коми кн.изд., 1969.

34. Калимов Ю. И. и др. Механические свойства углей Печорского бассейна. Сыктывкар, Коми кн.изд., 1970.

35. Зорин Л. Ф., Кузькин Г. В., Бразицкий В. И. Прочностные свойства горных пород Волынского месторождения. – "Уголь Украины", 1968, № 4.

36. Катин К.П., Колесникова Г.М., Пестунов Г.П. Сравнительная оценка некоторых методов определения временного сопротивления горных пород одноосному сжатию и растяжению. – В сб.: "Горное дело" (труды ВНИИцветмет, № 24). М., "Недра", 1972.

37. Левкова Н. С. Исследование прочности, однородности и сцепления с цементным раствором щебня из карбонатных пород и влияние этих характеристик на прочность бетона. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., НИИЖБ, 1969.

38. Дарыкина Л. И., Лямина Н. И. Свойства горных пород Гаурдакского серного месторождения. – В сб.: "Свойства пород месторождений горнохимического сырья", вып. 22. М., ГИГХС, 1971.

39. Проскуряков Н. М., Пермяков Р. С., Черников А. К. Физико-механические свойства соляных пород. Л., "Недра", 1973.

40. Тончев А., Михайлова Е., Тасева С., Пешев В. Изследоване на физико-механичните и технологични свойства на въглищата и вместващите скали в условията на ДМ "Черно море". Научно-техн. конф. минно дело и геол. "20 год Висш.минно-геол. ин-т". Варна, 1973.

41. *Pfoff K., Rosetz J.P. Ergebnisse und Erfahrungen bei Druck- und Zugversuchen an Gesteinen des Kalibergbaus. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig, 1966.*

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
Назначение, сущность и главные особенности методики 4
Отбор проб 7
Оборудование, аппаратура и материалы I2
Подготовка к испытаниям I3
Выполнение испытаний I6
Обработка результатов I8
Приложение I 2I
Краткое обоснование методики 2I
Приложение 2 26
Применение методов в горном деле и практике геологоразведочных работ 26
Применение методов для решения вопросов механики пород и горного дела 26
Практическое использование методов научно-исследовательскими институтами Академии наук СССР и союзных республик, министерств угольной промышленности, цветной, черной металлургии, геологической службы СССР и другими организациями 30
Литература 37

Аба Исаакович Берон, Михаил Ильич Койфман,
Сергей Ефимович Чирков, Ирина Александровна Соломина

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД НА ОБРАЗЦАХ ПОЛУПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЫ

Редактор И.А.Дружкова
Технический редактор Н.В.Власова

Тираж 600 Цена 20 коп. Изд. № 7680 Заказ № 157

Типография Института горного дела им. А.А.Скочинского
2,75 уч.-изд.л. Подписано к печати 26/П 1976 г.

gost.e-ecolog.ru