Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА
имени
А. А. Скочинского

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД НА СТАТИЧЕСКОЕ ОТКАЛЫВАНИЕ

МОСКВА
1980

gost.e-ecolog.ru

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

Лаборатория механического
разрушения горных пород

Утверждена
заместителем начальника
Технического управления
Минуглепрома СССР
В. Т. Волковым
1 октября 1980 г.

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД НА СТАТИЧЕСКОЕ ОТКАЛЫВАНИЕ

Москва
1980

УДК 622.23.02

В настоящей работе приведена методика испытания горных пород на статическое откалывание для определения сопротивляемости разрушению пород резцовым инструментом и установления показателя хрупко-пластических свойств.

Методика разработана в ИГД им. А.А. Скочинского проф.,докт.техн.наук Л.Б.Глатманом и инж. Л.С.Яшиной.

Указанная методика может быть использована работниками научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций.

© Институт горного дела им. А. А. Скочинского
(ИГД им. А. А. Скочинского), 1980

ВВЕДЕНИЕ

Надежность инженерных методов расчета различных процессов механического разрушения горных пород в значительной степени зависит от достоверности определения и оценки их горнотехнологических свойств. Для большинства способов механического разрушения в качестве критерия сопротивляемости породы разрушению в приповерхностном слое в настоящее время применяется показатель контактной прочности $p_к$. Однако этот показатель, как известно [I], может быть определен только для пород, в которых при вдавливании индентора образуется лунка хрупкого выкола, т.е. в основном для пород хрупких. Накопленный как в лаборатории механического разрушения горных пород ИГД им.А.А.Скочинского, так и в других организациях значительный по объему экспериментальный и производственный опыт подтвердил достоверность критерия $p_к$ для расчета наиболее распространенного способа разрушения хрупких горных пород до средней крепости посредством режущего инструмента (т.е. методом резания). Преимуществом нового способа испытания является возможность оценить на таком же породном образце и на той же испытательной установке, как и при определении контактной прочности, уровень сопротивляемости резанию горной породы, не образующей лунки хрупкого выкола.Это делает способ испытания универсальным - сопротивляемость статическому откалыванию, коррелирующая с характеристикой разрушаемости при резании, может быть экспериментально определена для горной породы с самыми разнообразными хрупко-пластическими свойствами.

Метод испытания пород на статическое откалывание был предложен в лаборатории механического разрушения пород института проф., докт.техн.наук Л.И.Бароном, проф.,докт.техн.наук Л.Б.Глатманом и инж. Л.С.Яшиной.

Известно, что хрупко-пластические свойства горных пород и количественная их оценка как сред, разрушаемых механическими

способами, изучены недостаточно и с трудом поддаются более или менее достоверному косвенному определению. Настоящая методика позволяет при испытании горных пород на статическое откалывание получать, наряду с показателем сопротивляемости разрушению $P_{отк}$, также критерий хрупко-пластических свойств $tg\,\varphi$, отвечающий требованиям, предъявляемым к характеристикам для горнотехнологических инженерных расчетов.

Сущность испытания сводится к вдавливанию инденторов прессом на некотором расстоянии от ребра породного образца. Каждое вдавливание производится до отделения элемента породы в сторону боковой стенки образца.

За критерий сопротивляемости откалыванию $P_{отк}$ принимается величина предельного контактного давления (на единицу площади основания индентора) в момент откалывания (отрыва), а за характеристику хрупко-пластических свойств – тангенс половины угла 2φ, под которым расходится откольная трещина, выходя к боковой стенке образца (см. рисунок). По физической сущности данный угол аналогичен углу бокового развала породы (например, при резании).

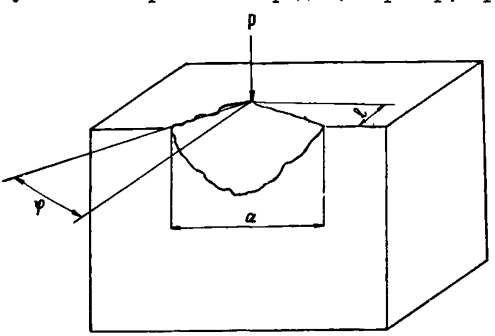


Схема испытания горных пород
на статическое откалывание

В ходе исследований по разработке рассматриваемой новой методики испытаний горных пород отчетливо выявилось, что в зависимости от соотношения расстояния точек вдавливания от края образца и диаметра индентора разрушение породы может происходить либо по типу скалывания (т.е. сдвига), либо по типу откалывания (т.е. отрыва). Так как наиболее характерным для разрушения пород резцами и некоторыми другими инструментами механического действия является откалывание, условия испытаний должны обеспечивать именно этот вид разрушения.

В результате экспериментальных исследований установлено, что отрыв имеет место при расстояниях вдавливания, равных или больших двух диаметров индентора. Так как максимальный диаметр инденторов, применяющихся обычно в лабораториях, составляет около 7 мм, границей перехода от зоны сдвига к зоне откалывания является расстояние, составляющее около I5 мм, которое было принято за базовое. Необходимость проведения опытов при постоянном расстоянии вдавливаемого индентора от стенки была обусловлена тем, что на разных горных породах интенсивность изменения усилий откалывания с увеличением расстояния существенно неодинакова.

Определения $tg\varphi$ при откалывании, выполненные при различных диаметрах инденторов и расстояниях точек вдавливания от края, показали, что изменение величины показателя $tg\varphi$ с изменением данных условий испытаний подчиняется тем же закономерностям, что и при резании: величина $tg\varphi$ не зависит от площади контактной поверхности и несколько уменьшается с увеличением расстояния вдавливания от края (при резании этому расстоянию соответствует толщина стружки). Учитывая, что интенсивность изменения величин $tg\varphi$ с изменением расстояния точек вдавливания от края на разных породах различна, определения величин $tg\varphi$ было решено производить тоже при постоянном расстоянии вдавливаемых инденторов от стенки.

Методикой предусмотрено проведение опытов с применением инденторов, имеющих плоское основание, в то время как у реального инструмента оно коническое или клиновое. Решение о применении цилиндрических инденторов с плоским основанием было принято в итоге анализа вариации результатов опытов при постоянной и непостоянной площади контакта индентора с породой, а также с учетом результатов сопоставления усилий откалывания при плоском и коническом основаниях с усилиями резания пород. Было установлено, что выигрыш в точности, получаемый при применении инденторов, сходных с резцом, имеющим коническую головку, незначителен, в то время как разброс результатов повторных опытов при таком основании намного выше, чем при плоском.

Рекомендация использовать для испытаний на сопротивляемость откалыванию два индентора разных диаметров базируется на результатах исследований проявления масштабного эффекта при откалывании.

Методикой предусматривается проведение опытов на образцах с плоской боковой стенкой. Показатели $P_{отк}$ и $tg\varphi$, полученные на

таких образцах, отличаются от полученных на кернах: с уменьшением радиуса кривизны боковой стенки образца сопротивляемость откалыванию и величина критерия $tg\,\varphi$ уменьшаются, причем для разных пород с различной интенсивностью.

Поскольку установить формулу пересчета, единую для всех пород, практически невозможно, авторы решили для получения сопоставимых показателей проводить опыты на образцах с плоской боковой стенкой.

Чтобы показатель $P_{отк}$ отражал действительную сопротивляемость породы разрушению в реальном процессе, поверхность вдавливания при проведении опытов, как и поверхность реального забоя, очевидно, должна быть естественной, а не полированной.

Опыты на образцах с естественной и с обработанной поверхностями одних и тех же горных пород показали, что усилия откалывания, как и показатель $tg\,\varphi$, практически не зависят от степени шероховатости поверхности вдавливания и лишь вариация на образцах с гладкой поверхностью несколько меньше, чем на образцах с поверхностью естественной. Поэтому в лабораторных условиях опыты имеет смысл выполнять на образцах с обработанной поверхностью: дополнительных затрат времени и труда на подготовку этой поверхности не требуется, так как она может быть нарезана одновременно с нижней гранью образца, а число опытов при такой поверхности вдавливания окажется несколько меньшим, чем при естественной.

Метод статического откалывания может быть использован не только для производственных, но и для научных целей, например, для исследования влияния слоистости на характеристики разрушаемости пород.

При испытании на откалывание экспериментальным путем может быть найден угол, характеризующий угол скола при резании.

Способ испытаний, пригодный как для хрупких, так и для весьма пластичных горных пород, не рекомендуется, однако, для пород сильно трещиноватых и рассланцованных.

Показатель сопротивляемости статическому откалыванию рекомендуется использовать в качестве характеристики разрушаемости в первую очередь для тех пород, контактную прочность которых невозможно определить вследствие высокой их пластичности.

I. ОТБОР ОБРАЗЦОВ (ПРОБ)

Отбор и хранение проб для испытаний на статическое откалывание производится с учетом рекомендаций работы [2] и заключается в следующем:

I. Необходимо, чтобы отобранные для испытаний образцы были максимально типичными по составу, структуре, текстуре и состоянию для тех горных пород, которые данные образцы должны представлять.

2. Как правило, опробованию подвергают те виды и разновидности пород, которые имеют самостоятельное значение как объекты разрушения при ведении горных работ.

3. Образцы, предназначенные для испытаний, не должны иметь видимых нарушений (трещин). Желательно, чтобы монолитные куски требуемых размеров извлекались с минимальными механическими воздействиями, без нарушения целостности отделяемой части породы.

4. Выветрелые или растрескавшиеся участки породы при отборе пробы в обнажении обязательно следует удалить.

5. На каждый образец необходимо нанести устойчивой краской порядковый номер.

6. В ведомости отбора проб указывают:

номер пробы;

место отбора пробы (шахта, горизонт, горная выработка, скважина, принадлежность к определенному пласту или залежи полезного ископаемого);

наименование горной породы;

краткую характеристику породы: минералогический состав (желательно), зернистость, особенности структуры и текстуры;

дополнительные сведения о пробе (например, о естественной влажности опробуемой породы, если необходим особый учет данного факта и т.п.).

7. Желательно извлекать из массива пробы в виде монолитов параллелепипедной или кубовидной формы.

8. Технология отбора проб из горных выработок должна в максимальной степени исключать дополнительные повреждения, разрушение их или расслоение. Для извлечения проб из массива желательно применять режущие устройства.

В отдельных случаях допускается обуривание монолитов и отделение их от массива посредством клиньев.

Размеры проб для единичных испытаний должны удовлетворять следующим условиям:

ширина образца должна быть не менее 50 мм;

значения длины и высоты образца должны быть не менее представленных в табл. I.I.

Таблица I.I

Сопротивляемость откалыванию $P_{отк}$, кгс/мм^2	Длина, мм	Высота, мм
Менее 70	90	50
70-I40	I20	60
Более I40	I50	80

9. Представляющие пробу породные монолиты должны иметь верхнюю и нижнюю поверхности (в крайнем случае хотя бы одну из них), более или менее параллельные слоистости.

2. УСТАНОВЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО ЧИСЛА ПРОБ (ОБРАЗЦОВ) И ИСПЫТАНИЙ

I. Число проб образцов $N_{обр}$, которое нужно отобрать, зависит от требуемого числа единичных испытаний $n_{исп}$, а последнее - от заданных точности и надежности определения, с одной стороны, и от вариации искомой характеристики у пород данной группы, - с другой.

2. Необходимое число испытаний устанавливают статистическим путем по величине коэффициента вариации $k_{вар}$, характерного для пород данной группы. При этом задаются величиной допускаемой относительной (в процентах) ошибки $k_{доп}$ и величиной так называемого нормированного отклонения $t_{норм}$.

В качестве расчетной используется обычная формула математической статистики

$$n_{исп} = \frac{k_{вар}}{k_{доп}} t^2_{норм} . \qquad (2.I)$$

Величину нормированного отклонения принимают в зависимости от задаваемой надежности $P_{над}$ (табл. 2.I).

Для исследовательских работ величину допускаемой относительной ошибки $k_{доп}$ можно принимать в пределах 8-I2%, и для определения в прямых производственных целях - 20-30%.

Таблица 2.I

Задаваемая надежность $P_{над}$	0,68	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	0,955	0,990	0,997	0,999
Нормированное отклонение $t_{норм}$	I,0	I,04	I,I5	I,28	I,44	I,65	I,96	2,0	2,58	3,0	4,0

Рекомендуется ориентироваться на следующие минимальные значения надежности $P_{над}$ и соответствующие им величины $t_{норм}$.

	$P_{над}$	$t_{норм}$
Для определения в прямых производственных целях	0,80	I,28
Для производственно-исследовательских работ	0,90	I,65
Для специальных лабораторных исследований физико-технического профиля	0,95	I,96

Ориентировочные значения коэффициентов вариации показателей сопротивляемости статическому откалыванию и хрупко-пластических свойств некоторых горных пород представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Горная порода	Ориентировочные коэффициенты вариации $K_{вар}$ (%) для	
	$P_{отк}$	$tg\,\varphi$
Мрамор	I5–25	20–30
Известняк	I0–25	I0–30
Песчаник мелко- и среднезернистый	5–20	I0–25
Песчаник слоистый	25	25
Гранит	5–20	I0–30
Горючий сланец	20–30	20–30
Лабрадорит	I0	20
Доломит	20	I0

3. АППАРАТУРА И ОБОРУДОВАНИЕ

I. Испытания горных пород на статическое откалывание могут проводиться на гидравлических и механических прессах с максимальными усилиями, превышающими на 20–30% предельные нагрузки для наиболее прочных образцов. Точность регистрации усилий должна составлять до I–2%. Этим требованиям обычно удовлетворяют прессы с нагрузкой от 2,5 до I0 тс. Пресс должен обеспечивать плавное нагружение.

2. Для вдавливания используются цилиндрические инденторы с плоским основанием, изготовленные из сплавов ВК-6 и ВК-8. Основание индентора должно быть ровным, не иметь повреждений и сколов кромки. Чтобы поверхность индентора, находящаяся в контакте с образцом, не выкрашивалась, допустимо на крепких породах применение инденторов в форме усеченного конуса с углом приострения не более 60^{0}.

3. Во избежание искажения результатов испытаний вследствие проявлений масштабного фактора необходимо на каждом образце применять инденторы двух размеров, соотношение площадей оснований которых должно быть не менее 5-6. Наименьшая площадь при этом должна быть не менее I-2 $мм^2$, а наибольшая - до 30-40 $мм^2$.

4. Для крепления индентора удобно использовать специальный патрон конструкции Н.С.Родионова и А.В.Кузнецова [3]. Индентор вставляют в патрон, головка которого снабжена резьбой, и зажимают при помощи накидной гайки. Патрон с индентором при помощи винта закрепляют в обойме верхней плиты пресса.

5. При подготовке образцов к испытаниям рекомендуется использовать камнерезные машины с рабочими органами в виде вращающихся режущих алмазных дисков или фрез, оснащенных твердосплавными резцами или вставками.

Диаметр отрезных дисков должен быть не менее 320 мм.

4. ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ И ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

I. Подготовка образцов к испытаниям заключается в нарезании прямоугольных породных образцов в форме параллелепипедов или кубов. Угловое отклонение от перпендикулярности между плоскостью вдавливания и боковыми стенками не должно превышать $2-3^{0}$.

Дополнительную обработку поверхности нарезанных образцов производить не требуется.

Не допускается проведение опытов на образцах с видимыми нарушениями боковых граней и кромок, вблизи которых будет производиться вдавливание.

2. Для определения показателя сопротивляемости статическому откалыванию и установления характеристики хрупко-пластических свойств инденторы вдавливают в точки, удаленные от ребра образца на расстояние I5 мм. Допускается отклонение от указанного расстояния не более чем на 0,5 мм.

3. Нагружение при испытании производят в один прием до момента отделения элемента образца в сторону его боковой стенки. Скорость приложения нагрузки должна быть не выше 30 мм/мин.

4. В журнале фиксируют усилия откалывания, а также максимальную ширину a отколотых частиц (см. рисунок).

5. Расстояния между соседними точками вдавливания выбирают с таким расчетом, чтобы участки соседних отколов не соединялись.

6. На отдельных хрупких породах в процессе нагружения иногда образуются небольшие местные выколы породы под основанием индентора. В таких случаях следует продолжать вдавливание до откалывания в сторону боковой стенки образца.

7. При проведении опытов на слоистых породах необходимо вдавливать индентор как вдоль, так и перпендикулярно слоистости.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Показатель сопротивляемости статическому откалыванию вычисляется по формуле

$$P_{отк} = \frac{\frac{\sum_1^{n_2} P_2}{n_2} - \frac{\sum_1^{n_1} P_1}{n_1}}{S_2 - S_1}, \qquad (5.1)$$

где P_2 и P_1 – усилия откалывания при вдавливании инденторов соответственно с большим и меньшим основаниями, кгс;

n_2 и n_1 – число вдавливаний инденторов соответственно с большим и с меньшим основаниями;

S_2 и S_1 – величины соответственно большей и меньшей площади оснований, мм^2.

2. Для расчета показателя хрупко-пластических свойств при единичном откалывании используется формула

$$tg\varphi = \frac{a - d'}{2\ell}, \qquad (5.2)$$

где a – ширина откола, мм;

d' – диаметр индентора, мм;

ℓ – расстояние точки вдавливания от края образца, равное 15 мм.

Величина показателя $tg\varphi$ от диаметра индентора не зависит. Если опыты на откалывание производятся с двумя инденторами, при расчете среднего значения могут быть использованы результаты вдавливаний обоих инденторов одновременно.

3. Коэффициенты вариации при испытании на сопротивляемость откалыванию определяются для инденторов большего и меньшего диаметров отдельно. Среднее арифметическое полученных значений принимается за итоговое.

Коэффициенты вариации показателя $tg\varphi$ при испытании с применением двух инденторов рассчитываются по сумме результатов всех вдавливаний.

Для вычисления коэффициентов вариации применяется формула

$$K_{вар} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{1}^{n} \Delta_i^2}{n-1}}}{\bar{x}} \cdot 100\%, \qquad (5.3)$$

где Δ_i – отклонения отдельных результатов от средних арифметических;

$\bar{x}$ – среднее арифметическое;

n – число опытов.

6. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ГОРНЫХ ПОРОД ПО МЕТОДУ СТАТИЧЕСКОГО ОТКАЛЫВАНИЯ

Экспериментальные значения показателей $\rho_{отк}$ и $tg\varphi$ некоторых горных пород представлены ниже.

Таблица 6.I

Горная порода	$\rho_{отк}$, кгс/мм^2	$tg\varphi$
Алевролит	5I	–
Галит	I4	I,80
Гипс	I2	I,28
Гранит	89–249	2,45–3,22
Доломит	22	3,I0
Известняк	3–42	I,52–2,02
Известняк травертин	65	2,85
Каменная соль	9	I,05
Кварцит шокшинский	43I	5,60
Лабрадорит	234	3,30
Мрамор	49–I3I	I,92–2,23
Песчаник	28–I25	I,62–2,4I
Песчаник мраморизованный	9I	2,67
Порфирит	230	–
Ракушечник	I3	2,04
Скарн	83	–
Сланец глинистый	3	I,87
Сланец горючий	7I	–
Туфобрекчия	87	I,86

ЛИТЕРАТУРА

I. Барон Л. И., Глатман Л. Б., Мельников А. Н. Методика определения контактной прочности горных пород. М., ИГД им.А.А.Скочинского, 1976.

2. Барон Л. И. Отбор проб для определения горнотехнологических свойств пород по методикам лаборатории механических способов разрушения горных пород ИГД им.А.А.Скочинского. М., ИГД им.А.А.Скочинского, 1966.

3. Родионов Н. С., Кузнецов А. В. Новая конструкция штампа для оценки твердости горных пород и минералов. - В сб. "Научные сообщения ИГД им.А.А.Скочинского", вып.XУП. М., Госгортехиздат, 1962.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3

I. Отбор образцов (проб) 7

2. Установление необходимого числа проб (образцов) и испытаний 8

3. Аппаратура и оборудование 9

4. Подготовка образцов и проведение испытаний I0

5. Обработка результатов II

6. Результаты испытаний горных пород по методу статического откалывания I2

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД
НА СТАТИЧЕСКОЕ ОТКАЛЫВАНИЕ

Редактор Л.В.Труханова

Т-I4962 Изд. № 8565 Тираж 500 Заказ № 2071

gost.e-ecolog.ru

Типография Института горного дела им. А.А.Скочинского
0,9 уч.-изд.л. Подписано к печати 2.IX I980 г.