

**МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АБРАЗИВНОСТИ
ГОРНЫХ ПОРОД**

Виконано короткий аналіз існуючих методів оцінки абразивності гірських порід

**METHODOICAL ASPECTS OF THE DETERMINE OF THE
ROCK'S ABRASIVE**

Short analys of the existing vabulation's methods of the rock's abrasive was implemented

Абразивность того или иного материала оценивается посредством способности одного из них изнашивать другой. Формой проявления абразивности является изнашивание контактирующих поверхностей, а основной физической причиной взаимодействия в контакте, в первую очередь, - сила трения.

Существует большое число методов оценки абразивности горных пород и угля [1, 2, 3, 5, 7, 8, 10, 11], которые можно разделить на испытания монолитных образцов и испытания раздробленных (порошкообразных или кусковых) масс.

Испытания первого вида нашли применение главным образом при определении твердости минералов для оценки износостойкости пород, используемых в качестве дорожных покрытий.

Испытания второго вида нашли применение для оценки абразивных свойств раздробленных минеральных масс при измельчении в мельницах и транспортировке, для оценки абразивных порошков (например, в оптической промышленности).

Оценка абразивности при обоих видах испытаний может производиться либо по износу определенного материала, применяемого за эталонный, либо по износу самого испытываемого вещества (горной породы). В зависимости от этих признаков каждый из 2-х видов испытаний целесообразно подразделить на 2 основных метода:

- 1) с оценкой абразивности по износу эталонного материала;
- 2) с оценкой абразивности по износу испытуемой породы.

Дальнейшее разделение предлагаемых классов на группы может быть осуществлено по признаку либо конструкции и материала эталона (для первого класса методов), либо способа разрушения испытуемой породы. Так, при испытаниях монолитных образцов по методам первого класса, эталон имеет форму или стержня (истирание торцов) или кольца (истирание кольцевой поверхностью). Эталонные стержни и кольца (диски) могут быть изготовлены из закаленной и незакаленной стали, бронзы, твердого сплава.

В методах второго класса разрушение испытуемой породы может осуществляться либо путем шлифования (истирание абразивов), либо путем резания абразивным диском, либо путем сверления.

При испытании раздробленных масс в качестве эталонного материала применяют металл (в образцах пластинчатой, треугольной, цилиндрической или шаро-видной формы) или стекло (для испытания абразивных порошков). Разрушение

производят как истиранием, так и измельчением в шаровой мельнице.

В целом, схема классификации существующих методов испытаний минеральных веществ на абразивный износ может быть представлена в следующем виде:

Методы испытаний монолитных образцов с оценкой абразивности по износу эталонного материала при истирании [1]:

- 1) стержней;
- 2) кольца (диска).

С оценкой абразивности по износу испытываемого минерального вещества при:

- 1) шлифовании (истирании абразивов);
- 2) резании абразивным диском;
- 3) сверлении.

Методы испытаний раздробленных масс с оценкой абразивности по износу эталонного материала:

- 1) металла;
- 2) стекла.

С оценкой абразивности по износу испытываемого минерального вещества при

- 1) истирании в барабане;
- 2) измельчении в шаровой мельнице.

В работе [6] предложены методы лабораторной оценки абразивности:

1) метод определения абразивности по истиранию образцов горных пород о наждачную поверхность

$$q = q_{\max} \frac{t}{t + t_0}, \quad (1)$$

где $q_{\max}$ — максимальный износ образца; t_0 — постоянная (const) времени истирания образца.

Текущий износ образцов становится равным половине максимального их износа.

2) метод определения абразивности по истиранию стального стержня о горную породу (сталь-серебрянка), длиной 50-70 мм, диаметром 4 мм.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n_n} g_i}{2n_n}, \quad (2)$$

где a — показатель абразивности горных пород, мг; g_i — потеря в весе эталонного стержня за каждый парный опыт, мг; n_n — число парных опытов;

3) метод определения абразивности горных пород по истиранию о горную породу вращающегося стального кольца.

Коэффициент абразивности:

$$\omega = \frac{\Delta V_c}{P}, \frac{\text{см}^3}{\text{кгм}}, \quad (3)$$

где ΔV_c — износ стали кольца на единицу пути, $\text{см}^3/\text{см}$; P — нагрузка на кольцо, кг;

1) метод определения абразивности горных пород сверлением.

Для определения абразивности используется прибор ПТА. Его действие основано на том, что при сверлении с постоянной подачей за каждый оборот осевое усилие увеличивается пропорционально затуплению сверла.

Из приведенного краткого анализа количественной оценки абразивности следует:

1) поскольку абразивность горных пород при добывании, принимаемая как способность их изнашивать инструмент, представляет особое комплексное физико-механическое свойство, зависящее от многих факторов, не поддающихся аналитическому определению, оценивать ее следует экспериментальным путем;

2) исходя из характера разрушения материалов при абразивном износе, можно считать вполне приемлемым проведение испытаний на образцах (в лабораторных условиях);

3) для получения возможно более достоверных констант абразивности необходимо, чтобы метод лабораторного испытания отражал главное в физической сущности абразивного изнашивания инструмента при воздействии его на горную породу.

Несмотря на различие в механике разрушения породы при различных процессах горной технологии, общим для них и наиболее характерным следует считать истирание твердого металла при трении о породу под значительной внешней нагрузкой. Именно это положено в основу метода испытания на абразивность.

4) Инструменты, применяемые для разрушения горных пород, могут изготавливаться из металлов и сплавов различных марок, обладающих существенно разными физико-механическими свойствами. Исходя из результатов проведенного анализа особенностей физико-механических констант горных пород при добывании и учитывая назначение показателя абразивности как приближенной количественной характеристики определенного свойства породы, следует признать нецелесообразным составление шкал абразивности отдельно по каждому из металлов, поэтому метод испытаний должен предусматривать истирание о разные породы одного металла;

5) при испытаниях на абразивность целесообразно принять такую методику, которая не требовала бы введения поправочных коэффициентов. Для этого необходимо предусматривать постоянство величины общей площадки контакта металла с породой, а соответственно и равенство действующей нагрузки на протяжении всего периода испытания. Необходимо также обеспечение постоянства скоростей;

6) метод инженерной оценки абразивных свойств горных пород должен включать сопоставление показателей, получаемых при лабораторных испытаниях, с данными практики, так как без такого сопоставления нельзя судить о степе-

ни достоверности подобных приближенных констант и возможности их использования в инженерных расчетах;

7) поскольку речь идет о пробе, предназначенной для широкого промышленного применения одним из важных требований должна явиться простота и доступность метода испытаний. Следует отметить, что нередко наблюдаемое стремление имитировать в лабораторной установке все или почти все условия производственного процесса, является неоправданным и несостоятельным в научно-методическом отношении, поскольку даже теория моделирования не может дать обобщенных правил для перехода от лабораторного эксперимента к реальному процессу разрушения горной породы, а показатели любого лабораторного испытания все равно останутся лишь относительными приближенными характеристиками. Для отражения в лабораторной пробе главного в физической сущности процесса вовсе не обязательно, чтобы проба была внешне ему подобна и тем более не требуется имитировать многих частных особенностей процесса.

Таким образом, для выбора рационального метода испытаний на абразивность необходимо:

1) для количественной оценки абразивных свойств горных пород испытания целесообразно проводить на монолитных образцах, поскольку показатели относительной абразивности в монолите и в раздробленном виде могут для отдельных пород быть существенно разными;

2) наиболее подходящей для пробы следует признать простейшую схему, заключающуюся в истирании металлического стержня о породный образец. Длительность испытания, величину нагрузки и скорость вращения целесообразно при этом принять постоянными;

3) в качестве критерия абразивности при испытании рационально избрать наиболее простой прямой показатель – износ эталонного материала за период испытания, проводимого в стандартном режиме;

4) поскольку реальный абразивный износ инструмента происходит в условиях контакта с естественной поверхностью разрушения, более правильно отказаться от трудоемкой подготовки поверхности и производить испытания на необработанных образцах.

Согласно [4, 5] в качестве показателя абразивности принимается весовой износ эталонов Δ (мг), отнесенный к пути трения L (км).

Анализ и сопоставление результатов определения абразивности углей и горных пород, полученных при использовании рассмотренных методов, встречает ряд затруднений, основные из которых заключаются в следующем: существенно различны свойства материалов, используемых в качестве эталонов; имеется обилие критериев, принятых в качестве оценочных, и невозможно свести их к единому критерию из-за отсутствия данных, позволяющих сделать необходимый пересчет; наличие разнообразия материалов и горных пород, абразивные свойства которых определились тем или иным исследователем. Если названия породы совпадают, отсутствие минералогической характеристики породы лишает возможности считать их идентичными. Каждый рассмотренный метод имеет свою шкалу показателей, нередко относительную. Имеются случаи, когда за базу для сравне-

ния принимаются как максимальное из установленных значений абразивности, так и минимальное.

Предлагается, что при заданных условиях и режимах эксперимента изнашивание однозначно определяется свойствами материала эталона и среды, а все изнашивающиеся материалы (абразивные среды) можно расположить в ряд. Однако с изменением условий проведения эксперимента эта однозначность нарушается, вследствие чего сопоставить значения абразивности, полученные различными методами, практически невозможно. В лучшем случае удастся провести лишь качественное сопоставление результатов.

Производственный опыт показывает, что существует корреляция между крепостью горных пород и их абразивностью. Однако было бы преждевременным делать вывод о том, что по величине коэффициента крепости горной породы можно с достаточной надежностью судить о степени ее абразивности [1].

Результаты эксперимента [1, 3] показывают, что с возрастанием крепости горных пород их абразивность тоже растет, однако после некоторого предела имеет место снижение среднего показателя абразивности. Это говорит о том, что показатель крепости горных пород не может однозначно характеризовать степень ее абразивности. Экспериментально также установлено, что абразивность пород при наличии определенных особенностей в структуре пород может находиться в обратной зависимости с коэффициентом крепости.

При сопоставлении абразивных и прочностных свойств горных пород различной структуры существует еще одна особенность: количественные соотношения между абразивностью и прочностью могут быть не пропорциональны между собой. С возрастанием прочности и одновременном уменьшении крупности зерен относительная абразивность снижалась, причем снижалась равномерно, почти по прямолинейной зависимости.

Отсюда следует, что знание только коэффициента крепости горной породы недостаточно для суждения об абразивности, надежную оценку последней дать не может. Этот показатель можно использовать только для предварительной оценки абразивности.

В [9] получен эмпирический коэффициент сопротивления механическому разрушению, показатель степени износа твердого сплава, связывающий абразивность и крепость пород. На основании полученных данных выполнена приближенная классификация (табл. 1) горных пород по их абразивности и коэффициенту сопротивления механическому разрушению.

Согласно этой классификации горные породы разбиты на десять классов, каждому из которых соответствует значение коэффициента сопротивления разрушению.

Если из предварительного, качественного анализа известны коэффициенты крепости и сопротивления разрушению, можно приближенно оценить абразивность горной породы с помощью эмпирической формулы:

$$a = \frac{K^3}{(1,56)^3} \frac{1}{f}, \quad (4)$$

где f – коэффициент крепости; K – коэффициент сопротивления разрушению; a – абразивность горной породы.

Таблица 1 – Классификация горных пород по их крепости и коэффициенту сопротивления разрушению

Класс пород	Характерные породы, входящие в данный класс	Наименование	Коэффициент сопротивления разрушению, K
I	Мягкие глинистые породы, некрепкие каменные угли	Весьма легко буримые породы	1-2
II	Каменные угли, мягкие сланцы, алевролиты, слабые известняки	Легко буримые породы	3-4
III	Известняки, алевролиты, аргиллиты, мраморы, сланцы, некрепкие песчаники	Породы малой трудности бурения	5-6
IV	Аргиллиты, известняки, песчаные сланцы, песчаники, кварцево-сульфидные руды	Породы ниже средней трудности бурения	7-8
V	Окремневшие известняки, песчаники, песчаные сланцы	Породы средней трудности бурения	9-10
VI	Окварцованные известняки, песчаники, диабазы, адамеллиты	Породы выше средней трудности бурения	11-12
VII	Песчаники, палеограниты, граниты, порфириды и др.	Породы повышенной трудности бурения	13-14
VIII	Крепкие песчаники, кварцевые сланцы, кварциты, граниты, порфиты, диориты	Трудно буримые породы	15-16
IX	Граниты, кварциты, диориты, кварцевые сланцы	Весьма труднобуримые породы	17-18
X	Крепкие корундосодержащие породы	В высшей степени труднобуримые породы	19-20

В [1] приведена классификация горных пород и минералов по абразивности, согласно которой они разделены на восемь классов. Шкалы абразивности горных пород, полученные различными исследователями [3, 11] показывают, что последовательность в абразивной способности различных горных пород, за небольшим исключением, сохраняется, несмотря на разные условия и методы ее определения. Однако эти шкалы могут служить лишь пособием для оценки относительной абразивности обрабатываемых и разрушаемых горных пород и в некоторых случаях для нормирования горных работ.

Используя эти методические разработки, выполнена сравнительная оценка показателя абразивности гипса, ангидрида и доломита, полученного экспериментальным [12] и расчетным путем (Табл. 2).

Таблица 2 – Сравнение показателей абразивности гипсоносных пород.

Порода	Средний показатель, a		Отклонение
	Экспериментальный	Расчетный	
Гипс	1,1-1,4	0,9-2,96	0,2-1,15
Ангидрид	2,9-4,03	2,37-5,6	0,53-1,57
Доломит	4,3-5,0	3,4-6,6	0,9-1,6

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барон Л.И., Кузнецов А.В. Абразивность горных пород при добычании. М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 168 с.
2. Кунтыш М.Ф., Баронская Э.И. Методы оценки свойств угольных пластов сложного строения. М.: Наука, 1980. – 144 с.
3. Спивак А.И. Абразивность горных пород. М.: Недра, 1972. – 240 с.
4. Методика оценки и классификация показателей разрушаемости угольных пластов основных бассейнов СССР. М.: Ин-т горного дела им. А.А. Скочинского, 1978, ч. I – 47 с.; ч. II – 113 с.
5. Позин К.З., Кунтыш М.Ф., Девятков А.А. Методика и аппаратура для определения абразивности угольных пластов. М.: Ин-т горного дела им. А.А. Скочинского, 1973. – 11 с.
6. Свойства горных пород и методы их определения (Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф.). – М.: Недра, 1969. – 392 с.
7. Авторское свидетельство СССР. Способ определения абразивности горных пород № 768979, кл. E 21C 49/00, 1980. Опубл. В БМ, 1980, № 37.
8. Авторское свидетельство СССР. Способ определения абразивности горных пород № 834345, кл. E 21C 39/00, 1981.
9. Сидоренко Н.И. Сопротивление горных пород механическому разрушению. Уголь Украины, № 2, 1963. С. 28-30.
10. Шрейнер Л.А., Петрова О.П., Скушев В.П. и др. Механические и абразивные свойства горных пород. М.: Гостоптехиздат, 1958. – 261 с.
11. Закономерности изменения абразивных свойств углевменяющих горных пород Кузбасса / Шалиманов В.А., Вайтов М.Д., Сайханов А.И., Синкин А.Н. Изв. ВУЗов. Горный журнал № 1, 2004. – С. 14-17.
12. Усаченко Б.М. Геомеханика подземной добычи гипса. К.: Наук.думка, 1985. – 216с.