Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. LI, вып. 1, 1966 г.

УДК 622.831

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД В ШАХТНЫХ УСЛОВИЯХ

Вяч. Б. Бокий, В. П. Мельниченко, А. М. Фридлянд

Исходными параметрами при решении задач, связанных с проявлениями горного давления, являются показатели прочности горных пород. Основным из них служит предел прочности при сжатии. Как правило, он определяется в лаборатории на образцах исследуемых пород. Известны и производственные методы [Барон, 1948], позволяющие определять предел прочности непосредственно на поверхности обнажения пород (забое, стенке выработки, кровле) или на некотором расстоянии от контура выработки, в скважине. Однако эти методы несовершенны, трудоемки и сложны.

Исследования В. В. Смирнякова, А. В. Борисовца и А. Н. Курочкина в 1960 г. физико-механических свойств горных пород Чурубай-Нуринского и Тентекского угольных районов на образцах правильной и неправильной формы показали, что пределы прочности одноименных горных пород в этих районах на различных участках колеблются в широких пределах. Например, предел прочности при сжатии песчаников 60—1900 *кГ/см*^{2}, алевролитов 90—900 *кГ/см*^{2} и аргиллитов 30—500 *кГ/см*^{2}.

При таком разбросе показателей возникает необходимость быстрого и простого определения пределов прочности пород в процессе проведения выработок. Существующие методы лабораторных испытаний горных пород связаны с выполнением ряда относительно сложных и трудоемких работ по отбору и обработке проб пород и изготовлению их образцов. Поэтому необходим такой метод, который обеспечил бы при проведении испытаний в шахтных условиях получение достоверных результатов на образцах любых форм и размеров или непосредственно в обнажении массива без сложных приборов.

Авторы исследовали возможность и целесообразность использования для определения предела прочности горных пород эталонного молотка, применяемого для установления прочности бетона без его разрушения [Кашкарев, 1960]. При определении прочности бетона эталонный молоток приставляют к испытываемому образцу и по тыльной стороне бойка ударяют обычным молотком. Металлический шарик оставляет отпечатки на поверхности испытываемого образца и металлического эталонного стержня. Угловым шаблоном измеряют (рис. 1) диаметры отпечатков на испытываемом материале d_0 и на металлическом эталонном стержне $d_э$.

Определив отношение $\frac{d_0}{d_э}$, находят прочность бетона в образце по тарировочной кривой прочности бетона (рис. 2).

Аналогичный прием применен авторами для определения предела прочности породы в образце и обнажении массива. Для установления правомерности использования тарировочного графика, построенного для бетона, при определении предела прочности породы проведены сравнительные испытания пород обычным лабораторным методом на образцах неправильной формы и эталонным молотком.

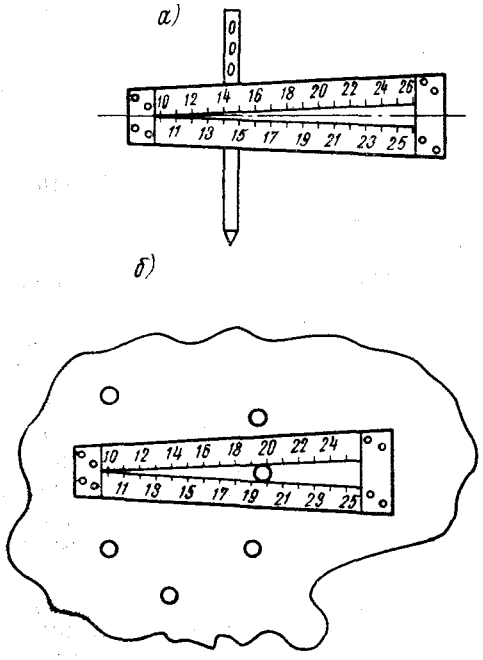


Рис. 1. Измерение диаметра отпечатка: *а* — на эталонном стержне; *б* — на породе.

При определении предела прочности породы эталонным молотком на каждый отобранный в шахте образец наносили 10 отпечатков. Из той же пробы породы изготовляли 20 образцов неправильной формы весом 20—50 *г* при соотношении поперечных размеров не более 1,5. Десять образцов каждой пробы породы разрушали приложением усилий перпендикулярно слоистости и столько же — параллельно ей. Всего таким образом испытано 55 проб, отобранных в забоях Чурубай-Нуринских и Тентекских шахт. Основные результаты сравнительных испытаний приведены в таблице, а графики соотношений пределов прочности при сжатии, полученных на образцах неправильной формы $\sigma_{сж}$ и эталонным молотком $\sigma_{сж.э}$, для песчаников, алевролитов и аргиллитов — на рис. 3.

Как показали испытания, пределы прочности при сжатии перпендикулярно и параллельно слоистости для песчаников и алевролитов отличаются в среднем не более, чем на 10%, что позволяет эти породы считать практически изотропными. Среднее значение прочности при сжатии для всех испытанных проб песчаников по образцам неправильной формы $\sigma_{сж.ср} = 335$ *кГ/см*^{2}, максимальное $\sigma_{сж.max} = 597$ *кГ/см*^{2}. Пределы прочности песчаников, определенные эталонным молотком: $\sigma_{сж.э.ср} = 342$ *кГ/см*^{2} и $\sigma_{сж.э.max} = 555$ *кГ/см*^{2}.

Таблица

Пределы прочности сжатию (средние значения), *кГ/см*^{2}

Порода	Число образцов	На образцах неправильной формы			Эталонным молотком $\sigma_{сж.э}$	$\frac{\sigma_{сж.\perp}}{\sigma_{сж.\parallel}}$	$\frac{\sigma_{сж.э.}}{\sigma_{сж.\perp}}$	$\frac{\sigma_{сж.э}}{\sigma_{сж.\parallel}}$	$\frac{\sigma_{сж.э}}{\sigma_{сж.ср.}}$
		$\sigma_{сж.\perp}$	$\sigma_{сж.\parallel}$	$\sigma_{сж.ср}$					
Песчаники	20	351	320,5	335,7	342	1,09	0,975	1,065	1,015
Алевролиты	18	216	196	206	204	1,1	0,945	1,04	0,99
Аргиллиты	17	104	84	94	160	1,21	1,57	1,91	1,7

Примечание. $\sigma_{сж\perp}$ и $\sigma_{сж.\parallel}$ — предел прочности сжатию соответственно перпендикулярно и параллельно слоистости.

При разрушении образцов алевролитов неправильной формы $\sigma_{сж.ср} = 206\ кГ/см^2$, при испытании эталонным молотком $\sigma_{сж.э.ср} = 204\ кГ/см^2$.

Достаточно близкое совпадение результатов испытаний горных пород на образцах неправильной формы и эталонным молотком свидетельствует о том, что при определении прочности с помощью эталонного молотка можно использовать тарировочный график, применяемый при оценке прочности бетона. Расхождение значений $\sigma_{сж.ср}$ ($94\ кГ/см^2$) при испытании образцов аргиллитов неправильной формы и $\sigma_{сж.ср}$ ($160\ кГ/см^2$) и при испытании эталонным молотком можно объяснить более высокой степенью анизотропности аргиллитов $\left(\frac{\sigma_{сж.\perp}}{\sigma_{сж.\parallel}} = 1{,}21\right)$, нарушенностью структуры и меньшей их упругостью по сравнению с бетоном.

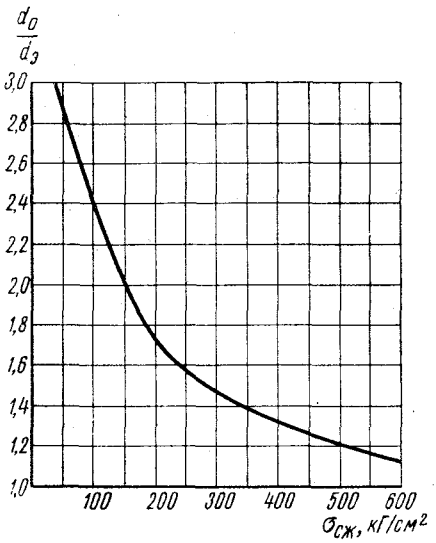


Рис. 2. Тарировочная кривая определения прочности бетона.

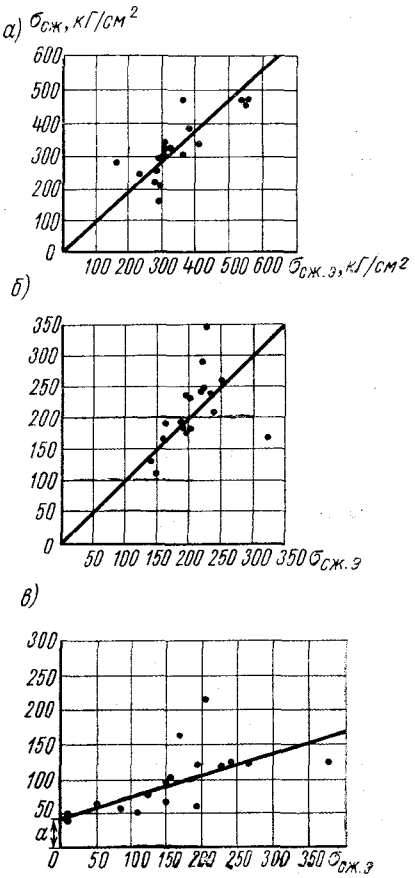


Рис. 3. Пределы прочности при сжатии, определенные на образцах неправильной формы и эталонным молотком: *а* — песчаников; *б* — алевролитов; *в* — аргиллитов.

Результаты определений прочности пород, полученные с помощью эталонного молотка и при разрушении образцов неправильной формы, приведенные на рис. 3, вполне сопоставимы. Поэтому с достаточной для решения практических задач точностью предел прочности горных пород сжатию при его значениях в границах предела прочности бетона можно определять по данным испытаний эталонным молотком, пользуясь линейными зависимостями для песчаников и алевролитов

$$\sigma_{сж} \cong \sigma_{сж.э}, \qquad (1)$$

и для аргиллитов

$$\sigma_{сж} \cong a + \operatorname{tg}\alpha\ \sigma_{сж.э}$$

или, подставляя из рис. 3, *в* значения a и α,

$$\sigma_{сж} \cong 40 + 0{,}3\,\sigma_{сж.э}, \tag{2}$$

где a — начальная ордината в уравнении прямой рис. 3, *в*;
α — угол наклона этой прямой.

Определив предел прочности породы при сжатии, можно найти коэффициент ее крепости по шкале Протодьяконова

$$f = \frac{\sigma_{сж.э}}{100} \tag{3}$$

и затем — кажущийся угол внутреннего трения, используемые в ряде расчетных методов по определению давления горных пород на крепь

$$\varphi = \operatorname{arctg} f. \tag{4}$$

Рассмотренный метод позволяет определять предел прочности пород только на контуре выработки. Во многих случаях его необходимо уста-

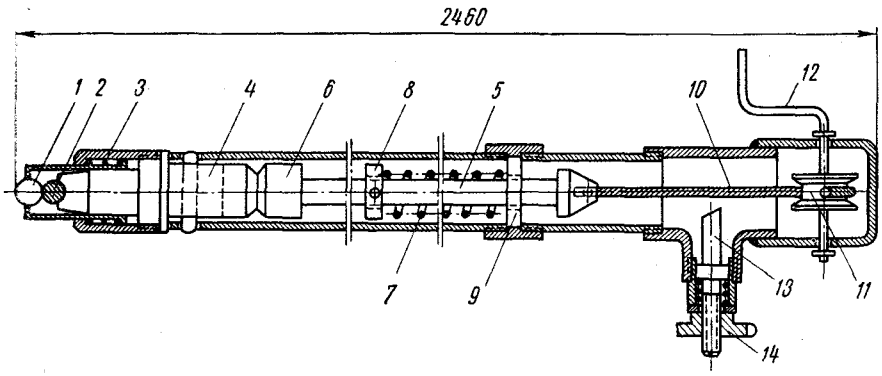


Рис. 4. Эталонный прибор-ударник для испытания прочности в массиве.

навливать на расстоянии от контура выработки. Для этого авторами сконструирован эталонный прибор-ударник ЭПУ, работающий по принципу эталонного молотка, но благодаря специальному пружинному устройству с постоянной силой удара. Это обеспечивает определение прочности породы по диаметру отпечатка только на металлическом эталонном стержне, исключая необходимость замера диаметра отпечатка на породе, и дает возможность определять предел прочности породы в забое скважины длиной до 2 *м*.

Прибор ЭПУ (рис. 4) состоит из трубчатого корпуса с внутренним диаметром 25 *мм* и длиной 2460 *мм*, на одном конце которого закреплен эталонный молоток с шариком *1*, эталонным стержнем *2*, прижимной пружиной *3* и головкой эталонного молотка *4*. Внутри корпуса размещены шток *5* с ударником *6* и пружиной *7*, упирающейся в заплечики *8* и *9* на штоке *5*. Сжатие пружины *7* осуществляется с помощью тросика *10*, навиваемого на барабанчик *11* при вращении ручки *12*. Крайнее положение штока при сжатой пружине фиксируется защелкой *13*.

Освобождение штока *6* для нанесения под действием пружины *7* удара по тыльной части головки эталонного молотка осуществляется вращением гайки *14*. В результате удара на металлическом эталонном стержне *2* и на породе от шарика *1* остается отпечаток. По диаметру отпечатка на стержне и тарировочной кривой (рис. 5) определяют $\sigma_{сж.э}$ бетона, а затем по формулам (1) и (2) — $\sigma_{сж}$ породы.

Разброс показателей предела прочности бетона на сжатие больше при определении эталонным молотком, чем ЭПУ.

Для установления прочности пород на расстоянии от контура выработки на заданную глубину пробуривают скважину диаметром 42—46 *мм*, в которую вводят ЭПУ. Забой скважины предварительно обрабатывают специальной коронкой.

Определяя ЭПУ предел прочности породы в забое скважины по мере ее углубления, можно составить характеристику прочности окружающих выработку пород или установить изменение предела прочности их с течением времени.

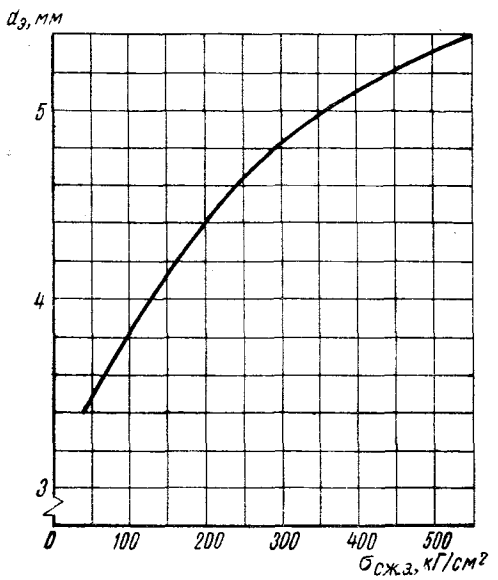


Рис. 5. Тарировочный график определения прочности бетона по диаметру отпечатка на эталонном стержне.

Изменение предела прочности песчаника на различном расстоянии от контура сечения вентиляционного квершлага на пласт $Д_7$ шахты № 14 Чурубай-Нуринской, пройденного

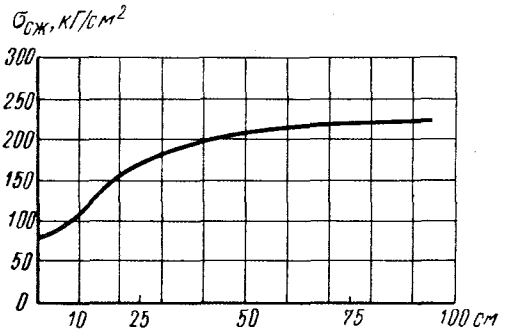


Рис. 6. Изменение прочности песчаника на различном расстоянии от контура квершлага через 32 месяца после проходки.

за 32 месяца до замеров, показано на рис. 6. Элементы крепи на этом участке деформировались. Очевидно, это объясняется ростом нагрузки на крепь вследствие снижения со временем предела прочности песчаника, особенно вблизи контура выработки.

Выводы

1. Предлагаемый метод определения прочности горных пород с применением эталонного молотка и сконструированного авторами эталонного прибора-ударника ЭПУ обеспечивает простое и быстрое определение предела прочности горных пород на сжатие в шахтных и лабораторных условиях с достаточной для практики точностью. Кроме того, прибор ЭПУ позволяет определять прочность пород, расположенных на расстоянии от контура выработки.

2. Конструкция эталонного молотка и ЭПУ, а также методика испытаний пород просты и доступны для широкого круга инженерно-технических работников шахт и исследователей.

3. Предлагаемый метод испытаний пород в шахтных условиях, не исключая более точных лабораторных и шахтных методов, обеспечит накопление обширного материала о прочности горных пород на отдельных участках шахтного поля, районов и месторождений в целом.

4. Простота определения предела прочности горных пород позволяет передать предлагаемый метод на вооружение технического персонала шахт, что обеспечит оперативный контроль изменения прочности пород и соответственное корректирование паспорта крепления с применением наиболее эффективных способов поддержания выработок и типов крепи. Это, в свою очередь, должно явиться значительным резервом снижения стоимости шахтного строительства и поддержания выработок в период эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

Барон Л. И. О показателях прочности горных пород. Изв. АН СССР, ОТН, № 11, 1948.

Кашкарев К. П. Эталонный молоток для определения прочности бетона в изделиях. Строительство и архитектура, № 5, 1960.

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