

УДК 622.023.23:620.179

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД В ШПУРАХ*

В.А. Корнеев, П.А. Корнеев, М.Г. Попугаев, М.М. Гусев, С.А. Бедарев

E-mail: korneev_va@list.ru

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

Аннотация. Рассмотрена технология определения свойств горных пород экспресс-методом. Этот метод основан на вдавливании индентора в стенку шпура. Приведено аналитическое описание контактного взаимодействия индентора и горной породы на основании задачи Г. Герца и теории прочности О. Мора.

Ключевые слова: экспресс-метод, прочность, горные породы, индентор, устройство, контактная задача.

DETERMINATION OF ROCKS STRENGTH PROPERTIES IN BORES

V.A. Korneev, P.A. Korneev, M.G. Popugaev, M.M. Gusev, S.A. Bedarev

E-mail: korneev_va@list.ru

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Abstract. Technology of rocks properties determination by the express method is considered. This method is based on the indenter pressing into the borehole wall. Analytical description of contact interaction of an indenter and rock is given on the basis of G. Hertz problem and O. Mohr theory of strength.

Keywords: express method, strength, rocks, indenter, device, contact problem.

Целью настоящей работы является разработка и описание экспресс-метода определения прочности горных пород в скважинах и шпурах и технического устройства для его реализации.

Определение свойств горных пород экспресс-методами является актуальной задачей при разработке месторождений полезных ископаемых. Особой ценностью обладают сведения о прочностных свойствах горных пород в различных точках массива. Такие данные могут быть использованы при реализации мероприятий в области промышленной безопасности [1 – 3], при выполнении технологических операций по креплению горных выработок и определении параметров буровзрывных работ.

Один из таких экспресс-методов был разработан в Сибирском государственном индустриальном университете (СибГИУ) [4]. Особенно-

стью метода является использование индентора в форме прямого кругового цилиндра. За счет этого становится возможным осуществлять определение свойств горных пород не только на образцах с плоской поверхностью, но и в различных точках массива посредством бурения скважин или шпуров. В этом случае ось индентора направляется параллельно оси шпура.

Определение свойств горных пород разработанным экспресс-методом [4] в шпурах осуществляется в соответствии с рис. 1. При проведении измерений индентор 1 в форме прямого кругового цилиндра диаметром D , равным его длине L , воздействует на горную породу 2 под действием силы F таким образом, что ось индентора XX направлена параллельно оси YY шпура 3. При этом между индентором 1 и горной породой образуется полоса контакта шириной B . Определение силы, необходимой для хрупкого разрушения породы под индентором, характеризует прочностные свойства горной породы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых российских ученых кандидатов наук № МК-6689.2018.8.

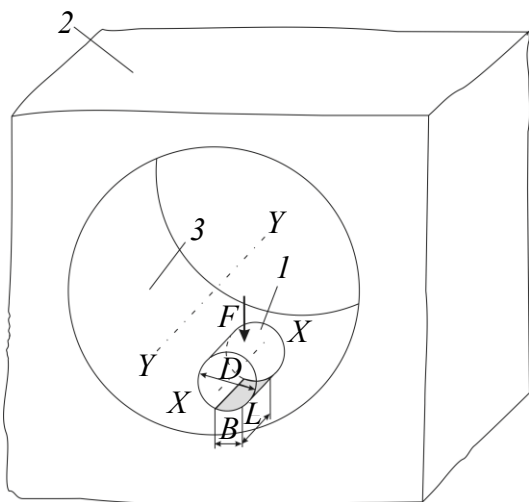


Рис. 1. Экспресс-метод определения прочностных свойств горных пород

Аналитическое описание такого взаимодействия можно осуществить на основании теории Г. Герца. Зависимость между силой F на инденторе в момент разрушения горной породы и ее прочностными свойствами может быть представлена в следующем виде:

$$F = \left(\frac{\sigma_{сж} \sigma_p}{0,78\sigma_{сж} - 0,18\sigma_p} \right)^2 \frac{\eta R_2 R_1 L}{0,3183(R_2 - R_1)},$$

где $\sigma_{сж}$ и σ_p – предел прочности горной породы при сжатии и при растяжении; R_1 и R_2 – радиус индентора и шпура; L – длина индентора;

$\eta = \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}$ – упругая постоянная сопри-

касающихся тел; μ_1 и μ_2 – коэффициент Пуассона материала, из которого изготовлен индентор, и горной породы; E_1 и E_2 – модуль упругости материала, из которого изготовлен индентор, и горной породы.

Проведены вычисления [5]. Зависимость была

получена при рассмотрении взаимодействия горной породы и индентора в упругой постановке контактной задачи. При этом для получения решения использовали теорию прочности О. Мора [6]. На разрушение горной породы будут оказывать влияние следующие параметры: предел прочности горной породы при сжатии и растяжении, модуль упругости, коэффициент Пуассона.

Для практического использования разработанного экспресс-метода определения прочностных свойств горных пород требуется установление корреляционной зависимости, связывающей силу, прикладываемую к индентору с пределом прочности горной породы при одноосном сжатии и растяжении. Исследования в этом направлении осуществляются с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Материаловедение» СибГИУ.

Для проведения исследований может быть использовано специальное устройство «Прочностномер ПСШ-1» [7], позволяющее осуществлять фиксацию диаграммы вдавливания индентора в стенку шпура. Конструкция прибора обеспечивает возможность смены инденторов. С целью реализации разработанного экспресс-метода была осуществлена модернизация прибора «Прочностномер ПСШ-1» (рис. 2). При модернизации измерительной головки 1 прибора на его крышке 2 были изготовлены два отверстия 3 прямоугольной формы. Эти отверстия обеспечивают фиксацию индентора 4 в положении, при котором ось цилиндрической вставки располагается параллельно оси скважины, в которой производится измерение. Этот эффект достигнут за счет изготовления (рис. 3) на корпусе 1 для индентора 2 двух направляющих 3, которые обеспечивают его устойчивое положение. Для возврата индентора 2 в состояние, предшествующее началу измерения, на корпусе 1 индентора 2 размещена пружина 4.

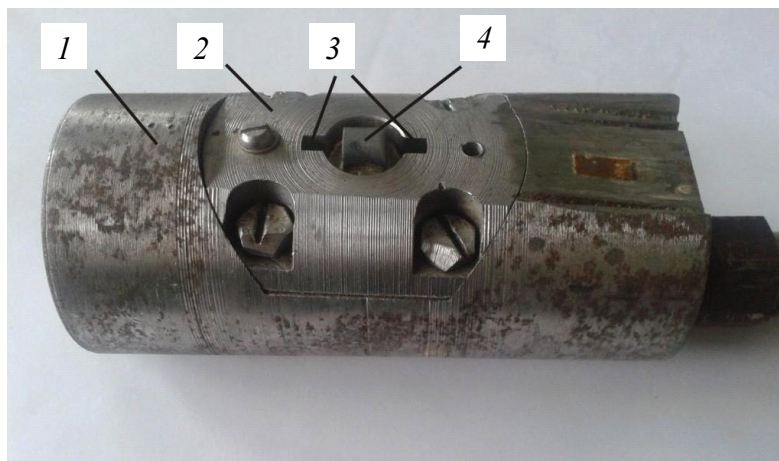


Рис. 2. Фотография измерительной головки устройства «Прочностномер ПСШ-1»

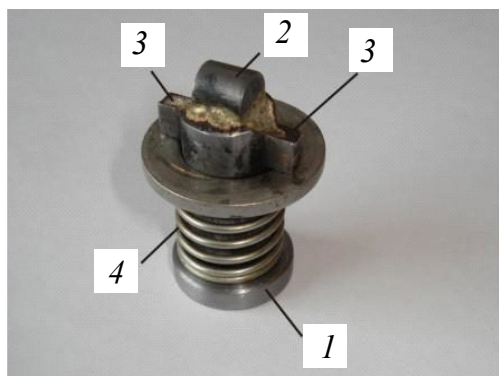


Рис. 3. Корпус для крепления индентора с установленной в него вставкой, разработанный для устройства «Прочностномер ПСШ-1»

При проведении экспериментов может быть использован индентор диам. 8 мм. Длина индентора в соответствии с разработанным экспресс-методом равна его диаметру. Формирование шпура в образцах горных пород и выбуривание керна предполагается осуществлять с помощью специально разработанной буровой установки [8].

Выводы

Использование индентора в форме прямого кругового цилиндра, в соответствии с разработанным экспресс-методом, позволяет осуществлять определение прочностных свойств горных пород в скважинах и шпурах с привлечением аналитического описания, полученного на основании теории прочности О. Мора и Г. Герца. Эта особенность метода обеспечивает возможность пересчета силы на инденторе, необходимой для разрушения горной породы, для инденторов и скважин различных размеров. Модернизирована конструкция устройства «Прочностномер ПСШ-1» для реализации разработанного экспресс-метода. Показан корпус для крепления индентора, обеспечивающий его фиксацию в положении, при котором ось цилиндрической вставки располагается параллельно оси скважины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гарант. Информационно-правовое обеспечение. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах» (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологи-

ческому и атомному надзору от 17 декабря 2013 г. № 610) [Электронный ресурс]. – URL: <http://ivo.garant.ru/#/document/70597944/paragraph/1:2> (дата обращения 01.12.2020).

2. РД 05-328-99 Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам. Утверждена постановлением Госгортехнадзора России от 29 ноября 1999 г. № 87 [Электронный ресурс]. – URL: <http://dokipedia.ru/document/4362894> (дата обращения 01.12.2020).
3. РД 05-350-00 Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, (породы) и газа. Утверждена постановлением Госгортехнадзора России от 04.04.00 № 14 [Электронный ресурс]. – URL: <http://enis.gosnadzor.ru/activity/control/geology/%D0%A0%D0%94%2005%E2%80%9191350%E2%80%919100.pdf> (дата обращения 01.12.2020).
4. Пат. 2731746 РФ. Способ определения сопротивления горных пород механическому разрушению / Корнеев В.А.; заявл. 25.07.2019; опубл. 08.09.2020. Бюл. № 25.
5. Корнеев В.А. Исследование влияния прочностных и деформационных свойств горных пород на процесс их разрушения вдавливанием индентора с цилиндрической контактной поверхностью // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2019. № 5. С. 105 – 107.
6. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. – Л.: Недра, 1989. – 488 с.
7. Корнеев В.А. Устройство для определения прочностных свойств горных пород экспресс-методом // Автоматизация и измерения в машино-приборостроении. 2018. № 4. С. 88 – 94.
8. Корнеев В.А., Корнеев П.А. Мобильная установка для выбуривания керна. – В кн.: Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений. Труды VI междунар. конф. – Екатеринбург, 2019. С. 188 – 190.

© 2020 г. В.А. Корнеев, П.А. Корнеев,
М.Г. Попугаев, М.М. Гусев, С.А. Бедарев
Поступила 2 декабря 2020 г.