

ся, она способна самостоятельно принимать решения в небезопасных условиях труда, а также самостоятельно регистрировать нарушения. Необходимо установить режим самонастройки и самокалибровки, так как не откалиброванная система может инициировать аварию, опасную для персонала.

Литература

1. Туан, Л. В. Использование среды LABVIEW для изучения SAR / Л. В. Туан // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов : VI Всерос. конф. – С. 265–267.
2. Епифанцев, К. В. Модернизация приборов для технического диагностирования машин АДВ в гражданских двигателях / К. В. Епифанцев // Технология. – Т. 1, вып. 2. – С. 1.
3. Федосов, В. П. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW / В. П. Федосов. – М. : DMK Press, 2013. – С. 205.
4. Лупов, С. Ю. LabVIEW в примерах и задачах / С. Ю. Лупов, С. И. Муякшин, В. В. Шарков. – Н. Новгород, 2007. – 200 с.
5. Master SCADA / Проектирование и разработка. «Рустем Энверович Муждабаев». – Режим доступа: <http://kipasu.net/know/program/47-masterscada.html>. – Дата доступа: 19.09.2014.
6. Технологии интеллектуальных систем автоматизации / Проектирование и разработка. «INSAT» – Режим доступа: <http://www.insat.ru/products/?category=214>. – Дата доступа: 19.09.2014.
7. Управление технологическими системами / Проектирование и разработка. «Кирюшин О. В.» – Режим доступа: <http://web.archive.org/web/20020408120945/http://kiryushin.boom.ru/uts/start.htm>. – Дата доступа: 19.09.2014.
8. Krzysztof, J. Cios. Система интеллектуального анализа данных: подход, обнаружение знаний, Спрингер, 2007, ISBN в 978-0-387-33333-5 – страница 123 «4.2 OLAP сервер архитектур».
9. Найджел, П. Происхождение современных продуктов OLAP (англ.) : докл. ОЛАП (20 июля 2002 года) / Первый хорошо продаваемый продукт OLAP, который к 1997 году стал ведущим на рынке OLAP-сервером».
10. Коуд, Эдгар Ф. Предоставление OLAP пользователям-аналитикам: ИТ-мандат / Эдгар Ф. Коуд // Computerworld. – Да. 27, № 30. – ISSN 0010-4841.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ИНДЕНТИРОВАНИЯ

Я. А. Майлат, Р. Е. Гутман

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Закономерности протекания одного из основных технологических процессов горного производства – разрушения массива горных пород, осуществляемого в промышленном масштабе буровзрывным или механическим способами, определяются прочностными и деформационными характеристиками, важными показателями которых являются твердость, модуль Юнга, вязкость разрушения [1].

Показатель твердости представляет собой прочностную характеристику, которая отражает сопротивляемость поверхностных слоев горных пород местному воздействию. Различают агрегатную (интегральную) твердость горных пород и твердость отдельных минералов, слагающих горную породу. Агрегатная твердость горной породы больше влияет на скорость бурения, а твердость отдельных минералов определяет износ разрушающего инструмента, т. е. абразивность породы. Для определения агрегатной твердости разработаны методы, заключающиеся во вдавливании штампа различной конфигурации в поверхность материала. Вдавливание штампа в полированную поверхность образца как метод определения агрегатной твердости горных пород впервые предложил Л. А. Шрейнер [2].

С появлением нового класса оборудования простейший прием измерения твердости как отношение силы вдавливания индентора в материал к площади его отпечатка превратился в метод, позволяющий изучать деформационные и прочностные характеристики поверхностных микро- и нанообластей различных материалов [3]. На рис. 1 представлена диаграмма индентирования в осях «нагрузка – перемещение» при испытаниях материалов применением инденторов переменного сечения. Подобная диаграмма подробно описана во многих работах, первые из которых посвящены наноиндентированию металлических материалов [4].

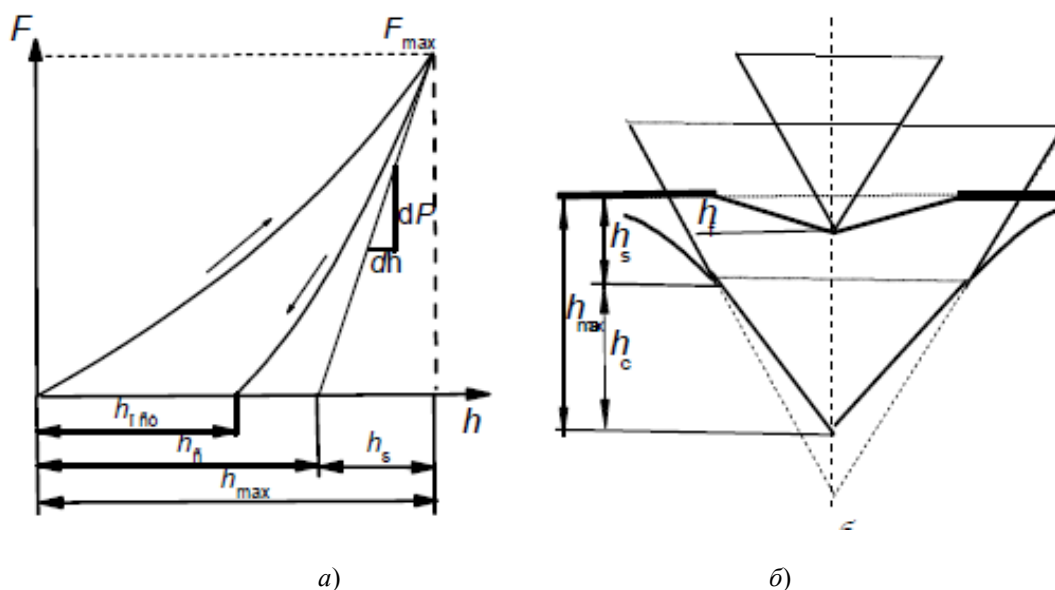


Рис. 1. Схемы диаграмм автоматического индентирования (а) и взаимодействия индентора с материалом (б):

h_r – глубина остаточного отпечатка после снятия нагрузки; h_f – глубина упругого возврата; h_p – глубина пластического отпечатка при максимальной нагрузке, приложенной к индентору P_{\max} ; h_y – упругий прогиб поверхности образца

За начало отсчета принимается точка, в которой начинается контакт индентора и испытуемой поверхности. При нагружении материала формируется отпечаток, который характеризует полную контактную деформацию [5]. Часть материала, прилегающая к поверхности отпечатка, на некоторой глубине испытывает упрочнение или деструкцию как результат возникшей в ней упругой деформации. Под действием прикладываемой силы внедрение индентора происходит до тех пор, пока сила противодействия со стороны материала не станет равной приложенной силе. В свою очередь, это произойдет тогда, когда по мере погружения индентора в условиях сохранения подобия отпечатка величина произведения возникшего постоянно действующего напряжения в материале на возрастающую площадь контакта индентора с материалом не достигнет значения приложенной силы.

При извлечении индентора в материале уменьшается упругая деформация, т. е. происходит частичная релаксация материала и размеры отпечатка уменьшаются. В результате остается отпечаток, размеры которого характеризуют остаточную деформацию материала. Таким образом, при индентировании характеристики упругости материала определяют величину его остаточной деформации после прекращения действия силы. Указанные закономерности механики материалов на сегодняшний

день широко изучены по отношению к металлам. Механика индентирования керамики, к которой можно отнести горные породы, по своей сущности, по видимому, будет иметь характерные отличия, о которых можно судить по результатам соответствующих экспериментов.

Тестовые испытания проводились по описанной выше методике с оригинальным расчетом нагрузки, ответственной за пластическую деформацию горной породы. Нагружение осуществляли на стенде «Instron 5000». Испытывали керн скважины № 31 Северо-Домановичского месторождения, свойства которого ранее не исследовались. В процессе испытаний производилось ступенчатое нагружение-разгрузка индентора, увеличивая при этом максимальную величину нагрузки через равный интервал, до достижения предельной допустимой нагрузки для данного индентора (3000 Н). В качестве индентора использовали пирамиду Виккерса, изготовленную из твердого сплава ВК6. Обработка результатов испытаний позволила построить кривую зависимости изменения величины контактного напряжения, вызывающего пластическую деформацию породы, от изменения максимального значения нагрузки $\sigma(F)$ в каждом цикле испытаний (рис. 2).

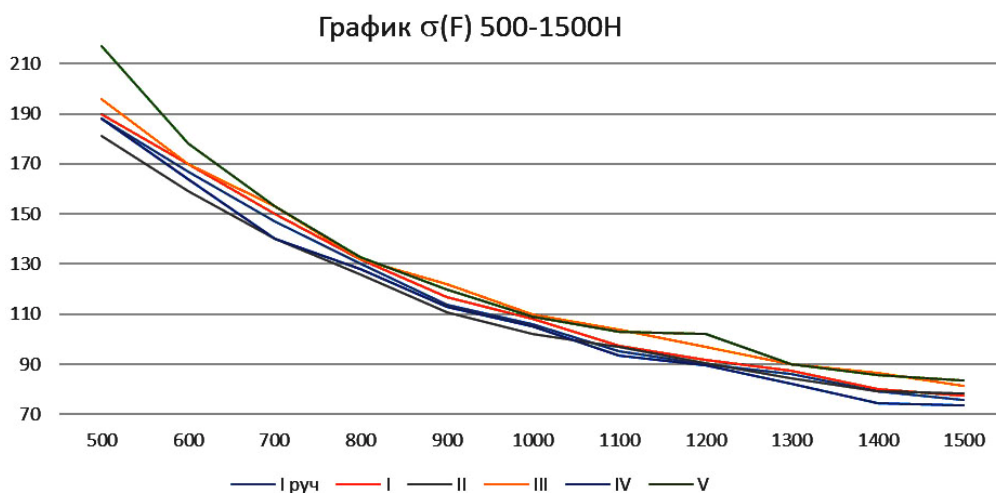


Рис. 2. График зависимости предела прочности от нагрузки, прилагаемой на индентор для пяти испытаний керна с интервалом 100 Н

Из рис. 2 видно, что кривая зависимости предела прочности от нагрузки имеет ниспадающий характер, принимая вид гиперболы. Значение предела прочности будет снижаться до тех пор, пока не будет бесконечно приближено к определенному значению при условно бесконечной нагрузке – асимптоте полученной гиперболы. Это значение является тем напряжением, которое в очаге деформации материала под индентором вызывает полную деструкцию породы, из-за чего происходит разрушение цементных связей между отдельными частицами породы, смыкаются поры, и в очаге деформации, близком по форме к сфере, происходит потеря всех исходных характеристик испытуемого материала. По сути, между более глубокими слоями материала и индентором возникает небольшой объем горной породы, который претерпел разрушение в условиях действия трехосного (всестороннего), неравномерного сжатия. В результате испытания появляется возможность по установившемуся минимальному значению рассчитываемого напряжения определить предел прочности горной породы в условиях всестороннего сжатия. Для описанных условий испыта-

ний выявлено существенное влияние дискретности нагружения образца на итоговое значение получаемой характеристики предела прочности материала, что видно из сравнения графиков, приведенных на рис. 2 и 3.

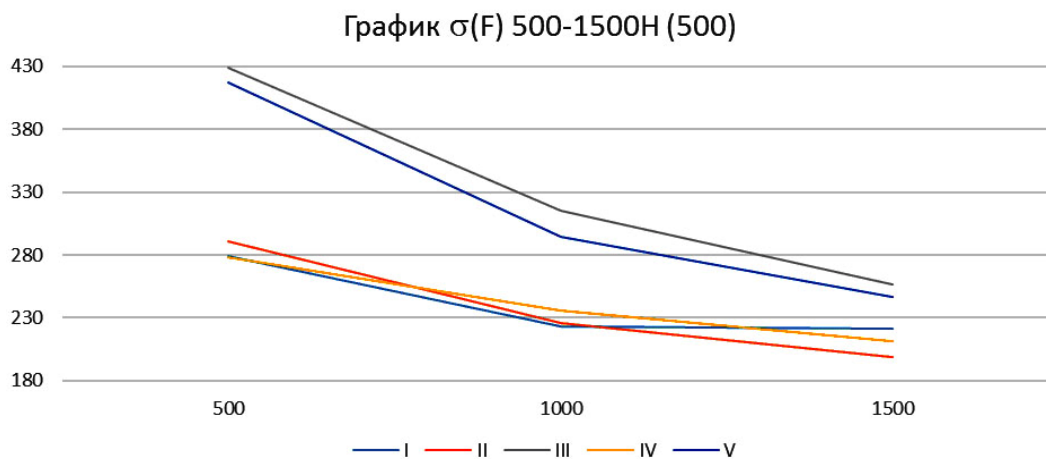


Рис. 3. График зависимости предела прочности от нагрузки, прилагаемой на индентор для пяти испытаний керн с интервалом 500 Н

Очевидно, при проведении таких испытаний значительную роль начинает играть масштабный фактор, влияние которого предстоит исследовать при дальнейших экспериментах.

Процесс ручной обработки результатов одного испытания занимает не менее 1 ч времени, в результате чего время обработки одного керн составляет не менее 10 ч, что делает невозможным факт быстрой обработки данных сразу после проведения эксперимента. Для решения задачи автоматизации процесса обработки был написан программный VBA-модуль, который проводит обработку и выводит необходимые данные внутри файла Excel. В результате этого было сокращено время обработки одного исследования до 15–30 мин, что делает возможным процесс непрерывной обработки данных непосредственно при проведении экспериментов.

Литература

1. Оценка прочностных и деформационных характеристик минеральных компонентов горных пород методом микро- и наноиндентирования / С. Д. Викторов [и др.] // НОЦ «Нанотехнологии и наноматериалы». – 2014. – № 4. – С. 47–55.
2. Шрейнер, Л. А. Методы оценки твердости и абразивности горных пород / Л. А. Шрейнер. – М. : Гостоптехиздат, 1959. – 189 с.
3. Головин, Ю. И. Наноиндентирование и его возможности / Ю. И. Головин. – М. : Машиностроение, 2009. – 312 с.
4. Oliver, W. C. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments / W. C. Oliver, G. P. Pharr // J. Mater. Res., 1992. – Vol. 7, № 6. – P. 1564–1575.
5. Григорович, В. К. Твердость и микротвердость металлов / В. К. Григорович. – М. : Наука, 1976. – 230 с.