

УДК 620.17:622.023

Е.В. Пугачев, В.А. Корнеев

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Метод вдавливания индентора в торец или стенки скважины является одним из перспективных инструментов натурального определения прочностных и деформационных свойств горных пород. Суть метода заключается в построении диаграммы напряжение-деформация при внедрении индентора, на основании которой осуществляется интерпретация свойств массива горных пород.

В отечественной и зарубежной практике разработано множество технических средств, реализующих данный метод исследований, однако механизм математической интерпретации результатов натуральных измерений методом вдавливания индентора, соответствующий потребностям горной практики, в настоящее время не доведен до практического применения. При этом выявленные эмпирическим путем корреляционные зависимости между контактной прочностью горной породы и другими ее физико-механическими параметрами, а также применяемые приборы определения контактной прочности, не всегда по уровню надежности соответствуют требованиям по проведению работ при прогнозировании геомеханической обстановки в горных выработках.

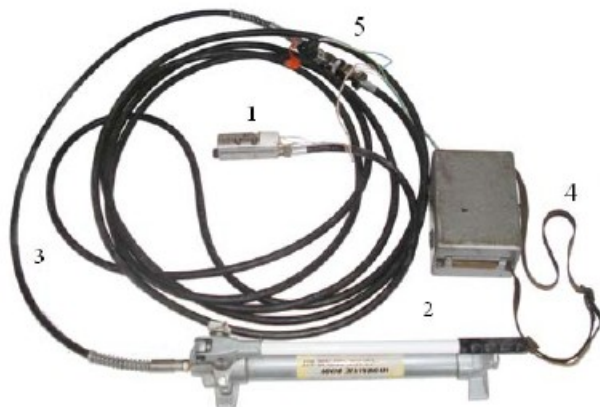


Рис.1. Прочностномер ПСШ-1

В связи с данными обстоятельствами авторами настоящей статьи был разработан прибор для определения прочностных и деформационных свойств горных пород «Прочностномер ПСШ-1» (рис. 1), основными особенностями которого являются:

- испытание высоко крепких горных пород посредством оригинальной конструкции силового гидроцилиндра прибора [1];

- интерпретация свойств массива горных пород с использованием разработанной авторами математической модели напряженно-

деформированного состояния горных пород в скважинах под действием индентора [2];

- запись измеряемых параметров на съемные носители информации для последующей обработки вне зоны проведения исследований.

Конструктивно прочностномер ПСШ-1 состоит из гидроцилиндра 1, насоса 2, рукава высокого давления 3, измерительного блока 4 и датчика давления 5 (рис. 1). Шток поршня гидроцилиндра оснащен индентором, взаимодействующим с горной породой при работе прибора.

Измерительный блок прибора включает в себя модуль сбора данных, нормализатор сигнала тензометрического датчика и блок питания, конструктивно размещенные в одном корпусе. Модуль сбора данных осуществляет регистрацию и обработку сигналов, а также хранение результатов измерения с датчика давления 5 и тензометрического датчика, взаимодействующего с индентором прочностномера.

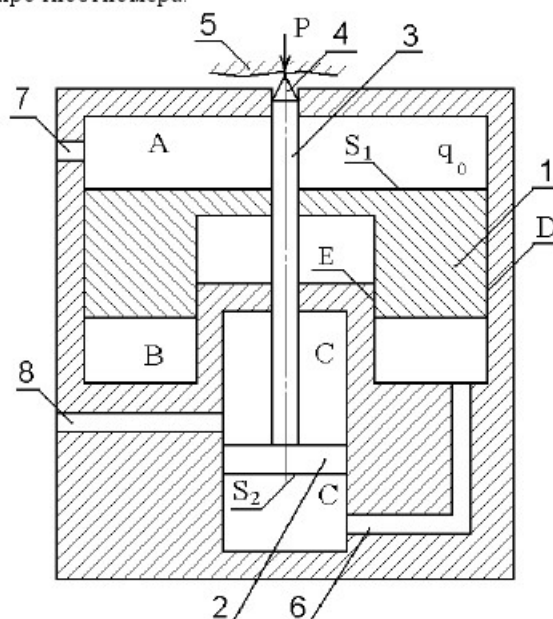


Рис.2. Конструкция гидравлического цилиндра прочностномера ПСШ-1

Гидравлический цилиндр прибора [1] (рис. 2) представляет собой конструкцию с тремя концентрическими полостями: входной А, кольцевой В и напорной С. Бесштоковый поршень 1 своими цилиндрическими поверхностями D и E взаимодействует с поверхностью входной А и кольцевой В полостей соответственно. В напорной полости С помещен нагрузочный поршень 2 со штоком 3,

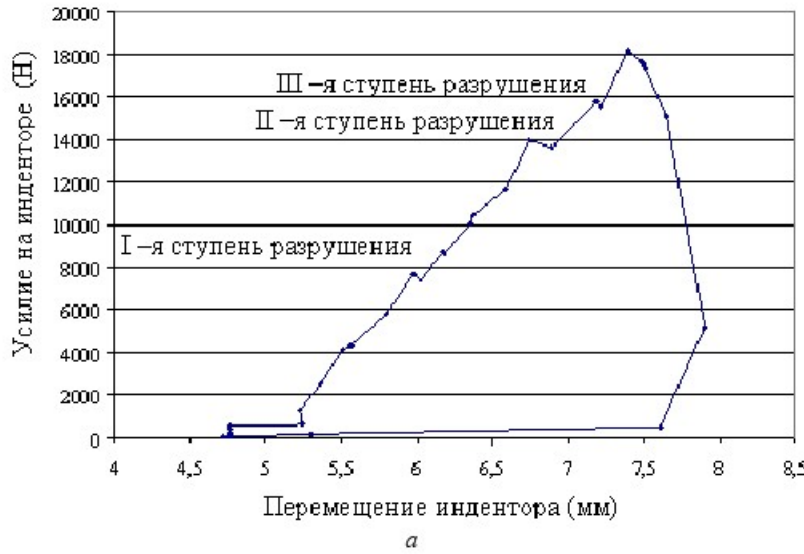


Рис.3. Натурные испытания прочностномера ПСШ-1: а) диаграмма вдавливания индентора в стенку скважины в бетонном блоке; б) опалубка для изготовления блока

который оснащен индентором 4, взаимодействующим с горной породой 5. Кольцевая полость В имеет гидравлическую связь с напорной полостью С через канал 6. Каналы 7 и 8 предназначены для подвода рабочей жидкости во входную полость А гидроцилиндра и в штоковое пространство напорной полости С.

Принцип усиления, лежащий в основе предлагаемой конструкции, выражается зависимостью:

$$P = \frac{q_0 \cdot S_1}{S_1 - S_2} \cdot S_2,$$

где  $P$  - усилие на инденторе;  $q_0$  - давление в жидкости в полости А;  $S_1$ ,  $S_2$  - площадь сечения бесштокового поршня 1 и нагрузочного поршня 2 соответственно.

Интерпретация свойств массива при проведении исследований осуществляется посредством математической модели напряженно-деформированного состояния горных пород в скважинах под действием индентора, реализованной на ЭВМ в виде пакета программ «Индентирование» v 1.0, зарегистрированного в Государственном Реестре программ для ЭВМ [2].

Одной из особенностей данного программного

продукта является использование разработанного авторами алгоритма параллельного решения системы линейных уравнений методом исключения Гаусса для сильно разреженных матриц, имеющих ленточное строение [3], что в значительной степени сокращает время вычислений на ЭВМ.

Алгоритм обработки данных с прочностномера ПСШ-1 позволяет получить график напряжение-деформация при вдавливании индентора, величину контактной прочности горной породы, а также определить модуль упругости и предел прочности при сжатии посредством обратного расчета.

На рис. 3-а приведена диаграмма вдавливания индентора в стенку скважины, полученная с карты памяти прочностномера ПСШ-1 при проведении исследований бетонного блока, залитого в специальной опалубке (рис. 3-б). Анализ диаграммы показывает ступенчатый характер разрушения материала, что впоследствии было подтверждено исследованием образовавшихся лунок на разных этапах разрушения с использованием микроскопа МБС-2 при 25-кратном увеличении (рис. 4).

Сравнительное сопоставление свойств бетона, определенных посредством прочностномера ПСШ-1 с результатами испытаний его контроль-

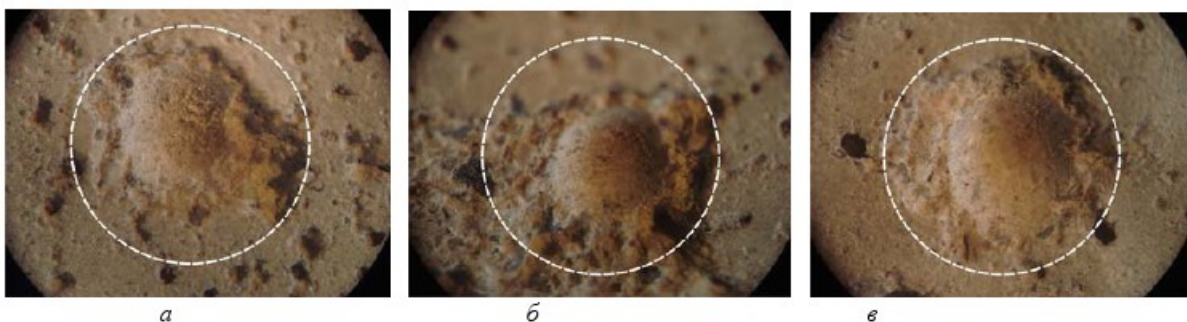


Рис.4. Фотографии лунок при разрушении бетона на различных этапах с указанием зоны разрушения: а) первый этап разрушения; б) второй этап разрушения; в) третий этап разрушения

ных образцов показало хорошую сходимость, что свидетельствует о перспективности использования предлагаемого устройства и программного обеспечения для комплексного исследования массивов

горных пород на предмет определения прочностных и деформационных свойств при изучении и прогнозировании геомеханических явлений в горных выработках.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 2433266 РФ, МПК E21C39/00, G01N3/40. Погружной измеритель крепости горных пород / Л. Т. Дворников, В. А. Корнеев. – № 2010110978/03 ; заявл. 22.03.2010 ; опубл. 10.11.2011. – 5 с.: ил.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012612864 РФ. «Идентификация» v 1.0 / В. А. Корнеев. – № 2012610794 ; заявл. 08.02.2012 ; опубл. 22.03.2012. – 1 с.
3. Корнеев В. А. Реализация высокопроизводительных методов вычислений в задачах геомеханики / В. А. Корнеев // ГИАБ. – 2012. – № 2. – С. 383 – 385.

□ Авторы статьи

Пугачев  
Емельян Васильевич,  
докт. техн. наук, проф., зав. каф.  
«Электромеханики» (Сибирский  
государственный индустриаль-  
ный университет),  
тел.: (3843) 74-86-37

Корнеев  
Виктор Александрович,  
ст. преподаватель, аспирант  
каф. электромеханики Сибирский  
государственный индустриальный  
университет),  
e-mail: com@rdtc.ru

УДК 622.281:004.451(571)

А. И. Копытов, Г. К. Ключин, С. С. Морозов, Т. Е. Трипус

### ПРИКЛАДНАЯ ПРОГРАММА «ЕВРАЗРУДАКРЕПЬ» РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНОГО МАССИВА И ВЫБОР НАИБОЛЕЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ КРЕПИ НА ЖЕЛЕЗНОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ОАО «ЕВРАЗРУДА»

Сотрудниками и студентами кафедры строительства подземных сооружений и шахт КузГТУ разработана прикладная программа (ПП) «ЕвразрудаКрепль» по расчету устойчивости горного массива и выбору наиболее целесообразной крепи на железнорудных месторождениях ОАО «Евразруда».

Прикладная программа позволяет оперативно решать вопросы выбора вида рудничной крепи в изменяющихся горно-геологических и геодинамических условиях на трассе проходки выработки.

В основу ПП «ЕвразрудаКрепль» положены результаты анализа многолетних исследований, выполненных институтами ВНИМИ, ВостНИГРИ, ИГД СО РАН, КузГТУ; изучения их рекомендаций методических указаний, опыта использования различных видов крепи на рудниках ОАО «Евразруда» и других железнорудных предприятиях, в том числе зарубежных.

В основу определения устойчивости породы и руды положена методика ИГД СО РАН, как методика, учитывающая напряженное состояние горного массива в зависимости от месторождения ОАО «Евразруда».

Это очень важный фактор, так как снижение устойчивости выработок связано с высоким уровнем действующих напряжений на обрабатываемых

глубоких горизонтах, увеличивающимся опорным давлением, повышенной удароопасностью массива, что в конечном итоге ведет к увеличению затрат на их поддержание.

В основу расчета параметров напряженного состояния положены ширина и высота проектируемой горной выработки, название месторождения, которое несет свои специфические параметрические характеристики горизонтальной максимальной, минимальной и вертикальной составляющих напряжений.

Кроме составляющих напряженного состояния массива, в расчете категории устойчивости пород и руды задействованы объемный вес породы, руды, среднее расстояние между трещинами, крепость пород по шкале проф. М. М. Протодяконова.

Методическому анализу подвергаются также категория устойчивости пород, руды, категория удароопасности горного массива (неудароопасный, склонный к горным ударам, опасный по горным ударам), местоположение проектируемой выработки относительно очистных работ (в зоне очистных работ, вне зоны очистных работ), площадь поперечного сечения горной выработки, глубина заложения.

В результате получаем тип и основные пара-