

Е.В. Пугачёв, В.А. Корнеев, П.А. Корнеев

Сибирский государственный индустриальный университет

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД В ОКРЕСТНОСТЯХ СКВАЖИНЫ, ПРОБУРЕННОЙ ИЗ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

Обеспечение безопасных условий труда при проведении подземной разработки месторождений полезных ископаемых – одна из ключевых задач, решаемых отечественной горнодобывающей промышленностью. Особую актуальность приобретает эта задача для Кузбасса – основного угольного региона страны.

Практика ведения горных работ в Кемеровской области, обеспечение роста добычи из очистных забоев и скорости проведения подготовительных выработок свидетельствуют о том, что повышение надежности определения физико-механических свойств вмещающих пород является одним из основных условий безопасного и высокопроизводительного труда.

Существующая в настоящее время отечественная приборная база геофизических исследований морально и физически устарела, а использование ее зарубежных аналогов препятствует инновационному развитию региона, а также приводит к зависимости горнодобывающих предприятий Кузбасса от мировой экономической и политической конъюнктуры.

Одним из перспективных направлений, обеспечивающих безопасные условия труда на

шахтах Кузбасса, является использование разработанной и предложенной коллективом кафедры электромеханики СибГИУ методики оценки прочности горных пород в окрестностях скважины, пробуренной из горной выработки.

Разработанная методика, устройство для ее реализации и программное обеспечение позволяют посредством авторской математической модели напряженно-деформированного состояния горных пород определять свойства массива по результатам интерпретации диаграммы вдавливания индентора в стенку пробуренной в нем скважины.

Вдавливание индентора в стенку скважины при проведении исследований массива горных пород осуществляется устройством «Прочностномер ПСШ-1», которое конструктивно состоит из гидроцилиндра 1, насоса 2, рукава высокого давления 3, системы сбора данных 4, датчика давления 5 и тензометрического датчика, взаимодействующего с индентором прочностномера (рис. 1).

При проведении измерений устройство осуществляет запись диаграммы вдавливания

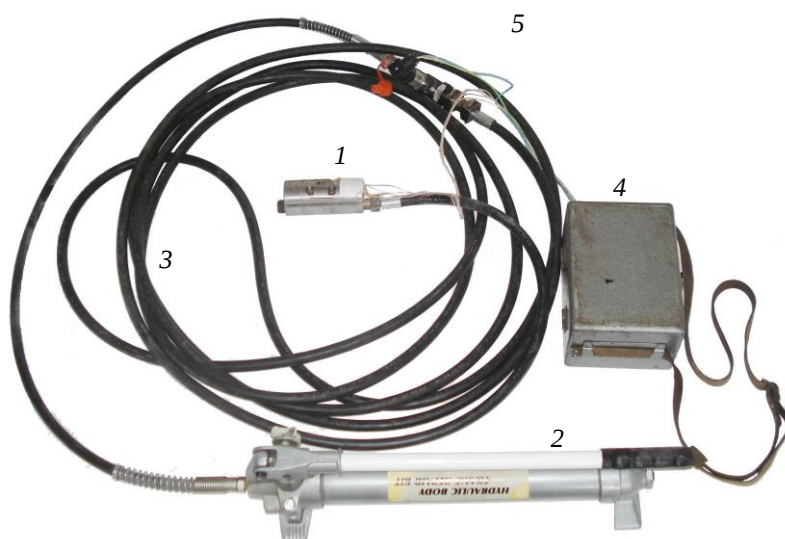


Рис. 1. Устройство «Прочностномер ПСШ-1»

индентора (рис. 2) на карту памяти, расположенную в системе сбора данных.

Интерпретация свойств массива горных пород по диаграмме вдавливания начинается с выделения этапов разрушения горной породы, отмеченных областями с резким падением давления в гидравлической системе прибора, а также определения усилий на инденторе и глубины его вдавливания на каждом этапе разрушения. Далее посредством разработанного пакета программ «Индентирование» v 1.0 [1] осуществляется математическое моделирование процесса вдавливания индентора в стенку скважины с расчетом предела прочности при одноосном сжатии и модуля упругости разрушаемой горной породы.

Тестирование устройства «Прочностномер ПСШ-1» и пакета программ «Индентирование» v 1.0 осуществлялось посредством проведения натурного эксперимента по вдавливанию индентора в стенку скважины в блоке, изготовленном из мелкозернистого бетона с заранее известными прочностными и деформационными свойствами. Для изготовления бетонного блока использовалась специальная опалубка (рис. 3). На рис. 3 цифрами обозначены: 1 – бетонный блок; 2 – распалубленная опалубка; 3 – трубный элемент, имитирующий скважину; 4 – специальное приспособление для извлечения из блока трубного элемента.

По завершению тестирования устройства «Прочностномер ПСШ-1» и пакета программ «Индентирование» v 1.0 проведена апробация разработанной методики в лабораторных условиях на образце мрамора с линейными размерами $500 \times 150 \times 200$ мм, которая показала хорошие результаты.

Особенностью предложенной методики и устройства для ее реализации является возможность проведения исследований в широ-

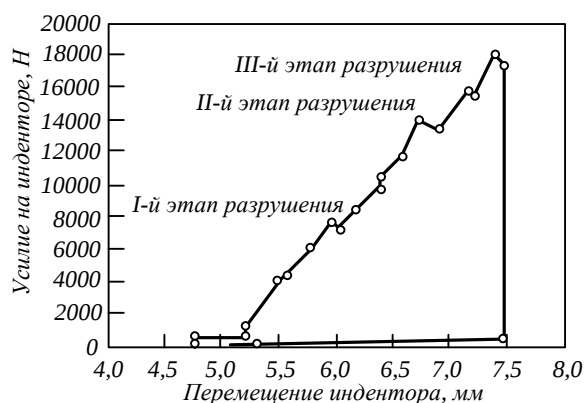


Рис. 2. Диаграмма вдавливания индентора в стенку скважины, полученная с карты памяти прочностномера ПСШ-1



Рис. 3. Блок с имитацией скважины

ком диапазоне горных пород по крепости, включая особо крепкие горные породы, за счет применения оригинальной запатентованной авторской конструкции гидроцилиндра [2]. Гидроцилиндр устройства (рис. 4) представляет собой конструкцию с тремя концентрическими полостями: входной A , кольцевой B и напорной C . Бесштоковый поршень 1 своими цилиндрическими поверхностями D и E взаимодействует с поверхностью входной A и кольцевой B полостей соответственно. В напорной полости C помещен нагрузочный поршень 2 со штоком 3, который оснащен индентором 4, взаимодействующим с горной породой 5. Кольцевая полость B имеет гидравлическую связь с напорной полостью C через канал 6. Каналы 7 и 8 предназначены для подвода рабочей жидкости во входную полость A гидроцилиндра и в штоковое пространство напорной полости C .

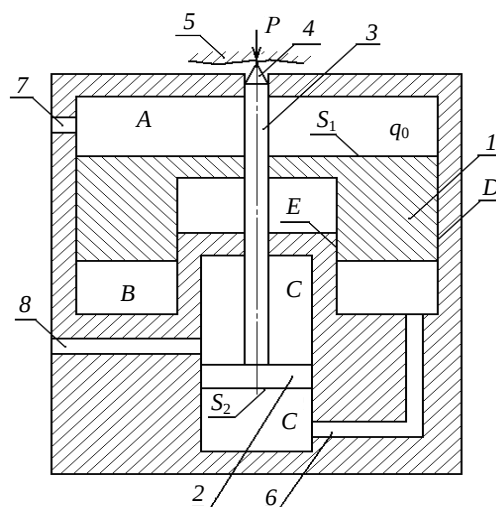


Рис. 4. Гидроцилиндр устройства «Прочностномер ПСШ-1»

Гидравлический цилиндр прибора позволяет достигать усиления нагрузки, с которой осуществляется воздействие индентора на горную породу, по сравнению с давлением подводимой жидкости в соответствии со следующей зависимостью:

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

где P – усилие на инденторе; q_0 – давление подводимой жидкости; S_1 и S_2 – площадь сечения бесштокового и нагрузочного поршней в гидравлическом цилиндре.

Из приведенного соотношения видно, что при стремлении площади S_2 к площади S_1 усилие P теоретически может достигать бесконечных величин, что позволяет изменением площади S_2 достигнуть на инденторе усилий, гарантированно достаточных для внедрения индентора во все практически возможные для исследования особо крепкие горные породы. Спроектированная конструкция гидравлического цилиндра также может найти применение в различных системах гидравлического привода в условиях ограниченного рабочего пространства.

Разработанный пакет программ для ЭВМ «Индентирование» v 1.0, позволяющий осуществлять математическое моделирование процесса вдавливания индентора в стенку скважины, использует для расчета напряженно-деформированного состояния горных пород метод конечных элементов. Решение различных задач этим методом с достаточно высокой степенью точности требует выполнения значительного количества вычислений, наиболее ресурсоемкими из которых является решение системы линейных уравнений. В связи с этим для сокращения времени расчетов при моделировании был разработан алгоритм параллельного решения системы линейных уравнений методом исключения Гаусса применительно к сильно разреженным матрицам, имеющим ленточное строение [3].

Наличие в теле алгоритма циклов с независимыми итерациями позволяет осуществлять разбиение решаемой задачи на отдельные процессы и их выполнение в произвольном порядке различными процессорами используемой ЭВМ. При этом ленточное строение и сильная разреженность матрицы способствуют оптимизации вычислительных процессов посредством работы программы исключительно с ненулевыми элементами матрицы.

Сравнительный анализ эффективности использования предложенного алгоритма по сравнению с известными последовательными про-

граммными решениями (Л. Сегерлинд, А.Б. Фадеев [4, 5 и др.]) приведен на рис. 5, из которого видно, что использование разработанного алгоритма сокращает время расчета в среднем на 37 %. Данный алгоритм может быть успешно использован в различных программных продуктах, реализующих метод конечных элементов для расчета физических параметров изучаемого объекта.

Основываясь на взаимодействии с организациями по экспертизе промышленной безопасности в горной промышленности, научно-производственными компаниями, шахтами и разрезами, коллективу кафедры электромеханики удалось создать перспективный комплекс для оперативного контроля, прогнозирования и управления геомеханической обстановкой в горной выработке, способствующий повышению качества проектной документации, проведению профилактических мероприятий по предупреждению аварийных ситуаций в угольных шахтах.

Разработанная методика оценки прочности горных пород в окрестностях скважины, пробуренной из горной выработки, устройство для ее реализации и прилагаемое программное обеспечение рекомендованы к внедрению на угольных шахтах и карьерах ООО «ВостНИГРИ», ОАО «СибНИИУглеобогащение», ЗАО «Уралгормаш», а также получили положительные отзывы на семинаре компании Thyssen Krupp Fördertechnik (Германия) в Сибирском государственном индустриальном университете (рис. 6).

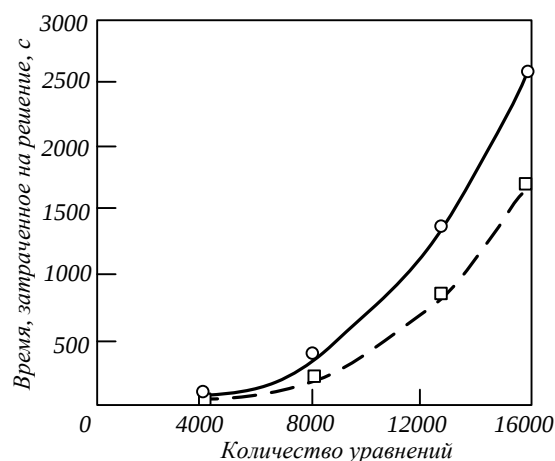


Рис. 5. Сравнительный анализ эффективности авторского алгоритма реализации расчетов на ЭВМ:

— — — — — известные последовательные алгоритмы;
 - - - - - авторский алгоритм



Рис. 6. Встреча представителей концерна Thyssen Krupp Fördertechnik с коллективом кафедры электромеханики СибГИУ

Выводы. Создан комплекс для оперативно-го контроля, прогнозирования и управления геомеханической обстановкой в горной выработке, способствующий повышению качества проектной документации, проведению профилактических мероприятий по предупреждению аварийных ситуаций в угольных шахтах. Коллективом кафедры электромеханики осуществляются работы по промышленной апробации разработанной методики, устройства

«Прочностномер ПСИ-1» и пакета программ «Индентирование» v 1.0 с их дальнейшей сертификацией и внедрением в производство.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2012612864 РФ. «Индентирование» v 1.0 / Корнеев В.А. № 2012610794; заявл. 08.02.2012; опубл. 22.03.2012.
2. Пат. 2433266 РФ, МПК E21C39/00, G01N3/40. Погружной измеритель крепости горных пород / Дворников Л.Т., Корнеев В.А.; заявл. 22.03.2010; опубл. 10.11.2011.
3. К о р н е е в В.А. Реализация высокопроизводительных методов вычислений в задачах геомеханики // ГИАБ. 2012. № 2. С. 383 – 385.
4. Ф а д е е в А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
5. С е г е р л и н д Л. Применение метода конечных элементов / Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 248 с.

© 2015 г. Е.В. Пугачёв, В.А. Корнеев,
П.А. Корнеев
Поступила 15 апреля 2015 г.

УДК 621.51:621.313

Е.В. Пугачёв, М.В. Кипервассер, А.В. Герасимук

Сибирский государственный индустриальный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ЦЕПИ ТОКА ПРИВОДНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ АВАРИИ ТУРБОКОМПРЕССОРА

Турбокомпрессоры нашли широкое применение в химической, металлургической, горнодобывающей отраслях промышленности. Турбокомпрессоры – это центробежные компрессорные машины, используемые преимущественно при подаче больших объемов газа под давлением 0,15 – 1,00 МПа. Сжатие происходит за счет выброса газа рабочими колесами в радиальном направлении под действием центробежной силы. Для большей эффективности турбокомпрессоры делают многоступенчатыми: на общий вал насаживается

несколько рабочих колес, отделенных друг от друга диффузорами (рис. 1). Ступени расположены последовательно, давление сжимаемого газа возрастает от первой до последней ступени. Между некоторыми ступенями в теплообменниках происходит промежуточное охлаждение сжатого газа [1].

Турбокомпрессоры – ответственные и энергонапряженные агрегаты, подвержены воздействию значительных механических нагрузок. Мощность приводных синхронных двигателей может достигать 12,5 МВт и выше, частота вра-