

УДК 620.1.051

© А.Е. Майоров, И.Л. Абрамов, Е.И. Нурғалиев, 2017

А.Е. МАЙОРОВ

д.т.н., проф. РАН, заместитель директора
по направлению добычи и обогащения угля
ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
профессор кафедры
КузГГУ им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово



И.Л. АБРАМОВ

к.т.н., доцент, старший научный сотрудник
ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
e-mail: ilabramov@rambler.ru



Е.И. НУРГАЛИЕВ

аспирант ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
генеральный директор ГК «УГМ», г. Кемерово



ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА, РЕКОНСТРУКЦИИ И БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Представлен стендовый комплекс на базе сервогидравлической системы RDS-500 Центра испытаний горно-шахтного оборудования и инновационных технологий Института угля СО РАН. Описаны направления исследований физико-механических характеристик горных пород и специализированных материалов для технологий строительства, реконструкции и безопасной эксплуатации угольных шахт.

Ключевые слова: СТЕНД, СЕРВОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ГОРНЫЕ ПОРОДЫ, МАТЕРИАЛЫ

В рамках выполнения Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы «Комплексное освоение и сохранение недр Земли, инновационные процессы разработки месторождений полезных ископаемых и глубокой переработки минерального сырья» по направлению «Фундаментальные основы

и инновационные технологии разработки и комплексного освоения угольных месторождений» Институт угля СО РАН (в настоящее время структурное подразделение ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово) проводится планомерное оснащение Центра испытаний горно-шахтного оборудования и инновационных технологий стендовым оборудованием.

Приобретение современного оборудования расширяет возможности экспериментальных исследований геомеханических свойств углей и пород, характеризующих опасность горных выработок угольных шахт по техногенным геодинамическим явлениям, дает возможность повысить качество исследования свойств образцов горных пород и материалов, характер их разрушения под нагрузкой; повысить качество измерений таких характеристик, как пределы прочности и модули упругости при растяжении, сжатии, углы внутреннего трения, виды трещиноватости, закономерности изменения порового давления в испытываемых образцах при изменении их напряженно-деформированного состояния.

Области и направления применения разрабатываемого стендового комплекса в горном деле и строительстве:

- геологические изыскания;
- подготовка исходных данных для геомеханического и геодинамического обоснования при проектировании, строительстве, реконструкции, восстановлении и эксплуатации подземных и заглубленных сооружений, в том числе шахт и рудников;
- исследование ресурсосберегающих систем крепления горных выработок;
- оценка технического состояния и обоснование выбора строительных материалов несущих конструкций подземных и заглубленных сооружений;
- обоснование выбора инъекционных составов для гидроразрыва, упрочнения и тампонажа горных пород.

Назначение стендового комплекса (примеры):

- исследования геомеханических свойств углей и пород, характеризующих опасность горных выработок угольных шахт по техногенным геодинамическим явлениям;
- исследования свойств горных пород и углей для более точного разграничения опасных и неопасных по геодинамическим явлениям зон;
- испытания различных композитных материалов, в том числе подготавливаемых для использования на различных стендах; испы-

тания буровых станков, ориентированного гидроразрыва пород и др.;

- отработка параметров направленного гидроразрыва пород и угольных пластов с целью его применения для управления горным давлением в очистных забоях, предупреждения проявлений опасности по геодинамическим явлениям и повышения эффективности дегазации угольных пластов;

- определение характеристик горных пород и слагающих угольные пласты углей с целью оценки устойчивости кровли пласта и характера поведения его почвы, применения эффективных и безопасных технологий ведения горных работ в различных, в том числе осложненных, горно-геологических условиях.

В настоящее время стендовый комплекс реализуется в три этапа.

1) Приобретена сервогидравлическая система RDS-500 производства компании Geotechnical Consulting & Testing Systems (GCTS), США. RDS-500 представляет собой напольную электрогидравлическую (сервогидравлическую) систему (рисунок 1) для проведения экспериментальных исследований по оценке физико-механических характеристик горных пород и специализированных материалов в различных условиях нагружения. При этом реализованы испытания на сдвиг со сжатием в автоматическом режиме, с цифровым управлением сдвиговой и нормальной силой. Базовым элементом RDS-500 является вертикальная силовая рама с резьбовыми колоннами для позиционирования траверсы (рисунок 2). Рама монтируется на несущей платформе стола. Технические характеристики силового оборудования приведены в таблице 1.

Система соответствует техническим требованиям и условиям ISRM (Международное общество механики горных пород) и ASTM (Американское общество по испытанию материалов) для трехосных испытаний образцов горных пород.

Система оснащена замкнутым контуром сервоуправления, имеет исполнительный механизм DSH-300 двойного действия (прямое / обратное) для сдвигового нагружения с



Рисунок 1 – Сервогидравлическая система RDS-500

усилием до 300 кН и рабочим ходом ± 50 мм и нормального нагружения с усилием до 1500 кН и рабочим ходом до 100 мм. Стенд рассчитан на исследование цилиндрических образцов диаметром до 150 мм (ограничен внутренним диаметром установочной обоймы) и кубических образцов 100x100 мм с высотой до 150 мм.

Гидравлический привод стенда осуществляется с помощью маслостанции НПС-15-8, дистанционно управляемой с рабочего места

оператора ПК через сервоконтроллер. Производительность станции составляет 28 л/мин, номинальное рабочее давление 21 МПа. Для сглаживания пульсаций давления масла служит гидравлическая распределительная колонка с соленоидом управления и аккумулятором давления. Для управления приводами установлены высокочастотные двухступенчатые электрогидравлические сервоклапаны производительностью 38 л/мин для вертикального и 19 л/мин – для горизонтального.

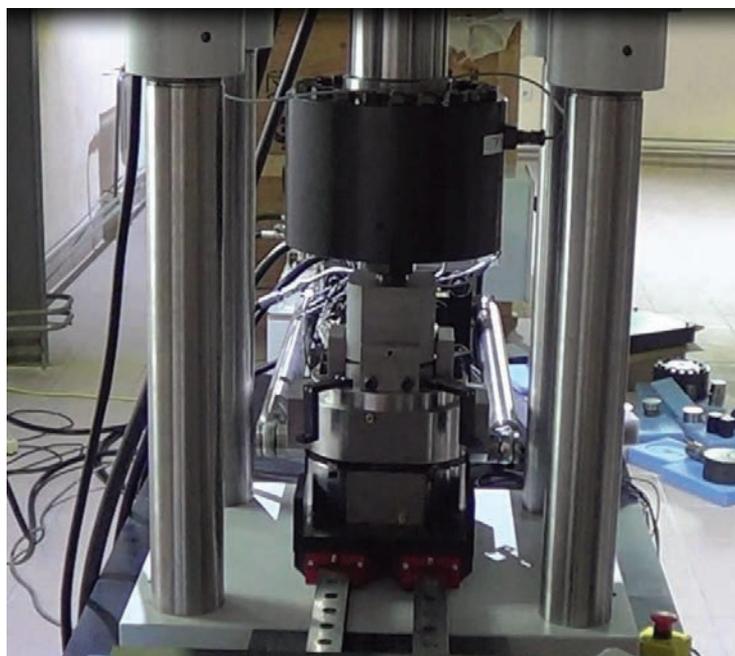


Рисунок 2 – Вертикальная силовая рама сервогидравлической системы RDS-500

Функция управления и обеспечения функционирования системы сбора данных обеспечивается цифровым сервоконтроллером SCON-2000, являющимся универсальным устройством для преобразования цифровых сигналов и управления. Сервоконтроллер SCON-2000 является промежуточным звеном между персональным компьютером оператора и техническими элементами RDS-500, оснащен встроенным микропроцессором с частотой 850 МГц (ОЗУ 64 МВ RAM, жесткий диск 128 МВ), генератором функций, системой сбора данных и цифровыми каналами ввода/вывода. Сервоконтроллер в режиме реального времени обеспечивает взаимодействие с приводами системы, датчиками, входными и выходными сигналами. Поддерживается сбор данных до 28 датчиков и 8 выходных каналов управления, контроль и управление насосной станцией, сбор данных по температуре в стабилонетре, температуре

и уровне масла в маслостанции, наружной температуре, мониторинг в реальном времени при определении статуса управляющей программы с целью автоматического переключения внутренних блокировок. В SCON-2000 установлена программа GCTS CATS Standard (Win XP, 7). Благодаря возможности преобразования внешних данных в систему можно передавать сигналы от датчиков силы, давления, измерительных преобразователей линейных перемещений и других аналоговых устройств. Каждый канал имеет возможность настройки смещения и усиления, обладает разрешающей способностью 16 бит. Преобразователь системы имеет частоту 100000 Гц с функцией слежения и запоминания, которая обеспечивает мгновенное отображение значений от подключенных датчиков (силы, деформации и т.д.) и исключает расфазировку данных, возникающую вследствие задержек в АЦП.

Таблица 1 – Технические характеристики сервогидравлической системы RDS-500

№	Характеристика	Показатель
1	Силовая рама	тип FRM4-1500-50-MS четырёхколонная напольная с резьбовыми колоннами
2	Ход гидроцилиндра	50 мм
3	Максимальная статическая нагрузка при сжатии	1500 кН
4	Максимальная статическая нагрузка при растяжении	820 кН
5	Максимальная скорость нагружения	300 мм/мин
6	Плиты для испытаний на сжатие с шарнирной опорой	диаметр 100 мм, твердость рабочей поверхности HRC45
7	Жесткость силовой рамы	1750 кН/мм
	Датчик деформации (перемещений)	тип SR-DF-750-2000AC, ход 100 мм
8	Максимальное свободное пространство по вертикали (расстояние между плитами)	800 мм
9	Расстояние между колоннами	400 мм
10	Масса системы	3200 кг (зависит от дополнительной оснастки)
11	Масса силовой рамы с основными компонентами	2500 кг
12	Размеры силовой рамы: – длина – ширина – высота	2540 мм 1070 мм 2620 мм
13	Диапазон скоростей нагружения	от 0 до 300 мм/мин
14	Точность датчика деформации	0,1 мкм
15	Разрешение датчика силы 1500 кН	22,9 Н

Все настройки электронной системы преобразования сигналов производятся программно. В программе можно сохранить различные конфигурации оборудования при наладке на новые условия эксперимента. Цифровые настройки защищены от их изменения неопытными пользователями, что исключает внесение случайных изменений в калибровочные данные или коэффициенты усиления. Система обладает функцией автоматического распознавания датчика, которая дает возможность автоматически загрузить требуемые настройки при его замене.

Управление стендом выполняется с рабочего места оператора, оборудованного персональным компьютером IBM PC (Windows XP Professional, 7) с установленным специализированным пакетом программного обеспечения CATS (Computer Aided Testing System – система автоматизированных испытаний), включающим в себя ряд программ, например:

- программа управления испытаниями CATS – ADV;
- программа для испытаний на сдвиг CATS – DSH;
- программа обеспечения управления точечным нагружением – PntLoad.

Пакет программного обеспечения GCTS CATS работает в сочетании с цифровым сервоконтроллером SCON-2000. Функции и возможности программы:

- возможность вычислять основные параметры (напряжение, деформацию и т.д.) по размерам образца;
- вычисление данных в режиме реального времени с отображением на экране, использование данных в алгоритмах управления;
- программное преобразование, оптимизация и калибровка сигналов; синхронное управление по нескольким (до 10) каналам; возможность использования различных систем единиц измерения;
- графическое отображение данных по входным каналам в режиме реального времени; поддержка работы с датчиками постоянного и переменного тока, термопарами и счетчиками;
- интерполяция выходных данных поли-

номом третьей степени в режиме реального времени;

- возможность быстрого осуществления преобразования Фурье (БПФ) для обработки сигналов.

После монтажа и наладки оборудования в Институте угля СО РАН проведен курс обучения персонала по утвержденной программе подготовки сертифицированных операторов сервогидравлической системы RDS-500. Обучение проведено компанией «НОВАТЕСТ» (сертифицированные представители компании GCTS, Москва). Задачей курса было обучение операторов работе с системой по испытанию прочных горных пород на сдвиг со сжатием в различных условиях нагружения. Выполнены практические занятия по подготовке образцов горных пород и проведению испытаний. Пример результатов обработки экспериментальных данных показан на рисунке 3.

Для испытаний можно выбирать цилиндрические керны, кубические, призматические или фрагменты произвольной формы. Подготовка образцов испытуемого материала высотой до 150 мм выполняется с применением комплекта колец (опока верхняя и нижняя) со свободным внутренним пространством диаметром 150 мм. Образцы устанавливаются в рабочие кольца, фиксируются техническим пластилином и заливаются цементирующим составом (рисунок 4). При этом между кольцами обеспечивается зазор для сдвига 10 мм.

В процессе дальнейшей эксплуатации проведена отработка основных режимов функционирования системы. Нарботка опытного материала проведена по стандартным методикам на образцах специализированных материалов для горной промышленности серии УГМ (Упрочнение Горного Массива) на основе цементов, предоставленных и исследованных разработчиком – Научно-производственной компанией «УГМ-Сервис» Группы компаний «УГМ».

1. Смесь УГМ-П – применяется для быстрого возведения монолитных взрывоустойчивых, водоупорных и изоляционных перемычек, изоляционных рубашек, обделок,

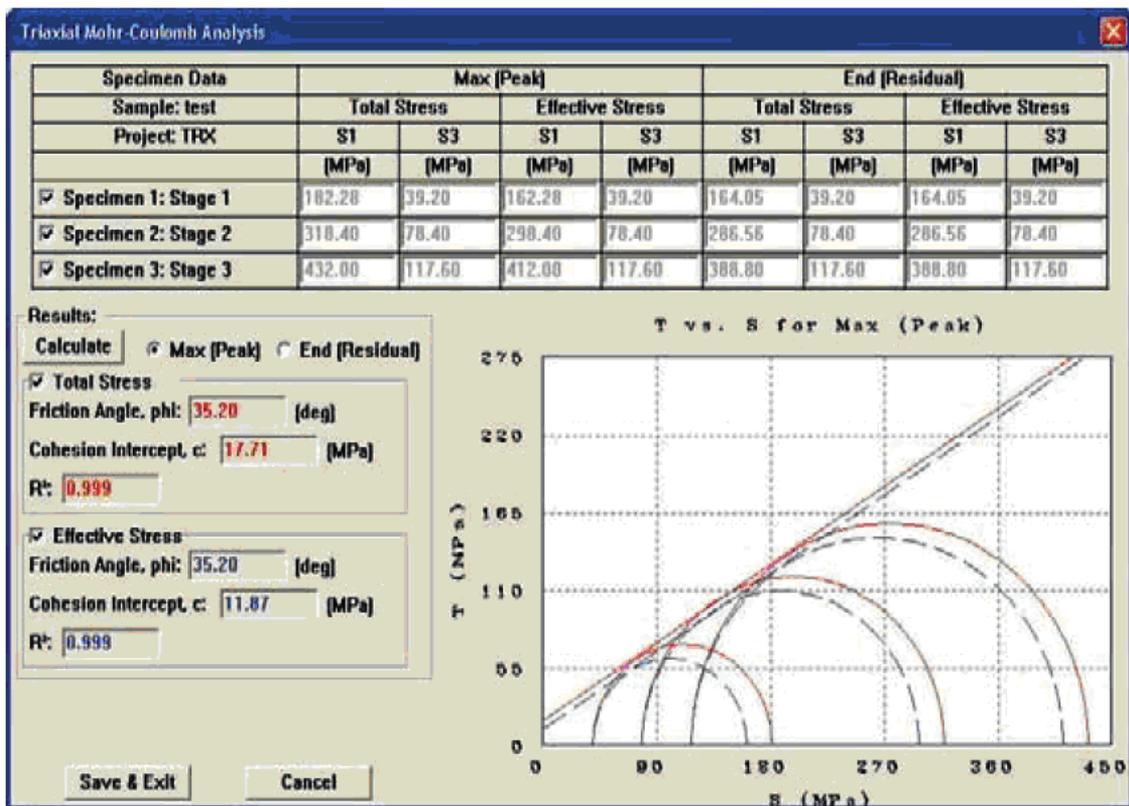


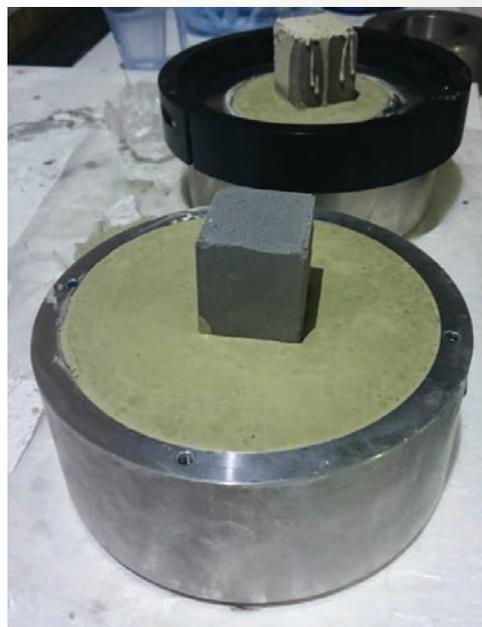
Рисунок 3 – Автоматическое построение паспорта прочности горных пород с кругами Мора

проведения ремонта подземных сооружений.

2. Смесь УГМ – применяется для инъекционного упрочнения и уплотнения (тампо-нажа) нарушенных горных пород и грунтов, гидроизоляции (герметизации) трещиноватых горных пород и грунтов, создания про-

тивофильтрационных завес; имеет высокие показатели седиментационной устойчивости и проникающей способности.

Смеси относятся к классу легких бетонов, имеют высокие показатели набора прочности, долговечности и адгезии.



а) на переднем плане – образец зафиксирован цементирующим составом в нижнем кольце;
 б) на заднем плане – применение фиксатора колец для обеспечения точности взаимной установки

Рисунок 4 – Подготовка образцов для испытаний

2) Следующим мобильным элементом стендового комплекса является уникальная разработка Института угля СО РАН, изготовленная КТИПМ СО РАН – измерительная система «Пинометр» (рисунок 5) для измерения контактной прочности горных пород в скважинах, в шахтных и лабораторных условиях.

Система состоит из зонда диаметром 43 мм – механического блока с рабочим штоком, гидроусилителем и выдвижными инденторами; датчика перемещения штока типа SM10-

HYD-КА-F18-О; прецизионного датчика давления Д100М-3; устройства электронного сбора и передачи данных; гидравлического ручного насоса.

Пинометр прошел лабораторные и шахтные испытания, показав высокую точность и оперативность измерений.

Одна из ключевых решаемых задач – формирование паспорта прочности неразгруженного массива горных пород, дополняющего данные, полученные на системе RDS-500.



Рисунок 5 – Пинометр

3) При оснащении стабилόμεтром система RDS-500 получает возможность проведения трехосных испытаний, испытаний на гидроразрыв, определения пористости и проницаемости горных пород и материалов, с автоматическим контролем и управлением по нагрузке и деформации. При этом реализуется возможность как статического, так и динамического нагружения, с возможностью термостатирования. Однако в настоящее время система еще не доукомплектована указанными опциями.

Вывод

Таким образом, оснащение Центра испытаний горно-шахтного оборудования и инновационных технологий современным стендовым оборудованием является важной задачей в области обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов и обеспечения рационального природопользования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программное обеспечение GCTS CATS 1.97. Руководство по эксплуатации и справочные материалы // Geotechnical Consulting & Testing Systems. – США, 1994–2011.
2. Системы испытания горных пород // Каталог оборудования Geotechnical Consulting & Testing Systems. – США, 2012. – 35 с.
3. Техническое задание на разработку проекта стенда физико-механических испытаний горных пород и углей. – Кемерово: ИУ СО РАН, 2013. – 23 с.

UDC 620.1.051

© А.Е. Majorov, I.L. Abramov, E.I. Nurgaliev, 2017

A.E. Majorov

Doctor of Technical Sciences, RAS Professor,
Deputy Director General in the field coal mining
and coal improvement
The Federal Research Center of Coal and Coal
Chemistry of SB RAS, Kemerovo
Professor of Department
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical
University, Kemerovo

E.I. Nurgaliev

Postgraduate Student, The Federal Research
Center of Coal and Coal Chemistry of SB RAS,
Kemerovo
General Director GK «UGM», Kemerovo

I.L. Abramov

Candidate of Technical Sciences, Senior Scientific
Researcher
The Federal Research Center of Coal and Coal
Chemistry of SB RAS, Kemerovo
e-mail: ilabramov@rambler.ru

RESEARCH ON PHYSICOMECHANICAL CHARACTERISTICS OF ROCKS AND SPECIFIC MATERIALS FOR TECHNOLOGIES OF CONSTRUCTION, RECONSTRUCTION AND SAFE OPERATION OF COAL MINES

The test facility based on servohydraulic system RDS-500 of Testing Center of mining equipment and innovative technologies of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of SB RAS is given. The lines of researches on physicommechanical characteristics of rocks and specific materials for technologies of construction, reconstruction and safe operation of coal mines are described.

Key words: TEST FACILITY, SERVOHYDRAULIC SYSTEM, PHYSICOMECHANICAL CHARACTERISTICS, ROCKS, MATERIALS

REFERENCES

1. Programmnoe obespechenie GCTS CATS 1.97. Rukovodstvo po jekspluatacii i spravocnyye materialy (GCTS CATS 1.97 Software. Operation manual and reference materials) // Geotechnical Consulting & Testing Systems. SShA, 1994–2011.
2. Sistemy ispytaniya gornyh porod (Rocs test systems) // Katalog oborudovaniya Geotechnical Consulting & Testing Systems. SShA, 2012. 35 p.
3. Tehnicheskoe zadanie na razrabotku proekta stenda fiziko-mehanicheskikh ispytanij gornyh porod i uglej (The technical specification for the development of test bench design for rocks and coals physical tests). Kemerovo: IU SO RAN, 2013. 23 p.