

УДК 622.02:531 + 622.83

**В.Г. Качальский, Е.В. Рубцова**

**О РАЗВИТИИ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА  
«ГИДРОРАЗРЫВ»**

*Разработан новый измерительно-вычислительный комплекс «Гидроразрыв» и устройство преобразования и передачи данных в его составе*

*Ключевые слова: напряженное состояние горного массива, безопасность ведения горных работ, геомеханический комплекс УК-«Гидрозонд»*

**Семинар № 2**

**С**овременный уровень развития информационных технологий позволяет совершенствовать известные методы и устройства экспериментального исследования напряженного состояния породного массива. Задача является актуальной, поскольку от уровня программно-технического оснащения экспериментов зависит достоверность определения напряжений в породном массиве и, следовательно, правильность принятия решений по выбору и обоснованию рациональных технологий добычи полезных ископаемых, обеспечению безопасности ведения горных работ.

Одним из известных методов экспериментального определения напряжений в массиве горных пород является метод измерительного гидроразрыва, который может использоваться при изучении полей напряжений в зонах влияния подземных и наземных сооружений, а также, для диагностики напряженного состояния в глубоких скважинах. Теоретические основы метода рассматривались в работах [1, 2].

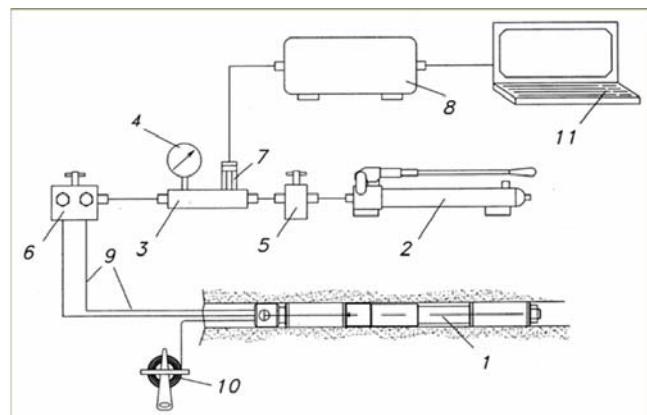
Для осуществления измерительно-го гидроразрыва скважин в шахтных

условиях в ИГД СО РАН в конце 80-х годов был создан геомеханический комплекс УК-«Гидрозонд». Комплекс включал в себя двухпакерный зонд, ручной насос, соединительный трубопровод, пресс-расходомер, манометр, систему регистрации давления. Первоначально система регистрации данных состояла из датчика давления, прессметра, выполненного на основе микросхем, и магнитофона. Прессметр осуществлял преобразование сигнала от датчика давления, цифровую индикацию величины давления в гидросистеме, запись данных во внутреннее ЗУ или на магнитофон (при большом объеме данных) с возможностью последующего считывания их в ЭВМ. Следующим этапом явилась разработка конструктивных схем и соответствующего программного обеспечения прессметра-регистратора на базе микропроцессора 1821ВМ85 и ПЗУ типа 573РФ5 [3].

К настоящему времени в лаборатории горной информатики ИГД СО РАН на основе УК-«Гидрозонд» создан измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) «Гидроразрыв», основными отличиями которого являются устройство преобразования

**Рис. 1. Функциональная схема ИВК «Гидроразрыв»:**

1 – двухпакерный зонд; 2 – ручной насос; 3 – адаптер; 4 – манометр; 5 – кран одноходовой; 6 – кран многоходовой; 7 – датчик давления; 8 – устройство преобразования и передачи данных; 9 – напорные трубопроводы; 10 – рулетка; 11 – портативный компьютер



и передачи данных на основе унифицированных электронных модулей и новый подход к созданию программного сопровождения экспериментов и обработки данных на основе пакета графического программирования «LabView» (фирмы National Instruments).

#### Технические средства в составе ИВК «Гидроразрыв»

В состав ИВК «Гидроразрыв» (рис. 1) входят: двухпакерный зонд, датчик давления, устройство преобразования и передачи данных, портативный компьютер (ПК), ручной насос, адаптер, манометр, кран одноходовой, кран многоходовой, напорные трубопроводы (гибкие и жесткий).

Функции составных частей комплекса заключаются в следующем.

Двухпакерный зонд представляет собой цилиндрический корпус с подвижной поршневой парой, установленной между двумя уплотнительными элементами. После установки в скважине зонда рабочая жидкость от насоса по трубопроводам нагнетается в полость поршневой пары зонда, которая, раздвигаясь, сжимает уплотнительные элементы. Последние, расширяясь в радиальном направлении, соприкасаются со стенками скважины и герметизируют исследуемый участок. После герметизации скважины рабочую жидкость подают в изолиро-

ванный участок, повышая давление до достижения разрыва пород.

Для создания давления в зонде и исследуемом участке скважины в ИВК «Гидроразрыв» используется ручной двухступенчатый насос модели НРГ-7035. Соединение зонда с ручным насосом осуществляется с помощью рукава высокого давления и жесткого трубопровода. Жесткий трубопровод необходимой длины набирается из отдельных трубок длиной, например, 1.5 м последовательным соединением с помощью муфт, ниппелей и скобок. Для удобного расположения всего оборудования вблизи устья скважины жесткий трубопровод заканчивается рукавом высокого давления длиной 3.0 м. Краны одноходовой и многоходовой предназначены для сборки гидросистемы из нескольких гидравлических устройств с возможностью регулирования (включение/выключение) их в процессе работы. Кран одноходовой отключает всю систему нагнетания от насоса, что необходимо после достижения гидроразрыва скважины. Кран многоходовой коммутирует подачу рабочей жидкости в напорные каналы зонда. Датчик давления и манометр включены в систему через адаптер, встроенный в напорный канал. Манометр служит для визуального контроля давления в систе-

ме, датчик давления (МИДА-ПИ-51П) предназначен для регистрации давления рабочей жидкости в процессе осуществления экспериментов и соединен специальным кабелем с устройством преобразования и передачи данных.

Программно-техническая часть ИВК «Гидроразрыв» состоит из двух вычислительных устройств - устройства преобразования и передачи данных и ПК, связанных между собой информационно с помощью последовательного канала передачи данных. Устройство преобразования и передачи данных выполнено в отдельном корпусе и включает в себя два унифицированных модуля производства фирмы ADVANTEC. Высокоточный температурно-стабилизированный микропроцессорный модуль аналого-цифрового преобразования ADAM-4011 имеет дифференциальный вход для подключения датчиков мостового типа, программируемые усилитель и АЦП. Для согласования и передачи данных в ПК использован модуль ADAM-4520. В процессе эксперимента сигнал от датчика давления поступает в устройство преобразования и передачи данных, где преобразуется в цифровой код модулем ADAM-4011. Полученный код через внутреннюю шину RS-485 поступает в согласующий модуль ADAM-4520, где преобразуется в последовательность байтовых данных стандарта RS-232, которые передаются от устройства в ПК. Режимы работы модуля ADAM-4011 программируются специальными командами от управляющего ПК. Автономное питание устройства осуществляется с помощью свинцово-гелиевого аккумулятора напряжением 12 вольт, который при полной зарядке обеспечивает непрерывную работу устройства в течение не менее 20 часов.

### **Программное обеспечение ИВК «Гидроразрыв»**

Программные средства ИВК «Гидроразрыв» представляют собой комплекс программ «Hydrogap», разработанный в среде графического программирования «LabView».

Пакет «Hydrogap» устанавливается на ПК и обеспечивает выполнение следующих функций:

1. Управление режимами работы устройства преобразования и передачи данных.
2. Предварительную обработку данных, включающую в себя:
  - обнаружение подключенного устройства преобразования и передачи данных;
  - инициализацию аналого-цифрового преобразователя;
  - предварительное усреднение данных;
  - экспоненциальное сглаживание помех измерения сигнала от датчика давления;
3. Кусочно-линейную аппроксимацию статической характеристики датчика.
4. Приведение к нулю входного сигнала – “Балансировку”.

5. Управление процессами измерения, визуализации и сохранения данных в основных режимах работы «Индикация», «Калибровка», «Эксперимент», «Анализ».

Блок-схема программы «Hydrogap» представлена на рис. 2.

*Режим “Индикация”* является вспомогательным и программа переходит в этот режим автоматически после обнаружения передачи данных по каналу от устройства преобразования и передачи данных.

Данный режим предназначен для:

- коррекции параметров канала передачи информации между устройством преобразования и передачи данных и ПК (номера порта, скорости

**Рис. 2. Блок-схема программы «Hydrogar»**

обмена, периода опроса датчика давления);

– ввода идентификационных данных (кода) эксперимента;

– наблюдения за сигналом давления в процессе настройки всей аппаратуры перед началом эксперимента;

– перехода в любой другой режим.

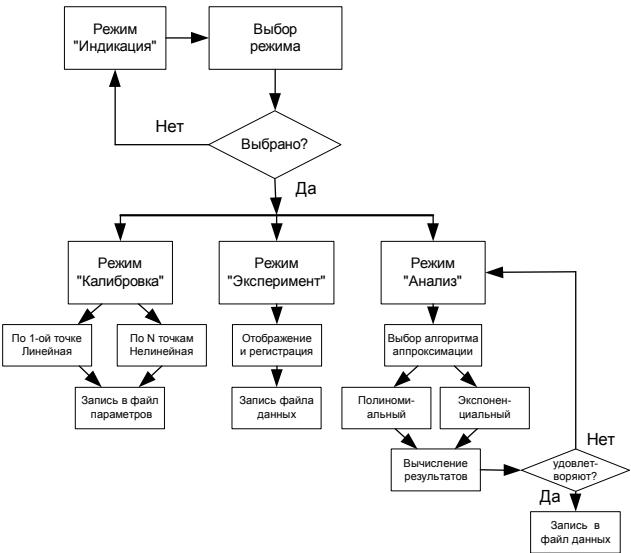
#### *Режим «Калибровка»*

предназначен для тарировки датчика давления по эталонному прибору. Данная процедура производится в случае замены датчика давления или при обнаружении отклонения показаний, отображаемых на экране дисплея и истинных значений. Режим может выполняться в двух вариантах.

*Калибровка по одной контрольной точке.* При этом показания датчика аппроксимируются во всем рабочем диапазоне давлений линейным уравнением вида  $P = k \cdot s$ , где  $P$  – отображаемое значение давления;  $s$  – значение сигнала от датчика;  $k$  – коэффициент пропорциональности, полученный в результате калибровки по одной контрольной точке.

*Калибровка по N точкам ( $N \leq 10$ ).* Число точек выбирается исходя из допустимой погрешности в каждом из интервалов. В этом случае показания датчика на экране дисплея аппроксимируются уравнением вида:  $P = k_i \cdot s + b_i$ ,  $i = 1 \dots N$ , где  $k_i$ ,  $b_i$  – коэффициенты кусочно-линейной аппроксимации, полученные в результате калибровки.

Результаты калибровки используются при преобразовании данных и



хранятся в файле параметров на жестком диске ПК.

*В режиме «Эксперимент»* осуществляется наблюдение за ходом эксперимента. График изменения давления в процессе нагружения или свободного изменения давления отображается на экране ПК с заданным в режиме «Индикация» периодом опроса датчика давления. По окончании эксперимента данные записываются в файл данных, имя которого соответствует названию эксперимента. Все данные записываются в текстовом формате и могут быть просмотрены любым редактором, а также введены в Microsoft Excel для дополнительного анализа и печати документов.

*Режим «Анализ»* предназначен для обработки данных, полученных в результате проведенных экспериментов. Режим «Анализ» можно выполнять в процессе эксперимента, либо в лабораторных условиях без подключения к компьютеру устройства преобразования и передачи данных, при этом для анализа доступны все файлы данных об экспериментах, хранящиеся на жестком диске ПК.

**Рис. 3. Окно отображения результатов анализа**

В режиме «Анализ» выполняются следующие операции:

- вывод на дисплей компьютера данных эксперимента в виде графика «давление времени»;
- выбор интересующего участка графика путем задания курсором начальной  $P_1$  и конечной  $P_2$  точек интервала;
- выбор метода аппроксимации экспериментальной кривой давления: экспоненциальный или полиномиальный со степенями полинома от 2-х до 6-ти;
- визуализация результатов анализа (рис. 3): графическое отображение положения касательных в точках  $P_1$  и  $P_2$ , биссектрисы угла между касательными и вывод численного значения величины давления в точке пересечения биссектрисы с аппроксимирующей кривой;
- корректировка результатов анализа, допускающая изменение положений точек  $P_1$  и  $P_2$ , изменение метода аппроксимации или степени полинома при полиномиальном методе.

Результаты анализа и корректировки приписываются к исходному файлу данных. На рис. 4 показан фрагмент файла данных, в котором структурно можно выделить три части:

- заголовок файла, в котором указаны код эксперимента, время начала и окончания эксперимента, число точек, полученных в ходе эксперимента, период опроса датчика;
- данные эксперимента в виде последовательности значений давления, зафиксированных в моменты опроса датчика с заданным периодом;



– результаты анализа, приписанные к файлу после проведения анализа: дата анализа, значения координат выбранных точек для построения касательных, результат определения точки пересечения касательной с аппроксимирующей кривой, алгоритм аппроксимации, степень полинома, примечания.

### **Заключение**

На основе современных унифицированных электронных средств разработано устройство преобразования и передачи данных в составе ИВК «Гидроразрыв».

Работа устройства совместно с портативным компьютером позволяет визуализировать процесс изменения давления в межпакерном пространстве в ходе эксперимента, проводить анализ результатов непосредственно после окончания измерений в подземных условиях, что обеспечивает оперативное принятие решений о результативности экспериментов.

Использование пакета графического программирования «LabView» при создании прикладной программы «Hydrogap» позволило увеличить точность регистрации и обработки результатов эксперимента, расши-

ГарКС-1_10.txt - Блокнот																			
Файл	Правка																		
ЭКСПЕРИМЕНТ "ГИДРОРАЗРЫВ СКАВАЖИНЫ"																			
Код эксперимента:	КСС-12-оригинал-ручной ввод																		
Дата начала эксперимента	19.07.2006 11:28																		
Дата конца эксперимента	19.07.2006 11:29																		
Число точек:	97      Период опроса, сек:	0,2																	
РЕЗУЛЬТАТ ЭКСПЕРИМЕНТА:																			
2	0	13	23	37	47	58	69	75	80	87	90	95	102	105	112	113	112	114	112
114	105	92	90	91	81	81	77	81	80	78	70	71	71	70	69	67	66	71	70
70	69	68	67	67	67	60	60	60	60	60	60	58	58	57	57	56	56	56	56
57	59	59	57	57	58	57	57	57	57	56	56	56	56	53	49	49	49	49	49
49	49	49	49	49	48	48	48	48	48	48	46	46	46	46	46	46	46	46	46
DATA ANALIZA:	19.12.2006 11:55																		
Результаты анализа:																			
Точка P1:	4,0 сек. 114,00 МПа																		
Точка P2:	18,0 сек. 48,00 МПа																		
Точка пересечения Rx, МПа:	62,97																		
Алгоритм аппроксимации:	Экспоненциальный																		
ПРИМЕЧАНИЕ:	Ортолография																		
DATA ANALIZA:	19.12.2006 11:58																		
Результаты анализа:																			
Точка P1:	4,6 сек. 94,28 МПа																		
Точка P2:	12,9 сек. 56,65 МПа																		
Точка пересечения Rx, МПа:	73,63																		
Алгоритм аппроксимации:	Полиномиальный Степень полинома: 4																		
ПРИМЕЧАНИЕ:																			

**Рис. 4. Фрагмент файла данных**

рить функциональные возможности и обеспечить наглядность процесса анализа.

В 2007 году ИВК «Гидроразрыв»

в новом исполнении поставлен по международному контракту ТОО «Корпорации Казахмыс» г. Жезказган (Казахстан).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курленя М.В., Леонтьев А.В., Попов С.Н. Развитие метода гидроразрыва для исследования напряженного состояния массива горных пород // ФТПРГИ. –1994. – № 1.
2. Леонтьев А.В., Попов С.Н. Опыт практического применения измерительного гидроразрыва // Горный журнал. – 2003. - № 3.
3. Петров В.Е. Конструктивные особенности регистраторов в составе переносных измерительных комплексов // Труды международной конференции «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли». – Новосибирск: Изд. ИГД СО РАН. – 1999. – С. 265 – 269. ГИАБ

#### Коротко об авторах

Качальский В.Г., Рубцова Е.В. – Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия, rubth@misd.nsc.ru