

## **ПОРТАТИВНЫЙ РЕГИСТРАТОР ДАВЛЕНИЯ В СОСТАВЕ КОМПЛЕКСА «ГИДРОРАЗРЫВ» ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД**

*Владислав Генрихович Качальский*

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, старший научный сотрудник лаборатории диагностики механического состояния массива горных пород, тел. (383)205-30-30, доп. 116, e-mail: kwg@ngs.ru

*Аркадий Васильевич Леонтьев*

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, ведущий научный сотрудник лаборатории горной информатики, тел. (383)205-30-30, доп. 173, e-mail: leon@misd.ru

*Екатерина Владимировна Рубцова*

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, старший научный сотрудник лаборатории горной информатики, тел. (383)205-30-30, доп. 174, e-mail: rubth@misd.ru

Измерительно-вычислительный комплекс «Гидроразрыв» является переносным и предназначен для определения компонент напряжений, действующих в массиве горных пород, методом измерительного гидро разрыва. В статье обоснованы подходы к переоснащению комплекса с учетом актуальных требований к применяемому в подземных условиях оборудованию и возможностей современных микропроцессорных средств. Рассмотрены новые программно-технические решения и особенности функционирования портативного регистратора давления, основанного на микропроцессорной системе преобразования аналогового сигнала, поступающего от датчика давления, и сигнала контроля напряжения аккумулятора автономного устройства для проведения экспериментов. Предложен искробезопасный способ включения и выключения электронной схемы устройства, герконовый коммутатор цепей питания со схемой мягкого запуска, что предотвращает залипание контактов геркона. Предлагается применение беспроводной схемы зарядки внутриблочного аккумулятора. Отсутствие разъёмных соединений в структуре портативного регистратора давления предотвращает негативное влияние на его работу повышенной влажности в атмосфере угольных шахт и рудников, исключает возможности искрообразования.

**Ключевые слова:** гидро разрыв, давление, регистратор, микропроцессорная система, датчик, аналоговый сигнал, искробезопасность.

## **PORTABLE PRESSURE RECORDER AT COMPLEX «HYDROFRACTURING» FOR EXPERIMENTAL STRESS DETERMINATION IN THE SOLID**

*Vladislav G. Kachalsky*

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Senior Researcher, Mechanical Rock Mass State Diagnostics Laboratory, phone: (383)205-30-30, extension 116, e-mail: kwg@ngs.ru

***Arkady V. Leontev***

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Leading Researcher, Mining Information Science Laboratory, phone: (383)205-30-30, extension 173, e-mail: leon@misd.ru

***Ekaterina V. Rubtsova***

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Senior Researcher, Mining Information Science Laboratory, phone: (383)205-30-30, extension 174, e-mail: rubth@misd.ru

Measuring and computing complex “Hydrofracturing” is mobile and aimed for determination of acting in solid stresses by method of measuring hydraulic fracturing. In the paper, approaches to re-equipment of the complex considering actual requirements to the applied underground equipment and possibilities of modern microprocessing facilities, are justified. New software and hardware solutions and functioning features of portable pressure recorder are considered based on microprocessing system of conversion analog signal coming from pressure sensor and control signal of battery voltage of autonomous device for experiment operating. Spark safe method of switching of electronic scheme of the device is proposed where there is reed switch of supply circuits with scheme of smooth start. It prevents fritting of the reeds. It is proposed to apply wireless scheme of charging of inside battery. Absence of detachable connections in structure of the portable pressure recorder prevents negative impact of high humidity in the atmosphere coal and ore mines on its functioning. Also, it excludes the possibility of spark formation.

**Key words:** hydraulic fracturing, pressure, recorder, microprocessing system, sensor, analog signal, spark safety.

В настоящее время метод гидроразрыва стенок скважины (измерительный гидроразрыв) широко используется для определения напряжений в массиве горных пород. Одно из его преимуществ состоит в том, что он не требует априори знаний физико-механических свойств контролируемой геосреды. Метод эффективен при детальном изучении локальных полей напряжений вблизи подземных и наземных сооружений. В числе немногих он может использоваться для контроля напряженного состояния горных пород на больших расстояниях от наблюдателя до исследуемого участка массива [1–5]. Его дальнейшее развитие предполагает использование новшеств как в области методологического, технологического, так и аппаратного обеспечения, а именно:

– комплексное использование в натуральных экспериментах классической схемы гидроразрыва (HF) при оценке напряжений в массиве в сочетании с гидравлическими тестами участков с существующими трещинами (НТПФ) [3];

– применение технологии направленного гидроразрыва с использованием щелевых или безщелевых способов задания энергетически выгодного направления развития трещин [6];

– использование новых подходов в обработке экспериментальных данных, в том числе при решении задач по контролю полного тензора напряжений, присутствующего в массиве [3, 7];

– совершенствование технических и измерительных средств в составе оборудования для практической реализации метода измерительного гидроразрыва при контроле естественных напряжений в массиве.

Для выполнения шахтных экспериментов по схеме классического (HF) гидроразрыва в породах мягких и средней прочности в ИГД разработан измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) «Гидроразрыв» [8]. В различной комплектации комплекс использовался при контроле напряженного состояния массива на рудниках ПО «Уралкалий», ПО «Сильвинит», Норильского ГМК, Таштагольского месторождения, в производственных условиях ФГУП «Горнохимический комбинат». Технические средства в составе комплекса постоянно совершенствуются с учетом опыта его практического применения и современных возможностей информационных технологий. Основными направлениями доработки комплекса являются совершенствование конструкции измерительного скважинного зонда и развитие программно-технических средств сопровождения экспериментов и обработки данных.

В данной статье рассмотрены новые программно-технические решения и особенности функционирования портативного регистратора давления, обеспечивающего в составе комплекса преобразование и передачу экспериментальных данных в портативный компьютер (ПК).

К недостаткам ранее разработанной конструкции устройства преобразования и передачи данных в составе комплекса «Гидроразрыв» следует отнести:

- недостаточную устойчивость результатов измерения давления, обусловленную наличием значительных шумов в выходном сигнале применяемых датчиков давления;
- связь регистратора давления и устройства преобразования и передачи данных с ПК по кабелю;
- применение достаточно объемных и энергоёмких модулей фирмы «Advantech», что ограничивает время непрерывного проведения экспериментов до 3-4 часов при автономном питании устройства от свинцового аккумулятора;
- наличие механического выключателя, понижающего искробезопасность устройства.

С учетом современных требований, предъявляемых к переносному оборудованию [9-11] для выполнения шахтных экспериментов, разработана новая конструкция регистратора давления, в котором реализована схема преобразования аналогового сигнала от датчика давления на основе микросхемы высокоточного 24 разрядного аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Использован микросхемный высокостабильный источник опорного напряжения. Предусмотрена процедура внутрисхемного преобразования данных в стандарт RS-232, что позволило напрямую через сертифицированный модуль Bluetooth типа BT-0240 транслировать сигналы в ПК. На рис. 1 показана блок-схема данного устройства.

В портативном регистраторе применен Li-Ion аккумулятор напряжением 7,4 вольт, 2200 мА/час, имеющий малые габариты и большую удельную мощность. В дальнейшем предполагается включить в схему регистратора беспро-

водное зарядное устройство. Регистратор давления выполнен в защищенном пластмассовом корпусе типа SC 130 фирмы ROLEC в соответствии с условиями IP67. На рис. 2 приведен внешний вид устройства.

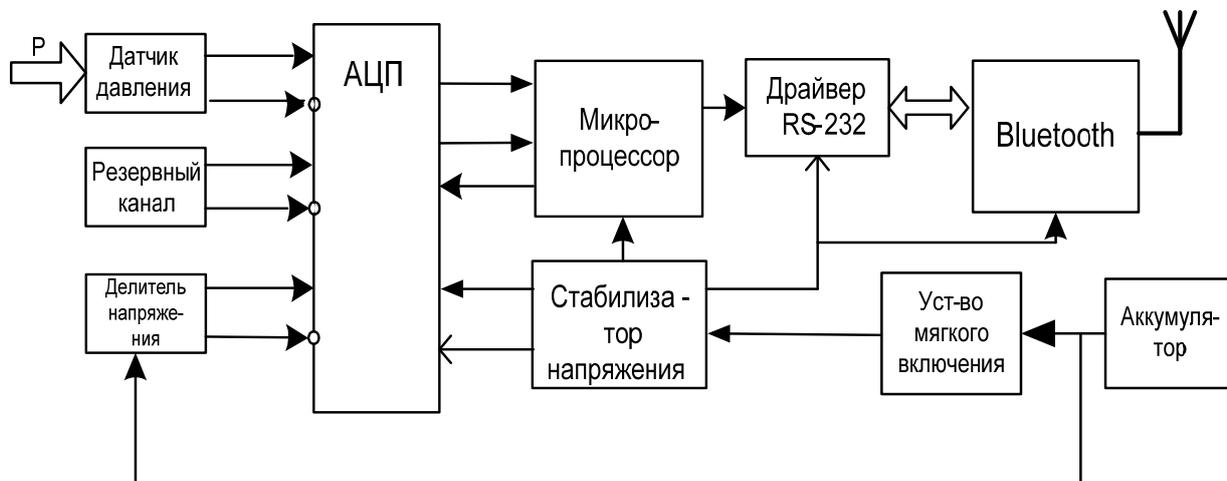


Рис. 1. Блок-схема электронной части регистратора давления



Рис. 2. Портативный регистратор давления

Включение устройства осуществляется помещением в специальный отсек постоянного неодимового магнита, магнитное поле которого воздействует на геркон, вследствие чего контакты замыкаются. Для устранения возможного «залипания» контактов из-за значительных мгновенных токов использовано мягкое включение, затягивающее переходный процесс нарастания токов питания электронных схем. Данный метод позволяет исключить применение механического выключателя, для которого требовалось выполнение отверстия в корпусе и специальная влаго и искрозащитная герметизация.

На рис. 3 приведена блок-схема программного обеспечения, загружаемого в микропроцессор портативного регистратора давления. Разработанные программные средства учитывают задержки времени распространения сигналов по каналу передачи данных и конечную скорость передачи сообщений, которая определяется техническими возможностями аппаратуры и интенсивностью помех в канале.

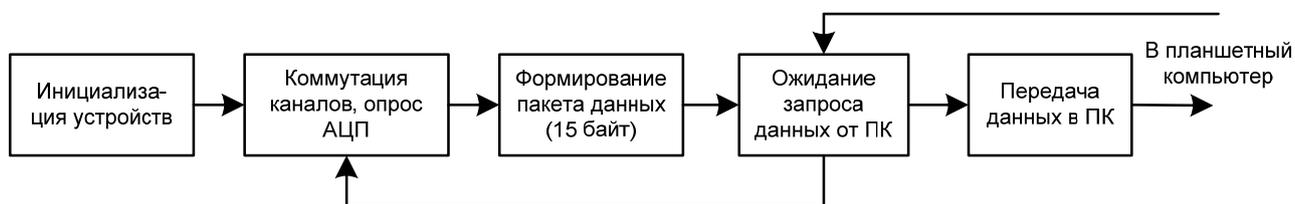


Рис. 3. Блок-схема программного обеспечения регистратора давления

В составе ИВК для передачи данных от регистратора давления в ПК применен радиоканал в стандарте, принятом для Bluetooth устройств. Использование радиоканала, с одной стороны обеспечивает мобильность и комфортные условия при выполнении шахтных экспериментов, с другой стороны, такой канал подвержен влиянию промышленных помех. Это ограничивает возможность получить максимально достижимую скорость передачи пакетов данных по каналу. Реальная скорость передачи отсчетов аналогового сигнала от датчика давления, с учетом ожидания запроса от ПК, составляет 174 пакета/сек. Это позволяет восстановить в ПК регистрацию динамических характеристик исходного сигнала в процессах нарастания-спада давления в гидросистеме длительностью в 12 миллисекунд. Процедура обмена данными (рис. 4) между связанными устройствами фактически определяет шаг дискретизации  $\Delta t = 12 \times 10^{-3}$  сек непрерывного сигнала.

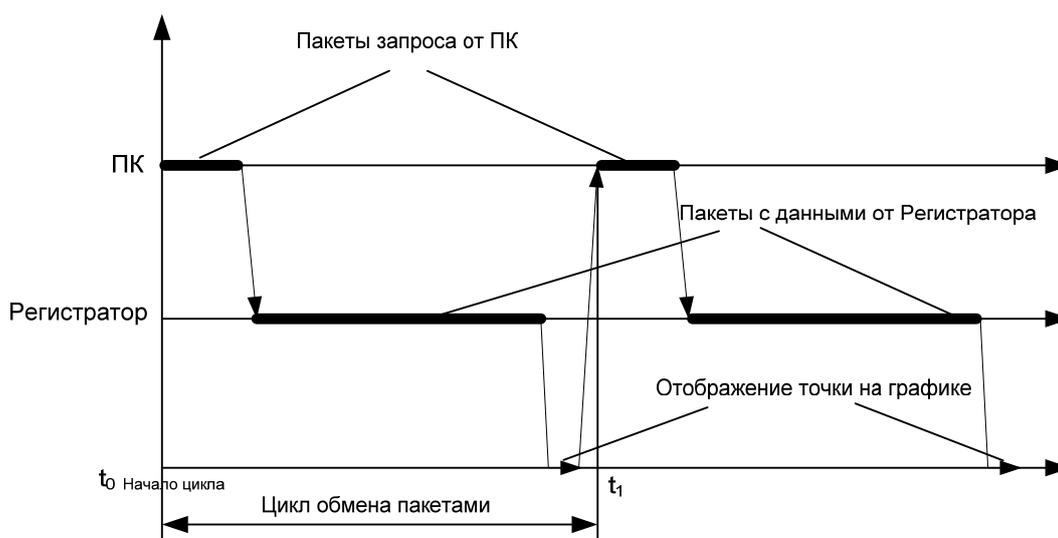


Рис. 4. Временная диаграмма процедуры обмена данными в информационной системе комплекса «Гидроразрыв»

На рис. 5 приведена блок – схема программного обеспечения, загружаемого в ПК. Программные средства позволяют отслеживать на экране дисплея ПК все процедуры организации и проведения эксперимента, а так же оперативно, на месте его проведения, анализировать предварительные результаты опытов, оценивать необходимость изменения режимов нагружения, их повторения или окончания работы на данной замерной станции.

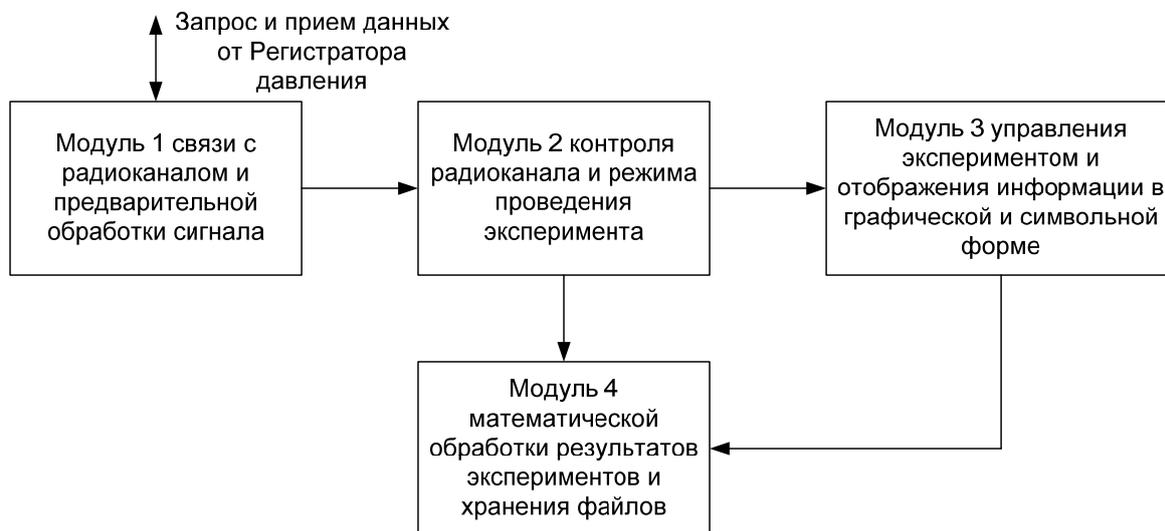


Рис. 5. Блок – схема программного обеспечения эксперимента в ИВК «Гидроразрыв»

Данная статья не предполагает подробного описания алгоритмов математического и программного обеспечения ИВК «Гидроразрыв», а ориентирована на анализ технических проблем и решений при разработке портативного регистратора давления, обеспечивающего преобразование и передачу данных о процессе нагружения гидросистемы при выполнении измерительного гидроразрыва.

Разработанные новые программно-технические решения обеспечивают повышение точности обработки данных при уменьшении габаритов и веса портативного регистратора, увеличение времени его непрерывной работы. Отсутствие разъёмных соединений в структуре портативного устройства отвечает требованиям искробезопасности. Наличие беспроводного канала передачи информации обеспечивает мобильность, упрощает размещение аппаратуры при проведении шахтных экспериментов.

*Данная разработка осуществлена в плане реализации проекта РФ № 17-17-01282.*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Haimson B.C., Cornet F.H. ISRM Suggested Methods for rock stress estimation – Part 3: hydraulic fracturing (HF) and/or hydraulic testing of pre-existing fractures (HTRF) // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2003. – № 4. – P. 1012-1020.

2. Cornet F.H., Valette B. In Situ Stress Determination From Hydraulic Injection Test Data // Journal of Geophysical Research. –1984. – Vol. 89. – N. 813 – P. 11527-11537.
3. Joong-HoSynn, ChanPark a, Yong-Bok Jungetc. Integrated 3-D stress determination by hydraulic fracturing in multiple inclined boreholes beneath an underground cavern // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2015. – Vol. 75. – P. 44-55.
4. Chuan-cheng Zhang, Qing-hui Jiang, Xiang He etc. Applications of Hydraulic Fracturing Method in Measurement of in-situ Railway Tunnel Stress // EJGE. – 2013. – Vol. 18. – P. 2851-2862.
5. Yokoyama T., Sakaguchi K., Ito T. Re-Opening and Shut-in Behaviors under a large ratio of principal stresses in a hydraulic fracturing test // Proceeding Engineering. – 2017. – Vol. 191. – P. 862-868.
6. Сердюков С.В., Курленя М.В., Патутин А.В. и др. Экспериментальная проверка способа направленного гидроразрыва горных пород // ФТПРПИ. – 2016. – № 4. – С. 3-11.
7. J.R. Aggson, K. Kim Analysis of hydraulic fracturing pressure histories: a comparison of five methods used to identify shut-in pressure // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol. 24, № 1, pp. 75–80, 1987.
8. Леонтьев А.В., Рубцова Е.В., Леконцев Ю.М., Качальский В.Г. Измерительно-вычислительный комплекс «Гидроразрыв» // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2010. – № 1. – С. 104–110.
9. Новиков Ю.В. Основы цифровой схемотехники. Базовые элементы и схемы. Методы проектирования // М.: Мир, 2001. – С. 379.
10. Бродин В.Б., Калинин А.В. Системы на микроконтроллерах и БИС программируемой логики // М.: ЭКОМ, 2002. – С. 400.
11. Микропроцессорные измерительные системы // [https://studopedia.ru/10\\_151189\\_ue-mikroprotsessornie-izmeritelnie-sistemi.html](https://studopedia.ru/10_151189_ue-mikroprotsessornie-izmeritelnie-sistemi.html).

© В. Г. Качальский, А. В. Леонтьев, Е. В. Рубцова, 2019