



**О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКВАЖИННЫМ ЗОНДОМ
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ГИДРОРАЗРЫВА
НА ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ ОТ КОНТУРА ВЫРАБОТКИ**

А. В. Леонтьев, Е. В. Рубцова, Ю. М. Леконцев

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: Rubth@misd.ru,
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Обсуждены актуальные вопросы совершенствования конструкции скважинного зонда в составе оборудования для практической реализации метода измерительного гидроразрыва в шахтных условиях. Представлены варианты схем управления работой зонда при использовании одного напорного трубопровода, разработанные с целью упростить монтаж оборудования в скважине, особенно на значительных расстояниях от контура выработки. Рассмотрена новая конструктивная схема управления процессом пакеровки зонда, применение которой исключает неустойчивую деформацию уплотнительных элементов в случае увеличения диаметра скважины выше номинально допустимого значения, обеспечивая надежную герметизацию исследуемого участка.

Гидроразрыв, скважинный зонд, напорный трубопровод, гидравлический распределитель, уплотнительный элемент, деформация, герметизация

**IMPROVEMENT OF DOWNHOLE PROBE CONTROL SYSTEM
FOR THE MEASUREMENT OF HYDRAULIC FRACTURING
AT CONSIDERABLE DISTANCES FROM THE WORKING CONTOUR**

A. V. Leont'ev, E. V. Rubtsova, and Y. M. Lekontsev

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: Rubth@misd.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 63009,1 Russia*

Actual issues of improving the design of the downhole probe as part of equipment for the practical implementation of the method of measuring hydraulic fracturing in mine conditions were discussed. The variants of the probe operation control schemes are presented using a single press pipeline, designed to simplify the installation of the equipment in the borehole, especially at considerable distances from the working contour. The new design map for controlling the process of probe packing is considered. Its application eliminates unstable deformation of sealing elements, in case of the well diameter increase above the nominal value, ensuring reliable sealing of the test area.

Hydraulic fracturing, downhole probe, pressure pipeline, hydraulic distributor, sealing element, deformation, sealing

Метод измерительного гидроразрыва стенок скважины применяется с целью экспериментального определения напряжений, действующих в массиве горных пород [1 – 5]. Развитие технологии измерительного гидроразрыва невозможно без совершенствования технических средств в составе оборудования, обеспечивающего практическую реализацию метода в шахтных условиях. К такому оборудованию относится разработанный в ИГД СО РАН измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) “Гидроразрыв”, который в различной комплектации использовался

при контроле напряженного состояния массива на рудниках ПО “Уралкалий”, ПО “Сильвинит”, Норильского ГМК, Таштагольского месторождения, в производственных условиях ФГУП “Горно-химический комбинат” [6–8].

Основное техническое средство в ИВК “Гидроразрыв”, обеспечивающее выполнение гидроразрыва стенок скважины на исследуемом участке, — зонд. Опыт проведения измерительных гидроразрывов в рудничных условиях показал, что важным направлением совершенствования конструкции зонда является разработка технических решений, позволяющих облегчить его монтаж в скважине и обеспечить надежное управление его работой, особенно на значительных расстояниях от контура выработки [9].

Конструкция зонда предполагает наличие двух напорных трубопроводов, по одному из которых жидкость подается в канал для выполнения операции пакеровки исследуемого участка скважины, по второму — в канал, соединенный с межпакерным интервалом для осуществления гидроразрыва стенок скважины. Использование двух подводящих трубопроводов для управления работой зонда требует значительных затрат времени на монтаж оборудования, существенно утяжеляет конструкцию. Кроме того, незначительная разгерметизация любого трубопровода снижает надежность работы комплекса в целом. В связи с этим в ИГД СО РАН предложено несколько вариантов исполнения системы управления работой скважинного зонда с одним подводящим трубопроводом.

В техническом решении [10] для обеспечения подачи рабочей жидкости от одного подводящего трубопровода в различные каналы зонда на его торцевой поверхности установлена рукоятка с эксцентриком, управление которой осуществляется натяжным тросом. Однако, как показали испытания на макетах, поворот рукоятки управления в требуемые позиции при помощи натяжного троса на значительных расстояниях может оказаться проблематичным, что приведет к нарушению последовательности сообщения внутренних каналов зонда с напорной магистралью и затруднит процесс управления гидроразрывом. Данная схема управления рекомендуется к применению на расстояниях не более 5 м от устья скважины.

В схеме [11] управление скважинным зондом с одной подводящей напорной магистралью выполняется при помощи золотника с шейкой, установленного в корпусе зонда. Перемещения золотника осуществляются путем изменения давления жидкости от насоса, при этом натяжной трос используется только с целью сброса рабочей жидкости на слив после завершения гидроразрыва, что не требует большой точности. Такое техническое решение упрощает процесс управления зондом, повышает надежность его работы при выполнении измерительного гидроразрыва на значительных расстояниях от устья скважины.

Однако следует отметить, что размещение распределителей для управления коммутацией каналов в корпусе скважинного зонда усложняет его конструкцию и снижает ремонтпригодность устройства. В связи с этим предложены конструкции гидравлических распределителей автономного расположения, которые соединены с зондом короткими напорными трубопроводами (рис. 1, 2). Видно, что в золотниковом распределителе (рис. 1) управление переключением каналов осуществляется путем осевого смещения золотника. Его новое положение фиксируется стопорным выступом после поворота жесткого напорного трубопровода. В двухклапанном распределителе (рис. 2) управление каналами подачи жидкости в межпакерное пространство либо на пакеровку производится также поворотом жесткого напорного трубопровода. При этом открытие клапанов выполняют толкатели, положение которых определяет поворачиваемый эксцентрик.

Известно, что гидравлические распределители золотникового типа применяют в гидросистемах, значение номинального давления в которых не превышает 32 МПа. Поэтому в составе технических средств для выполнения измерительного гидроразрыва наибольшую перспективу имеют распределители клапанного типа.

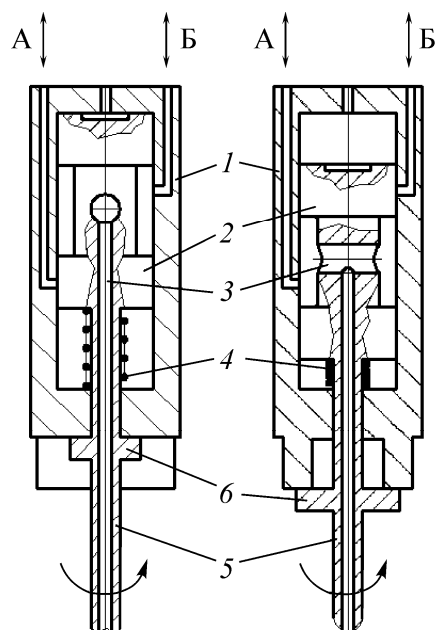


Рис. 1. Принципиальная схема золотникового гидравлического распределителя для управления скважинным зондом; *A, B* — каналы подачи жидкости в корпус зонда; 1 — корпус распределителя; 2 — золотник; 3 — канал подачи жидкости от насоса; 4 — пружина; 5 — напорный трубопровод; 6 — стопорный выступ

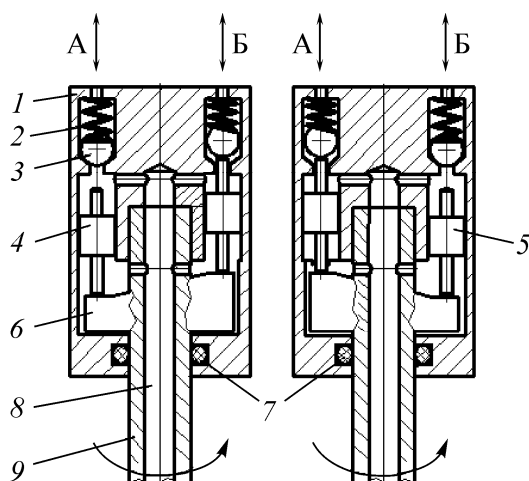


Рис. 2. Принципиальная схема двухклапанного гидравлического распределителя для управления скважинным зондом; *A, B* — каналы подачи жидкости в корпус зонда; 1 — корпус распределителя; 2, 3 — пружина и шарик клапана; 4, 5 — толкатели; 6 — эксцентрик; 7 — уплотнение; 8 — канал подачи жидкости от насоса; 9 — напорный трубопровод

Важным этапом в технологии измерительного гидроразрыва является пакеровка исследуемого интервала скважины. Система управления зондом должна обеспечивать надежную герметизацию межпакерного интервала, не допускающую проникновения рабочей жидкости в зону контакта уплотнительного элемента (пакера) со стенкой скважины или за его пределы. Известны два основных типа пакеров, отличающиеся принципом работы — инъекционные (надувные) и зажимные. Отметим, что в России надувные пакеры для горнотехнологических гидроразрывов, а также средненапорных инъекционных работ не выпускаются. Предложенная ранее конструкция скважинного зонда [12] с надувными пакерами в виде упругих оболочек, закрепленных при помощи неподвижных уплотнительных обжимов на стержнях, не позволила обеспечить надежную герметизацию исследуемого участка скважины, так как при повышении давления в системе до 10 МПа упругие оболочки выдавливали в кольцевой зазор между корпусом зонда и стенкой скважины.

В конструкциях скважинных зондов, применяемых в составе ИВК “Гидроразрыв”, используются уплотнительные элементы зажимного типа из полиуретанового эластомера. В ходе шахтных экспериментов установлено, что достаточно часто, особенно в неоднородных массивах, в месте установки зонда диаметр скважины может превышать номинально допустимое значение или на ее стенках появляются каверны и неровности. В таких случаях уплотнительные элементы зажимного типа не входят в контакт со стенками скважины, вследствие чего теряют устойчивость, происходит их неравномерная деформация по длине (принимают форму “гармошки”) и герметизация исследуемого интервала скважины не обеспечивается (рис. 3).



Рис. 3. Неустойчивая деформация полиуретанового пакера при осевом сжатии

Для обеспечения надежной герметизации исследуемого участка в случаях увеличения диаметра скважины выше номинально допустимого значения разработана новая конструктивная схема управления процессом пакеровки зонда, которая позволяет исключить неустойчивую деформацию уплотнительных элементов и провести дополнительное прижатие их к стенкам скважины. Техническое решение защищено патентом РФ [13], конструкция скважинного зонда с усовершенствованной системой управления пакеровкой приведена на рис. 4.

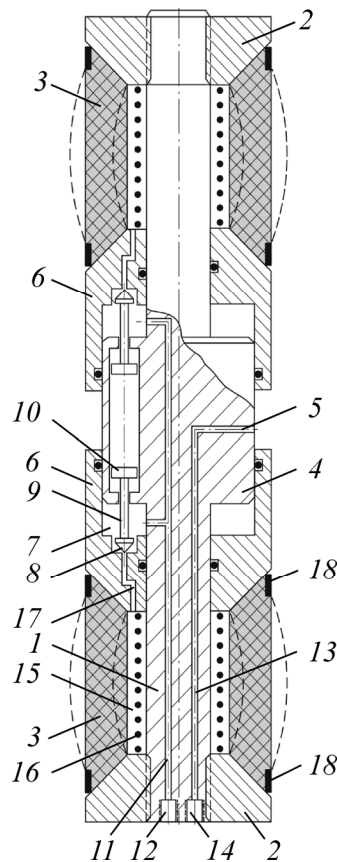


Рис. 4. Скважинный зонд (патент 2652407 РФ): 1 — корпус; 2 — конические гайки; 3 — уплотнительные элементы; 4 — неподвижный шток; 5 — отверстие в штоке; 6 — цилиндры; 7 — рабочие полости; 8 — клапаны; 9 — штоки; 10 — хвостовики; 11, 13, 17 — каналы; 12, 14 — гнезда; 15 — полости под уплотнительными элементами; 16 — пружины; 18 — металлические кольца

После размещения зонда в скважине на выбранной глубине через гнездо 12 по каналу 11 подают жидкость в рабочие полости 7 цилиндров 6, которые под действием давления жидкости начинают раздвигаться в осевом направлении, сжимая уплотнительные элементы 3. В случаях, когда диаметр скважины не превышает номинально допустимого значения, уплотнительные элементы, сжимаясь под действием осевого усилия, расширяются в радиальном направлении и плотно прижимаются к стенкам скважины, не теряя свою устойчивость и обеспечивая герметизацию исследуемого участка скважины. Если диаметр скважины в месте размещения зонда больше номинально допустимого значения и при осевом сжатии не происходит контакта уплотнительных элементов со стенками скважины, цилиндры 6 совершают максимально допустимое осевое перемещение, ограниченное длиной хода штоков 9 с хвостовиками 10, сжимая при этом уплотнительные элементы до предельного значения их устойчивости. Прекращение осевого перемещения цилиндров 6 обеспечивается открытием клапанов 8 и поступлением жидкости из рабочих полостей 7 по каналам 17 в полости 15 под уплотнительными элементами. При этом под действием давления жидкости последние выгибаются в радиальном направлении (показано пунктирной линией) до прижатия к стенкам скважины. Герметичность уплотнительных элементов по торцам достигается за счет их конической формы и силового прижатия к наклонным поверхностям конических гаек 2 и цилиндров 6, а прочность уплотнительных элементов обеспечивается установкой на их наружных поверхностях со стороны торцов металлических охватывающих колец 18. После герметизации исследуемого участка скважины жидкость подают через гнездо 14 по каналу 13 в изолированный участок скважины до осуществления гидроразрыва ее стенок. Для демонтажа зонда давление в подводящих трубопроводах сбрасывают до нуля и усилием пружин 16 уплотнительные элементы возвращаются в исходное положение. Работоспособность и надежность данной конструкции подтверждена в серии лабораторных испытаний.

ВЫВОДЫ

Предложены варианты схем управления работой скважинного зонда при использовании одного напорного трубопровода, позволяющие облегчить монтаж оборудования, особенно при значительных расстояниях выбранного для гидроразрыва участка скважины от контура выработки.

Для обеспечения герметичной пакеровки исследуемого участка в случаях, когда диаметр скважины превышает номинально допустимые значения, разработана конструкция зонда, которая позволяет исключить неустойчивую деформацию уплотнительных элементов при осевом сжатии. Надежная герметизация исследуемого участка обеспечивается за счет дополнительного прижатия уплотнительных элементов к стенкам скважины путем повышения давления в расположенных под ними полостях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Haimson B. C. and 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, no. 40, pp. 1011 – 1020.
2. **Zhang C.-C., Jiang Q.-H., and He X., Liu G.** Applications of Hydraulic Fracturing Method in Measurement of in-situ Railway Tunnel Stress, *Electronic Journal Geotechnical Engineering*, 2013, vol. 18, pp. 2851 – 2862.
3. **Synn J.-H., Park C., Jung Y.-B., and Sunwoo C.** 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, pp. 44 – 55.
4. **Yokoyama T., Sakaguchi K., and 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, pp. 862 – 868.

5. **Serdyukov S. V., Kurlenya M. V., and Patutin A. V.** Hydraulic fracturing for in situ stress measurement, *Journal of Mining Science*, 2016, no. 6, pp. 6–14. (in Russian) [**Сердюков С. В., Курленя М. В., Пагутин А. В.** К вопросу об измерении напряжений в породном массиве методом гидроразрыва // ФТПРПИ. — 2016. — № 6. — С. 1–10.]
6. **Leont'ev A. V., Rubtsova E. V., Lekontsev Yu. M., and Kachal'sky V. G** Measuring-computing complex “Gidrorazryv”, *Journal of Mining Science*, 2010, no 1, pp. 104–110. (in Russian) [**Леонтьев А. В., Рубцова Е. В., Леконцев Ю. М., Качальский В. Г.** Измерительно-вычислительный комплекс “Гидроразрыв” // ФТПРПИ. — 2010. — № 1. — С. 104–110.]
7. **Leont'ev A. V. and Popov S. N.** Experience of practical application of measuring hydraulic fracturing: *Journal Mining*, 2003, no. 3, pp. 37–43. (in Russian) [**Леонтьев А. В., Попов С. Н.** Опыт практического применения измерительного гидроразрыва. — *Горн. журн.* — 2003. — № 3. — С. 37–43.]
8. **Rubtsova E. V. and Skulkin, A. A.** Hydraulic fracturing stress measurement in underground salt rock mines at Upper Kama Deposit, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 28 March 2018, vol. 134, Issue 1, 012049.
9. **Rubtsova E. V.** Structural features of the well probes for performing measuring hydraulic fracturing, *Interexpo GEO-Siberia, Novosibirsk, Interexpo GEO-Siberia. XIV International. Scientific Conference, 23–27 April 2018, Proceedings to the International Scientific Conference “Subsoil. Mining. Trends and technologies of prospecting, exploration of mineral deposits. Economy. Ecology”*, 2018, pp. 194–198. (in Russian) [**Рубцова Е. В.** О конструктивных особенностях скважинных зондов для выполнения измерительного гидроразрыва // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь. “Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология”*: сб. материалов Междунар. науч. конф. Т. 5. — Новосибирск: СГУГиТ, 2018. — С. 194–198.]
10. **Pat.** for invention RUS 2320870, Leont'ev A.V., Lekontsev Yu. M., Rubtsova, E. V. Device for hydraulic fracturing of rocks in the borehole [**Пат.** 2320870 РФ. Устройство для гидроразрыва пород в скважине / А. В. Леонтьев, Ю. М. Леконцев, Е. В. Рубцова, заявл. № 2006141430/03; 23.11.2006 // *Опубл. в БИ.* — 2008. — № 9.]
11. **Pat.** for invention RUS 2433259, A. V. Leont'ev, Yu. M. Lekontsev, E. V. Rubtsova, Device for hydraulic fracturing of rocks in the borehole [**Пат.** 2433259 РФ. Устройство для гидроразрыва пород в скважине / А. В. Леонтьев, Ю. М. Леконцев, Е. В. Рубцова заявл. № 2010116328/03; 23.04.2010 // *Опубл. в БИ.* — 2011. — № 31.]
12. **Copyright** certificate USSR 877006, M. V. Kurlenya, V. K. Aksenov, N. S. Lavrov, Yu. M. Volkov, O. I. Kyutt, R. Yun Device for hydraulic fracturing in boreholes [**А. с.** 877006 СССР. Устройство для гидроразрыва скважин / М. В. Курленя, В. К. Аксенов, Н. С. Лавров, Ю. М. Волков, О. И. Кютт, Р. Юн заявл. № 2875440/22-03; 25.01.1980 // *Опубл. в БИ.* — 1981. — № 40.
13. **Pat.** for invention RUS 2652407, A. V. Leont'ev, Yu. M. Lekontsev, E. V. Rubtsova. Device for hydraulic fracturing in boreholes [**Пат.** 2652407 РФ. Устройство для гидроразрыва скважин / А. В. Леонтьев, Ю. М. Леконцев, Е. В. Рубцова заявл. № 2017102821; 27.01.2017 // *Опубл. в БИ.* — 2018. — № 12.]