

УСТРОЙСТВО ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЩЕЛЕЙ-КОНЦЕНТРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРИКОНТУРНОЙ ЗОНЕ СКВАЖИН В КРЕПКИХ ПОРОДАХ

Аркадий Васильевич Леонтьев

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

Показано, что в целях расширения области практического применения метода направленного измерительного гидроразрыва необходимо создание технических средств, обеспечивающих нарезание инициирующих щелей на стенках скважин в массивах горных пород различной прочности. Предложена новая конструкция щелеобразователя, отличительной особенностью которого является использование твердосплавных резцов, выдвигаемых в процессе нарезания щелей по нормали к оси устройства. Приведение устройства в рабочее состояние осуществляется за счет нормированного его перемещения с упором в забой скважины. Габаритные размеры щелеобразователя позволяют использовать его в скважинах алмазного бурения калибра 76 мм. Устройство предназначено для создания щелей-концентраторов напряжений в приконтурной зоне скважин в крепких породах с коэффициентом 5–8 по шкале М.М. Протоdjeяконова.

Ключевые слова: скважина, приконтурная зона, измерительный гидроразрыв, щелеобразователь, крепкие породы, твердосплавный резец

DEVICE FOR CREATING SLOTS-VOLTAGE CONCENTRATORS IN THE BOUNDARY AREA OF WELLS IN FINE ROCKS

Arkady V. Leont'ev

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

It is shown that in order to expand the field of practical application of directional measuring hydraulic fracturing, it is necessary to create technical means that provide cutting of initiating slots on the walls of boreholes in rock masses of different strength. A new slotter design is proposed, the distinctive feature of which is using carbide cutters that are extended during cutting slots along the normal to the device axis. The device is brought into operation due to its normalized movement tagging the bottom. The slotter dimensions allow using it in diamond drill holes of 76 mm diameter. The device is designed to create stress concentrator slots in adjoining zones of boreholes in hard rocks with a coefficient of 5–8 according to M. M. Protodyakonov's scale.

Keywords: borehole, adjoining zone, measuring hydraulic fracturing, slotter, hard rocks, carbide cutter

В мировой практике геомеханических исследований значительная роль отводится экспериментальному определению напряжений, действующих в массиве горных пород, и их изменениям в процессе добычи полезных ископаемых. К настоящему времени предложено порядка двадцати методов контроля напряжений в натуральных условиях [1, 2]. К числу наиболее активно развиваемых в последние годы относится метод измерительного гидроразрыва [3-13]. Реализация метода возможна в трех вариантах: как гидроразрыв добротной (без трещин) скважины (HF), как гидравлический тест скважины с существующей трещиной природного характера (НТПФ), а также в варианте направленного гидроразрыва, когда на стенках скважины искусственно создаются инициирующие щели с определенной ориентацией [5, 14-17]. Наиболее перспективными являются способы расчета компонент действующих в массиве напряжений по данным направленного гидроразрыва в разноориентированных скважинах [18, 19].

Технология проведения тестов направленного гидроразрыва включает бурение скважины на глубину до 10 – 12 метров, нарезание инициирующей щели на выбранном участке скважины, герметизацию этого участка специальным пакерным устройством (зондом) с последующим нагнетанием рабочего флюида в межпакерное пространство вплоть до достижения разрыва породы. Предполагается, что если изолированный участок скважины содержит заранее выполненную продольную или поперечную щель-концентратор напряжений, трещина гидравлического разрыва на небольшом расстоянии от поверхности скважины сохраняет заданное направление. При этом процедура интерпретации экспериментальных данных существенно упрощается.

К настоящему времени опыт практического применения направленного гидроразрыва при исследовании полей напряжений в нетронутым массиве на отечественных горно-рудных предприятиях достаточно ограничен. Одним из вопросов, который требует особого внимания, является создание щелеобразователей, обеспечивающих реализацию метода направленного измерительного гидроразрыва в породах различной прочности.

Выполненный обзор способов и оборудования для формирования щелей-концентраторов напряжений в стенках скважин показал, что основное внимание разработчиков сосредоточено на создании устройств для технологий направленного гидроразрыва в целях дегазации, разупрочнения горного массива, а также для повышения продуктивности скважин при термошахтной добыче тяжелой нефти [20]. Устройства, прошедшие испытания в шахтных условиях, предназначены для применения только в породах мягких и средней прочности [21].

Для выполнения направленного измерительного гидроразрыва в ИГД СО РАН разработан щелеобразователь, обеспечивающий нарезание поперечных инициирующих щелей в соляном массиве. Устройство было успешно использовано в экспериментах на калийных рудниках Верхнекамского месторождения [22]. Иницирующие щели выполнялись в вертикальных скважинах диаметром 76 мм на глубине порядка 10 м от контура подземной выработки. Прочность породы на разрыв в местах

испытания составляла 2.5-3.8 МПа. Однако следует отметить, что разработанный щелеобразователь не предназначен для применения на более прочных породах.

Таким образом, в целях расширения области практического применения метода направленного измерительного гидроразрыва необходимо создание технических средств, обеспечивающих нарезание инициирующих щелей на стенках скважин в массивах прочностью до 80 ед. по шкале проф. М.М. Протодьяконова.

Одной из таких разработок является предлагаемая конструкция щелеобразователя (рис. 1). Устройство предназначено для нарезания поперечных инициирующих щелей в скважинах диаметром 76 мм в крепких породах. Передняя крышка 1 устройства снабжена стержнем 2 для упора в забой. Длина стержня определяется с учетом выбранного места выполнения щели и расстояния до забоя. В собранном виде устройство досылается в скважину 3 с помощью буровых штанг, соединение с которыми обеспечивает переходник 4. Устройство приводится во вращение. В процессе вращения в рабочую камеру 5 подается жидкость под давлением, при этом происходит движение поршня 7 гидроцилиндра 6, который толкает разжимные плунжеры 9, что в свою очередь вызывает перемещение ползушек 11 с резцами 12 до контакта с поверхностью скважины. Три резца, твердосплавные, либо с алмазным напылением, расположены равномерно в сечении устройства через 120 градусов и прочно закреплены в ползушках. Плавность выдвигания резцов и степень их перемещения регулируется давлением рабочей жидкости. В конце операции подача давления прекращается и поршень гидроцилиндра под действием возвратной пружины 8 перемещается в исходное состояние. Сопряжение ползушек с раздвижным плунжером выполнено по схеме ласточкиного хвоста, поэтому при движении поршня также в исходное состояние возвращаются резцы.

Использование для выдвигания резцов разжимного плунжера с наклонными пазами в виде ласточкиного хвоста обеспечивает повышенную жесткость конструкции для нарезания щелей в крепких породах, а также надежный возврат резцов в исходное состояние после окончания процесса резания. Кроме того, приведение резцов в рабочее состояние в нормальном по отношению к оси скважины направлении позволяет обеспечить постоянство углов резания и способствует повышению эффективности процесса нарезания инициирующей щели.

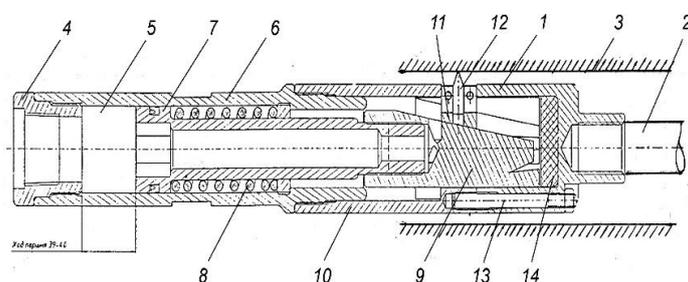


Рис. 1. Схема устройства для создания поперечных щелей в стенках скважины (резцы раздвинуты):

1 – крышка передняя; 2 – стержень; 3 – контур скважины; 4 – переходник; 5 – рабочая камера; 6 – гидроцилиндр; 7 – поршень; 8 – пружина возвратная; 9 – плунжер разжимной; 10 – корпус; 11 – ползушка; 12 – резец; 13 – болт стяжной, 14 – упор

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). *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* – 2003. – № 40. – pp. 1012-1020.
2. Леонтьев А.В., Попов С.Н. Опыт практического применения измерительного гидроразрыва. М: Горный журнал. –2003. – № 3. – С. 37-43.
3. Joong-Ho Synn, Chan Park, Yong-Bok Jung, Choon Sunwoo, Ki-Seog Kim, Si-Young Choi, Myung-Kyu Song, Il-Jae Shin, Jonny Rutqvist. Integrated 3-D stress determination by hydraulic fracturing in multiple inclined boreholes beneath an underground cavern. // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 75, 44-55 (2015).
4. Chuan-cheng Zhang, Qing-hui Jiang, Xiang He. Gang Liu. Applications of Hydraulic Fracturing Method in Measurement of in-situ Railway Tunnel Stress // *Electronic Journal Geotechnical Engineering*. 18, 2851-2862 (2013).
5. Ratigan J.L. The Use of the Fracture Reopening Pressure in Hydraulic Fracturing Stress Measurements. *Rock Mech. Rock Engng.* 25 (4), 225-236 (1992).
6. Yokoyama T., Sakaguchi K., Ito T. Re-Opening and Shut-in Behaviors under a Large Ratio of Principal Stresses in a Hydraulic Fracturing Test. *Symposium of the International Society for Rock Mechanics. Proceeding Engineering*. 191, 862-868 (2017).
7. Jalali M.R., Gischig V., Doetsch J., Krietsch H., Amann F. Mechanical, Hydraulic and Seismological of Crystalline Rock as a Response to Hydraulic Fracturing at the Grimsel Test Site. *ARMA. 51st U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*. San Francisco, California, USA (2017).
8. Krietsch H, Gischig V., Evans K., Doetsch J., Dutler N.O., Valley B., Amann F. Stress Measurements for an In Situ Stimulation Experiment in Crystalline Rock: Integration of Induced Seismicity, Stress Relief and Hydraulic Methods. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. V 52. Issue 2, pp. 517-542 (2019).
9. Ask D. New developments in the integrated stress determination method and their application to rock stress data at the Äspö HRL, Sweden. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* Vol. 43. pp. 107-126. (2016).
10. Bjarnason B, Leijon B, Stephansson O. The Bolmen project: rock stress measurements using hydraulic fracturing and overcoring techniques. *Tunnelling Underground Space Technology*. Vol. 3. pp. 305-316. (1988).
11. Yokoyama T., Sano O., Hirata F., Ogawa K., Nakayama Y., Ishida N., Mizuta Y. Development of borehole-jack fracturing technique for in situ stress measurement. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* Vol. 67, pp. 9-19 (2014).
12. Азаров А.В., Курленя М.В., Сердюков С.В., Патутин А.В. Особенности развития трещины гидроразрыва вблизи свободной поверхности в изотропной среде // *ФТПРПИ*. – 2019. – № 1. – С. 3-11.
13. Сердюков С.В., Курленя М.В., Патутин А.В.: К вопросу об измерении напряжений в породном массиве методом гидроразрыва // *ФТПРПИ*. – 2016. – № 6. – С. 1-10.
14. Пат. 2522677 РФ. Способ направленного гидроразрыва массива горных пород (приоритет от 27.09.2012) / С.В. Сердюков, А.В. Патутин, А.С. Сердюков, Т.В. Шилова // *Опубл. в БИ*. – 2014. – № 20.
15. Makówka J. Podstawy metody określania naprężeń głównych z wykorzystaniem ukierunkowanego hydroszczelinowania skał (Basis of principal stresses determination method using directional hydraulic hydrofracturing of rocks – in Polish). *Prace Naukowe GIG nr 868*. Katowice, 2006.
16. Рубцова Е.В., Скулкин А.А. Развитие методических основ измерительного гидроразрыва // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2013. – № 5. – С. 188-191.
17. Rutqvist J., Tsang Chin-Fu, Stephansson O. Uncertainty in the maximum principal stress estimated from hydraulic fracturing measurements due to the presence of the induced fracture // *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* – 2003. – № 40. – pp. 107-120.
18. Mizuta Y., Sano O., Ogino S., Katou H. Three dimensional stress determination by hydraulic fracturing for underground excavation design // *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* – 1987. – Vol. 24. – pp. 15-29.
19. Synn J.H., Park C., Jung Y.B., Sunwoo C., Kim K.S., Choi S.Y., Song M.K., Shin I.J., Rutqvist J. Integrated 3-D stress determination by hydraulic fracturing in multiple inclined boreholes beneath an underground cavern. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* – 2015. – № 75. – pp. 44-55.

20. Рубцова Е.В. О способах создания щелей-концентраторов напряжений в приконтурной зоне скважины // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2019. – Т. 2. – № 4. – С. 274–281.
21. Леконцев Ю.М., Леонтьев А.В. Устройство для создания иницирующих щелей в стенках солевых скважин // Сб. материалов XII Международного научного конгресса и выставки Интерэкспо «ГЕО-Сибирь 2016» – Новосибирск: – Изд-во СГУГиТ. – Т 3. – С. 181-184.
22. Леонтьев А.В., Рубцова Е.В., Скулкин А.А. Экспериментальное определение напряжений в окрестности подземных выработок на калийных рудниках г. Соликамска // Геомеханические поля и процессы: экспериментально-аналитические исследования формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горнотехнических и природных системах – Новосибирск: Изд-во СО РАН, – 2018. – С. 95-106.

© А. В. Леонтьев, Е. В. Рубцова, 2021