



**ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЯ ШАРОВЫХ ПОЛОСТЕЙ
ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОДНОГО МАССИВА**

Н. Г. Кю

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: Ku.nik1945@mail.ru,
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Рассмотрены конструктивные особенности и принципы работы образателей шаровых полостей в породном массиве через скважины. Предложено техническое решение формирования сферических полостей и показано преимущество его использования для оценки напряженного состояния породного массива методом гидравлического разрыва горных пород по сравнению с другими средствами.

Шаровая полость, резание горной породы, скважина, форма резцов, алмазные вставки

**FEATURES OF CREATING BALL CAVITY GENERATOR
TO ESTIMATE ROCK MASS STRESS STATE**

N. G. Kyu

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: Ku.nik1945@mail.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

Design features and operating principles of ball cavity generators in the rock mass through boreholes are considered. A technical solution to the formation of ball cavities is proposed and the advantage of its use for estimating the stress state of the rock mass by hydraulic fracturing method is shown in comparison with other methods

Ball cavity, rock cutting, borehole, cutter shape, diamond inserts

В ИГД СО РАН предложен и совершенствуется метод оценки напряженного состояния породного массива по размерам и ориентации трещины, формируемой разрывом горной породы из скважины через шаровую полость [1]. Метод основан на известных из теории хрупкого разрушения закономерностях гидравлического разрыва горных пород. Трещина возникает в плоскости минимальных напряжений и затем, не изменяя своей ориентации, развивается преимущественно в направлении максимальных сжимающих напряжений. Поэтому в данном случае по соотношению размеров и ориентации трещины можно определять направления главных напряжений во вмещающей ее среде, а по давлению ее закрытия — численные значения минимальных напряжений [2]. Преимуществом метода является возможность оценивать ориентацию всех главных напряжений из одного места, что существенно сокращает объем необходимых измерений и повышает достоверность получаемой информации.

Для реализации метода разработано устройство для образования сферических расширений в скважинах [3]. В ходе исследования его работы выявлены недостатки, которые заключаются в следующем. Устройство способно прорезать сферическую полость лишь на значительном расстоянии от забоя скважины, что при использовании его для оценки напряженного состояния пород в горных массиве снижает достоверность получаемой информации. Кроме того, оно обладает относительно высокой трудоемкостью эксплуатации из-за необходимости перед работой

устанавливать режущие органы в рабочее положение, взводить пружины и фиксировать их стопорной пластиной и гайкой с выступами. Извлечение этого устройства из скважины возможно лишь после полного создания сферической полости, когда узел с рабочими органами повернется на 180° . Поэтому дальнейший поиск технических решений был направлен на повышения эффективности работы устройства за счет снижения трудоемкости его эксплуатации, создания шаровой полости вблизи забоя скважины и возможности извлечения из скважины вне зависимости от стадии формирования полости.

Целесообразность совершенствования образователей шаровых полостей обусловлена также необходимостью их применения для реализации новых решений, основанных на нетрадиционных принципах, обеспечивающих прямое измерение напряжений в породном массиве без предварительного определения прочностных свойств горных пород в лабораторных условиях [4]. Рассмотрим образователь шаровых полостей, который формирует ее вставками (резцами), установленными на вращающихся соосных эллипсах, сжимаемых вдоль больших осей до преобразования их в окружности (рис. 1). При этом периметр эллипса (длина образующей) при сжатии его вдоль длинной оси не изменяется и оказывается равным длине окружности.

Периметр эллипса можно оценить через его полуоси по формуле:

$$P = 4 \frac{\pi ab + (a - b)^2}{a + b}, \quad (1)$$

где P — периметр эллипса; a, b — большая и малая полуось эллипса.

Тогда

$$2\pi R = 4 \frac{\pi ab + (a - b)^2}{a + b}, \quad (2)$$

где R — радиус окружности; $2\pi R$ — длина окружности.

Для того, чтобы устройство могло перемещаться вдоль скважины, малая полуось эллипса b должна быть меньше радиуса скважины. Ее рассчитывают исходя из радиуса скважины, а в выражениях (1) и (2) считают известной. Преобразуя (2) и решая его относительно полуоси a , имеем:

$$a = \frac{\pi R + 4b - 2\pi b + \sqrt{(4\pi b - 4b - \pi R)^2 - 8b(2b - \pi R)}}{4}. \quad (3)$$

Для преобразования эллипса в окружность его нужно сжать вдоль оси $2a$ на величину

$$\Delta a = 2(a - R). \quad (4)$$

По найденному значению Δa определяют длину прорезей 9 и расстояние от выступа 19 до стакана 13 для устройства (рис. 1).

Особенность устройства заключается также и в том, что рабочие органы (ставки) выдвигаются из корпуса через выполненные в нем продольные прорезы, которые контактируют с упругими пластинами и, следовательно, воздействуют на них. Благодаря этому осью вращения рабочих органов становится сам корпус (рис. 2), обладающий максимально большим диаметром, из-за чего удельные нагрузки на упругие пластины в местах их пересечения практически отсутствуют, что повышает надежность работы устройства.

Целесообразно снабдить устройство пружиной с возможностью ограниченного сжатия, которую следует разместить между рабочими органами и узлом связи с приводом вращения корпуса вокруг продольной оси. Тогда нагрузка на рабочие органы ограничивается силой сжатия пружины и не зависит от усилий на приводе вращения корпуса вокруг продольной оси. Для вращения устройства можно использовать практически любые буровые установки с

приводом для вращения и подачи буровых штанг без опасения возникновения запредельных нагрузок на рабочие органы. Это позволяет с помощью существующего на горных предприятиях оборудования механизировать процессы расширения скважин не только с целью оценки напряженного состояния пород в горном массиве, но и для повышения эффективности проходки выработок. Устройство с пружиной, ограничивающей нагрузку на рабочие органы, представлено на рис. 3. В нем ограничение сжатия упругих пластин задается размерами стакана 13, а длина прорезей 9 выполняется исходя из требований к усилию сжатия пружины 7.

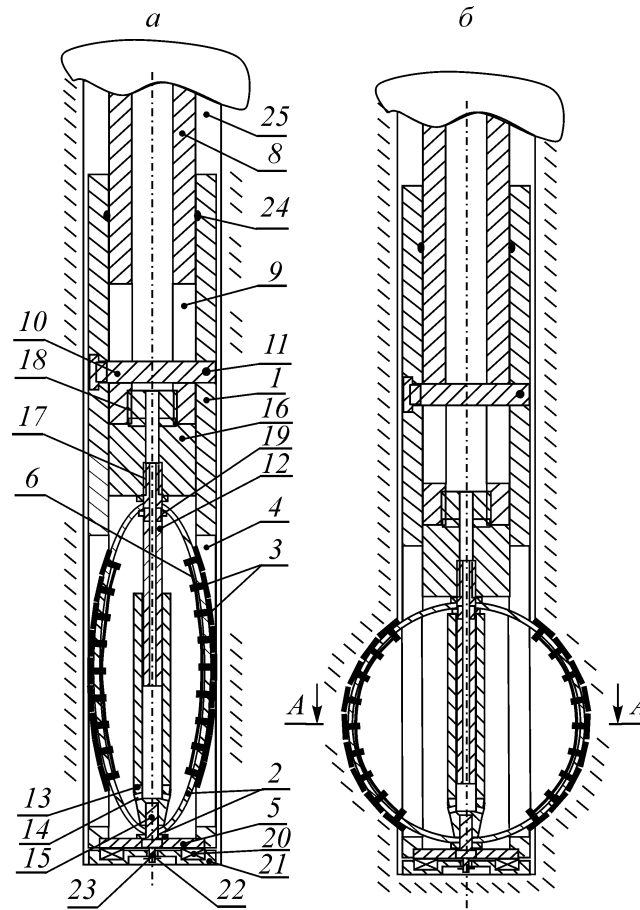


Рис. 1. Образователь шаровых полостей— в исходном положении (а) и в момент окончания формирования полости (б): 1 — корпус; 2 — упругие пластины; 3 — вставки; 4 — продольные прорези; 5 — опора; 6 — проволока; 8 — труба; 9 — продольные прорези; 10 — стержень; 11 — шпилька; 12 — трубка; 13 — стакан; 14 — отверстия; 15 — выступ; 16 — втулка; 17 — резьба; 18 — резьба; 19 — выступ; 20 — подшипник; 21 — обойма; 22 — шпилька; 23 — выступ; 24 — кольцо; 25 — скважина

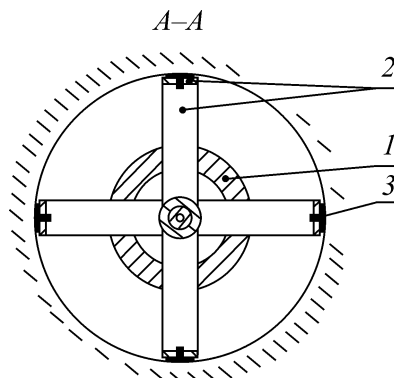


Рис. 2. Разрез А-А на рис. 1: 1 — корпус; 2 — упругие пластины; 3 — вставки

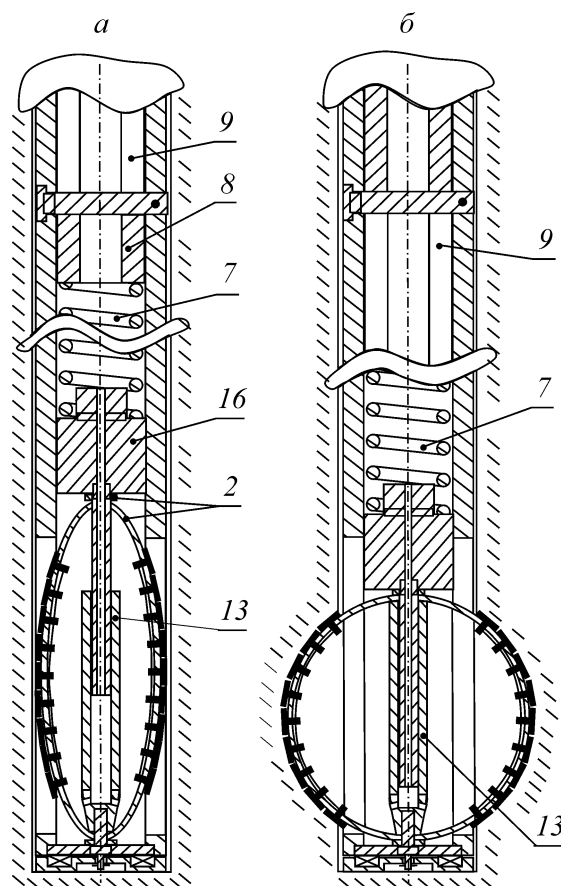


Рис. 3. Образователь шаровых полостей с ограничением усилий на рабочих органах: *a* — в исходном положении; *б* — в момент окончания формирования полости; 2 — упругие пластины; 7 — пружина; 8 — труба; 9 — продольные прорезы; 13 — стакан; 16 — втулка

На поверхности сферического расширения скважины не должно быть концентраторов напряжений, влияющих на ориентацию плоскости гидравлического разрыва породного массива, например, полос, оставленных рабочими органами (резцами) устройства. Наиболее просто это условие достигается с помощью алмазного резания горной породы. Поэтому в образователе шаровых полостей поверхности вставок, взаимодействующих со стенками скважины, армируют высокоабразивным материалом, содержащим алмазы (алмазный порошок). Для снижения затрат на изготовление образователя, рассчитанного на создание заданного количества шаровых полостей без проведения ремонтных работ, толщину абразивного слоя вставок выполняют разной в зависимости от их местонахождения на упругих пластинах. Стремятся, чтобы к концу формирования требуемого количества шаровых полостей абразивные поверхности всех вставок были полностью истерты. Это снижает удельные расходы на создание полостей и эксплуатацию образователя. Толщину указанного слоя определяют из выражения:

$$S = K \left[R \sin \left(\frac{\pi}{2} - \frac{L}{R} \right) - r \right],$$

где S — толщина слоя материала; K — постоянный коэффициент; R — радиус сферы; L — расстояние на упругих пластинах от точки их пересечения с малой осью эллипса до места установки вставки; r — радиус скважины.

ВЫВОДЫ

Разработан образователь шаровых полостей, с помощью которого реализуется идея формирования шаровой полости алмазными вставками, установленными на вращающихся соосных эллипсах, сжимаемых вдоль больших осей до преобразования их в окружности.

Преимущество предложенного устройства в сравнении с другими известными техническими решениями заключается в повышении эффективности его работы за счет снижения трудоемкости эксплуатации, создания шаровой полости вблизи забоя скважины, возможности извлечения из скважины вне зависимости от стадии формирования полости.

Два варианта указанного устройства обеспечивают его использование в качестве ручного инструмента, а также в качестве составной части механизированного комплекса для проходки шпуров, необходимых, например, при взрывной отбойки горных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Author's certificate** 1209863 USSR. Method of determining the stress state of rocks / S. N. Popov, M. V. Kurlenya, O. I. Chernov, N. G. Kyu, E. I. Shemyakin, R. Young; Byull. Izobret., 1986, no. 5 [Авт. св. 1209863 СССР. Способ определения напряженного состояния горных пород / Попов С. Н., Курленя М. В., Чернов О. И., Кю Н. Г., Шемякин Е. И., Юн Р. // Оpubл. в БИ. — 1986. — № 5.]
2. **Oparin V. N., Sashurin A. D., Kulakov G. I. et al.** Modern geodynamics of the rock massif of the upper part of the lithosphere: sources, parameters, impact on subsoil use objects, *otv. ed.* M. D. Novopashin, Novosibirsk, Publishing House Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 2008, pp. 322–348 [Опарин В. Н., Сашурин А. Д., Кулаков Г. И. и др. Современная геодинамика массива горных пород верхней части литосферы: истоки, параметры, воздействие на объекты недропользования / отв. ред. М. Д. Новопашин. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. — С. 322–348.]
3. **Author's certificate** 1307053 USSR, МКИ E21B 7/28 Device for the formation of spherical extensions in wells / O. I. Chernov, M. V. Kurlenya, N. G. Kyu, S. N. Popov, G. V. Cheremnykh, E. I. Shemyakin, L. N. Shepelev R. Young; applicant and patentee Institute of mining SB RAS no. 3926668, Byull. Izobret., no. 16 [Авт. св. 1307053 СССР, МКИ E21B 7/28 Устройство для образования сферических расширений в скважинах / О. И. Чернов, М. В. Курленя, Н. Г. Кю, С. Н. Попов, Г. В. Черемных, Е. И. Шемякин, Л. Н. Шепелев, Р. Юн // Оpubл. в БИ. — 1987. — № 16.]
4. **Kyu N. G.** Assessment of the stress state of rock mass by its interaction with the ball embedded in it, *Fundamental and Applied Mining Science*, 2017, vol. 4, no. 3, pp. 86–90 [Кю Н. Г. Оценка напряженного состояния породного массива по его взаимодействию с внедренным в него шаром // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2017. — Т. 4. — № 3. — С. 86–90.]