

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФЛЮИДРАЗРЫВА ПУТЕМ ЕГО АДАПТАЦИИ К ПАРАМЕТРАМ ВМЕЩАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Николай Георгиевич Кю

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, доктор технических наук, e-mail: Ku.nik1945@mail.ru

Обсуждается принцип формирования ориентированной трещины вытеснением в нее из скважины пластичного вещества в режиме, обеспечивающим совпадение частоты воздействия на пластичное вещество и собственной частоты колебаний вмещающей среды. Приведено техническое решение адаптации режима нагнетания пластичного вещества в формируемую трещину к изменяющимся параметрам вмещающей ее среды. Представлены средства реализации указанного технического решения и результаты инженерного расчета их основных узлов.

Ключевые слова: разрыв горной породы, пластичное вещество, скважина, колебания, адаптация.

IMPROVING THE EFFICIENCY INTO THE IMPACT FLUID FRACTURING BY ADAPTING IT TO THE PARAMETERS OF THE ENCLOSING ENVIRONMENT

Nikolai G. Kyu

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, D. Sc., e-mail: Ku.nik1945@mail.ru

The principle of formation of the oriented crack by displacement of a plastic substance from the well in the mode providing coincidence of frequency of influence on a plastic substance and natural frequency of oscillations of the host medium is discussed. The technical solution of adaptation of the mode of injection of a plastic substance into the formed crack to the changing parameters of the host medium is given. The means of implementation of this technical solution and the results of engineering calculations of their main components are presented.

Key words: rock rupture, plastic substance, well, oscillations, adaptation.

В ИГД СО РАН предложен и исследуется принцип разрушения горных пород, суть которого состоит в формировании ориентированных трещин путем вытеснения в них пластичных веществ из скважин или шпуров плунжерами [1]. Первые технические решения по реализации указанного принципа заключаются в воздействии на поданное в скважину пластичное вещество ударной нагрузкой через штангу (плунжер) [2, 3]. Такие технические решения сравнительно легко позволяют достигать усилия на штангу, достаточные для преодоления ею сопротивления вытеснению пластичного вещества из скважины в формируемую трещину. Вместе с этим их применение приводит к большой затрате энергии, не связанной непосредственно с разрывом горной породы. Большая часть энергии удара расходуется на нагрев мест передачи ударной нагрузки от штанги пластичному веществу и формирование ударных волн во вмещающей среде.

Кроме этого, из-за малой длительности ударной нагрузки, слабо проявляется способность пластичного вещества создавать эффект гидравлического усиления, повышающего эффективность разрыва горных пород.

Известно, что при решении задач, аналогичных рассматриваемой в настоящей работе, например, по внедрению сваи в грунт [4], иногда целесообразно ударную нагрузку заменять вибрационным воздействием на объект. При этом наибольшая эффективность (максимальный коэффициент полезного действия) достигается в случае совпадения вынужденных и собственных частот гармонических колебаний объекта (возникновения резонанса). Однако в настоящей работе вмещающая среда по мере роста формируемой в ней трещины изменяет частоту собственных колебаний, что существенно усложняет поддержания режима резонансного воздействия на нее.

В рассматриваемом далее способе предложено вытеснение пластичного вещества из скважины осуществлять в режиме, который адаптируется к изменяющейся собственной частоте колебаний вмещающей среды с растущей в ней трещиной. Для реализации такого режима предложено использовать соленоид, взаимодействующий со стальной (железной) штангой, на входящем в соленоид конце которой уставлен магнит (рисунок) [5]. Соленоид выполняет две функции. Он используется для подъема штанги за счет ее втягивания при пропускании через его тока и слежения за перемещением штанги по изменению напряжения на концах его витков, возникающего в результате продольного движения в нем магнита.

Представленная на рис. система 8 управления штангой (далее – система 8) работает следующим образом. Нажатием находящейся в ней кнопки подается напряжение на соленоид, от чего штанга поднимается. После отпускания кнопки штанга под действием собственного веса падает, а система 8 переходит в режим слежения. При изменении направления движения штанги с опускания на подъем система 8 переключается с режима слежения на режим подачи на катушку соленоида импульса напряжения с длительностью меньшей, чем половина периода колебания штанги, благодаря чему к штанге прикладывается дополнительное усилие в направлении ее движения. Затем система 8 вновь переходит в режим слежения до следующего изменения направления движения штанги с опускания на подъем. В результате осуществляется раскачивание штанги вне зависимости от ее частоты колебаний, обусловленной взаимодействием с вмещающей растущую трещину средой

Согласно результатам проведенных исследований [2] общей закономерностью разрыва хрупкой среды флюидами с различными свойствами является обратная пропорциональность давления в месте нагнетания флюида корню квадратному расстояния от оси скважины до границы трещины.

Математически это выражается как

$$P = P_0 \sqrt{\frac{l_0}{l_{\text{тр}}}}, \quad (1)$$

где P – давление флюида в месте его нагнетания, при котором развивается трещина;

l_0 – расстояние от оси скважины до границы начальной трещины, которая начинает расти при достижении давления флюида в месте его нагнетания значения P_0 ;

$l_{тр}$ – текущее значение расстояния от оси скважины до границы растущей трещины.

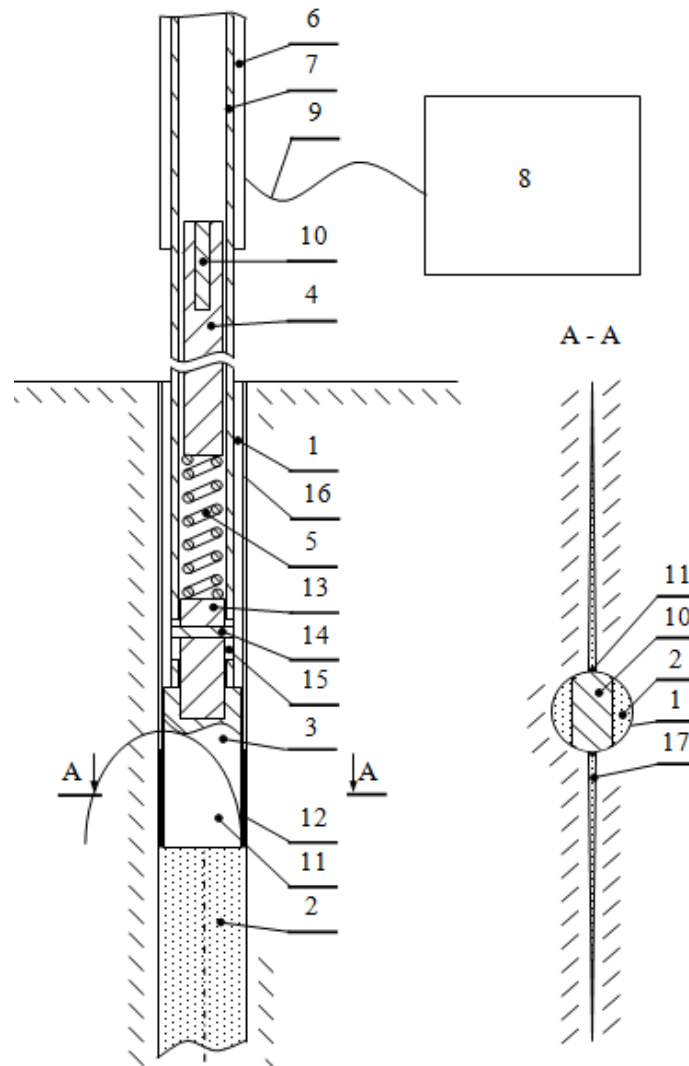


Схема разрыва горной породы пластичным веществом:

1 – скважина; 2 – пластичное вещество; 3 – рабочий орган; 4 – стальная штанга; 5 – пружина; 6 – соленоид; 7 – труба из немагнитного материала; 8 – система управления соленоидом; 9 – кабель; 10 – магнит; 11 – клин; 12 – твердосплавные вставки; 13 – стержень; 14 – штырь; 15 – прорези; 16 – бороздки; 17 – трещина

В соответствии с формулой (1) для разрушения горной породы необходимо и достаточно, чтобы устройство создавало в области рабочего органа (рисунок) давление пластичного вещества, достаточное для образования в стенках шпура 1

начальной трещины, для дальнейшего развития которой затем требуется постоянно убывающее давление.

За счет твердосплавных вставок в представленном на рис. устройстве в стенках скважины образуются бороздки, в которых концентрируются напряжения, оцениваемые коэффициентом по формуле [7]

$$K = 1 + 2 \sqrt{\frac{r_{\text{шп}}}{r_3}}, \quad (2)$$

где K – коэффициент концентрации напряжений;

$r_{\text{шп}}$ – радиус скважины;

r_3 – радиус кривизны (закругления) у вершин бороздок.

С учетом формулы (2) разрыв горной породы в способе происходит при условии

$$P_{\text{раз}} = \frac{\sigma_p}{1 + 2 \sqrt{\frac{r_{\text{шп}}}{r_3}}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{раз}}$ – давление, при котором возникает начальная трещина в рассматриваемом способе (представленном схемой на рисунке);

σ_p – прочность горной породы на растяжение.

Прочность горной породы на растяжение σ_p для конкретного месторождения как правило является известной или определяется по стандартным методикам. Для наиболее прочных горных пород типа гранита и его аналогов σ_p не превышает 35 МПа. Радиус $r_{\text{шп}}$ скважины выбирают исходя из имеющегося бурового оборудования. Для добычи камня бурят скважину (шпур) радиусом, как правило, не превышающим 50 мм. Радиус r_3 кривизны у вершин бороздок выбирают с учетом геометрических параметров твердосплавных вставок и свойств горных пород или устанавливают в ходе предварительных экспериментов. При соответствующей заточке твердосплавных вставок радиус r_3 практически не превышает 0,2 мм.

Усилие F на рабочий орган, которое должно обеспечиваться в устройстве, оценивают по формуле (без учета силы на создание бороздок, которая здесь имеет сравнительно малое значение)

$$F \geq \pi \cdot r_{\text{шп}}^2 \cdot P_{\text{раз}} = \pi \cdot r_{\text{шп}}^2 \frac{\sigma_p}{1 + 2 \sqrt{\frac{r_{\text{шп}}}{r_3}}}. \quad (4)$$

Примем: $r_{\text{шп}} = 20$ мм или 0,02 м; $\sigma_p = 35$ МПа; $r_3 = 0,2$ мм. Подставляя принятые значения в формулу (4), получаем

$$F \geq 2000H. \quad (5)$$

Согласно принятому радиусу $r_{\text{шт}}$ скважины, выберем трубу с радиусом $r_{\text{тр}} = 18$ мм (0,018 м) и штангу с радиусом $r_{\text{шт}} = 15$ мм (0,015 м). При этом толщину стенок трубы примем равной 2,5 мм.

Условие (5) обеспечивается весом устройства, обуславливающего постоянную составляющую силы, действующей на рабочий орган, и колебаниями штанги, создающей переменную составляющую указанной силы. При этом постоянную составляющую указанной силы можно варьировать (увеличивать) в требуемых пределах установкой на конце трубы со стороны соленоида дополнительного груза (на рис. не показан) или воздействием на трубу дополнительным усилием, например, стрелой от самоходной машины, с помощью которой устройство подают в скважину.

Таким образом, приведенное обоснование возможности реализации способа для наиболее сложных условий (максимальной прочности горных пород и минимальной длины скважины) показывает его эффективность, обусловленную решением широкого спектра задач по безопасному и экологически чистому разрушению горных пород с малой энергоемкостью сравнительно простыми техническими средствами.

Предлагаемый способ позволяет через вертикальную скважину в пределах монолитной области породного массива или блока создавать трещину с заданной ориентацией неограниченных размеров. Это позволяет без дополнительных средств разрушения горных пород осуществлять разборку породного массива на составляющие его части по постельным трещинам, отстоящим друг от друга на расстоянии, например, исчисляемом десятками и более метрами, благодаря чему отпадает необходимость отделения блоков камня по дополнительным горизонтальным плоскостям. В результате снижается трудоемкость разборки породного массива, а также создаются условия для минимизации потерь природного камня и добычи блоков с размерами, недостижимыми известными средствами.

Выводы:

1. Адаптация режима нагнетания пластичного вещества к изменяющимся параметрам формируемой трещины обеспечивает совпадение вынужденной и собственной частоты колебаний вмещающей среды.
2. Предложенное техническое решение повышает эффективность разрушения горных пород за счет возможности резонансного воздействия на вмещающую их среду в независимости от размеров формируемой в ней трещины.
3. Целесообразно реализацию принципа адаптации воздействия на вмещающую среду с трещиной к ее собственной частоте колебаний осуществлять с использованием соленоида, взаимодействующего со стальной штангой, вытесняющей пластичное вещество из скважины в формирующую трещину.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кю Н. Г., Цыганков Д. А. О методе направленного разрушения горных пород пластичными веществами. – ФТПРПИ, 2003, № 6, с. 57–63.
2. Кю Н.Г. Особенности разрушения горных пород при флюидоразрыве пластичным веществом. – ФТПРПИ, 2011, № 4, с. 39–50.

3. Патент № 2131032 Российская Федерация, МПК E21C 37/02. Способ разрушения горных пород / Н. Г. Кю, О. И. Чернов; заявитель и патентообладатель ИГД СО РАН – № 97114211; заявл. 01.08.1007, опубл.27.05.1999.

4. Пат. 2167293 Российская Федерация, МПК E21C 37/02, Способ разрушения горных пород / Кю Н.Г., Фрейдин А.М., Чернов О.И.; заявитель и патентообладатель ИГД СО РАН – № 2000105728; заявл. 07.03.2000, опубл.20.05.20001.

5. Патент 2615544 Российская Федерация, МПК E02D 7/18, Вибропогружатель с изменяемым расстоянием между осями дебалансов /И.Г.Герцен; заявитель и патентообладатель Герцен Александра Игоревна – № 2016119732; заявл. 23.05.2016, опубл. 05.04.2017.

6. Кю Н.Г. Особенности разрушения горных пород при флюидоразрыве пластичным веществом. – ФТПРПИ, 2011, № 4, с. 39 – 50.

7. Займовский В.А. Трещина – враг металла – Квант, 1984, № 2, с. 6 – 12.

© Н. Г. Кю, 2020