

## О СПОСОБАХ СОЗДАНИЯ ЩЕЛЕЙ-КОНЦЕНТРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРИКОНТУРНОЙ ЗОНЕ СКВАЖИНЫ

*Екатерина Владимировна Рубцова*

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

Проведен анализ способов и оборудования для формирования щелей-концентраторов напряжений в стенках скважин с целью практической реализации метода направленного измерительного гидроразрыва. На основе выполненного обзора предложена классификация известных устройств по способу формирования инициирующей щели: механическое нарезание щели вращающимся режущим инструментом; вдавливание в стенки скважин твердосплавных инденторов; ударное воздействие с использованием пластического вещества; взрывание кумулятивных зарядов. Установлено, что по количеству технических решений, имеющих правовую защиту, и степени практической реализации наиболее распространенным является механический способ. Известные устройства обеспечивают создание щелей-концентраторов только в мягких породах и породах средней твердости. Сделан вывод о необходимости исследований и разработки новых способов и оборудования для создания инициирующих щелей, обеспечивающих выполнение направленного измерительного гидроразрыва в рудных массивах.

**Ключевые слова:** скважина, гидроразрыв, концентратор напряжений, щелеобразователь, щель, трещина, индентор.

## ON METHODS OF FORMING OF FISSURE STRESS CONCENTRATOR AT BORDER ZONE OF HOLE

*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

The analysis of methods and equipment for forming of fissure stress concentrators in the walls of holes for practical realization of method of directed measuring hydraulic fracturing is represented. Having based on carried out review the classification of known equipment by method of forming of initiating fissure such as mechanical cutting of fissure by spinning instrument, denting of hard-alloy indentors to hole walls, impact using plastic substance, explosion of cumulative charges is proposed. It is established that mechanical method is the most widespread by numbers of patented technical solutions and by rate of practical realization. Known equipment provides forming of fissure stress concentrators only in soft rocks and rocks of medium hardness. It is concluded that it is necessary to study and develop new methods and equipment for forming initiating fissures providing of realization of directed measuring hydraulic fracturing into ore solids.

**Key words:** hole, hydraulic fracturing, stress concentrator, presplitter, fissure, crack, indenter.

## ***Введение***

Одним из активно развиваемых методов экспериментальной оценки напряжений, действующих в массиве горных пород, является измерительный гидроразрыв. Разработанные в конце прошлого столетия классические методики расчета компонент напряжений по данным гидроразрыва в нескольких скважинах требуют учета соотношений вертикальной и горизонтальной составляющих поля напряжений, являются громоздкими и их практическая реализация в шахтных условиях весьма трудоемка [1, 2]. Наиболее перспективными являются методы расчета компонент действующих в массиве напряжений по данным направленного гидроразрыва в разноориентированных скважинах [3, 4]. Обеспечение заданной направленности трещины гидроразрыва может быть достигнуто путем создания в зоне межпакерного пространства концентраторов напряжений в виде продольных или поперечных по отношению к оси скважины щелей.

К настоящему времени опыт практического применения направленного гидроразрыва при исследовании полей напряжений в нетронутом массиве достаточно ограничен. В связи с этим в целях развития технологии и совершенствования технических средств для практической реализации метода направленного измерительного гидроразрыва целесообразно рассмотреть существующие способы и оборудование для создания щелей-концентраторов напряжений в приконтурной зоне скважин.

### ***Классификация технических средств для формирования щелей-концентраторов напряжений в стенках скважин***

Известные технические решения предлагается классифицировать по способу создания инициирующей щели (рис. 1).



Рис. 1. Классификация способов создания инициирующих щелей

По количеству технических решений, имеющих правовую защиту, и степени практической реализации наиболее распространенным является механический способ нарезания инициирующих щелей. Основным достоинством этого способа является возможность создания щелей практически любой формы без нарушения сплошности прилегающих пород, что не может быть достигнуто, например, с помощью взрывания кумулятивных зарядов [5]. Кроме этого стоимость и трудоемкость работ по нарезанию инициирующих щелей механическим способом невысока при возможности создания значительной глубины щели.

При механическом способе нарезания щели вывод резцов из корпуса устройства может осуществляться механическим или гидромеханическим способами.

В перспективе возможно применение таких способов создания инициирующих щелей, как гидравлический – струями высокого давления, термический – плазменным бурением и пр. [5].

По виду и ориентации создаваемой щели относительно оси скважины известные технические решения можно разделить на две группы: устройства для создания прямолинейных продольных щелей и устройства для создания кольцевых поперечных щелей-концентраторов напряжений.

### ***Средства для создания продольных щелей в стенках скважин***

Механические устройства для нарезания продольных щелей, разрабатываемые начиная с 60 гг. прошлого столетия, предназначались для создания в скважинах концентраторов напряжений в целях разупрочнения горных пород путем последующего гидродинамического или взрывного воздействия.

Условно, известные устройства можно разделить на две подгруппы:

- устройства, нарезающие продольные трещины от забоя скважины на всю длину введения устройства (резцы зафиксированы жестко);
- устройства, нарезающие продольные трещины на заданных интервалах скважин (снабжены механизмом вывода резца из корпуса).

Устройства первой подгруппы отличаются простотой конструктивного исполнения, однако область их применения ограничена. Для выполнения направленного гидроразрыва такие устройства не могут применяться, поскольку наличие продольных щелей в стенках скважин в местах прилегания пакерующих элементов делает невозможной герметизацию межпакерного интервала.

Устройства второй подгруппы, предназначенные для нарезания продольных щелей на заданных интервалах скважин, защищены многочисленным числом авторских свидетельств СССР и патентами РФ. Анализ показывает, что принципиальные отличия известных технических решений заключаются в различном конструктивном исполнении режущего органа, механизма вывода резцов из корпуса, распорных и других элементов. На рис. 2, в качестве примеров, приведены варианты конструктивного исполнения щелеобразователей

для нарезания продольных щелей (без описания составных элементов конструкций) [6–8].

### *Средства для создания поперечных щелей в стенках скважин*

Развитие и активное применение в угольных шахтах метода направленного гидроразрыва для управления труднообрушаемой кровлей и дегазации угольных пластов сделало востребованным в 80-90 годы прошлого столетия разработку механических устройств, обеспечивающих создание в стенках скважин и шпуров инициирующих щелей в плоскости перпендикулярной оси скважины. К настоящему времени в этой области получено большое количество патентов на изобретения РФ и полезные модели, например [9–14].

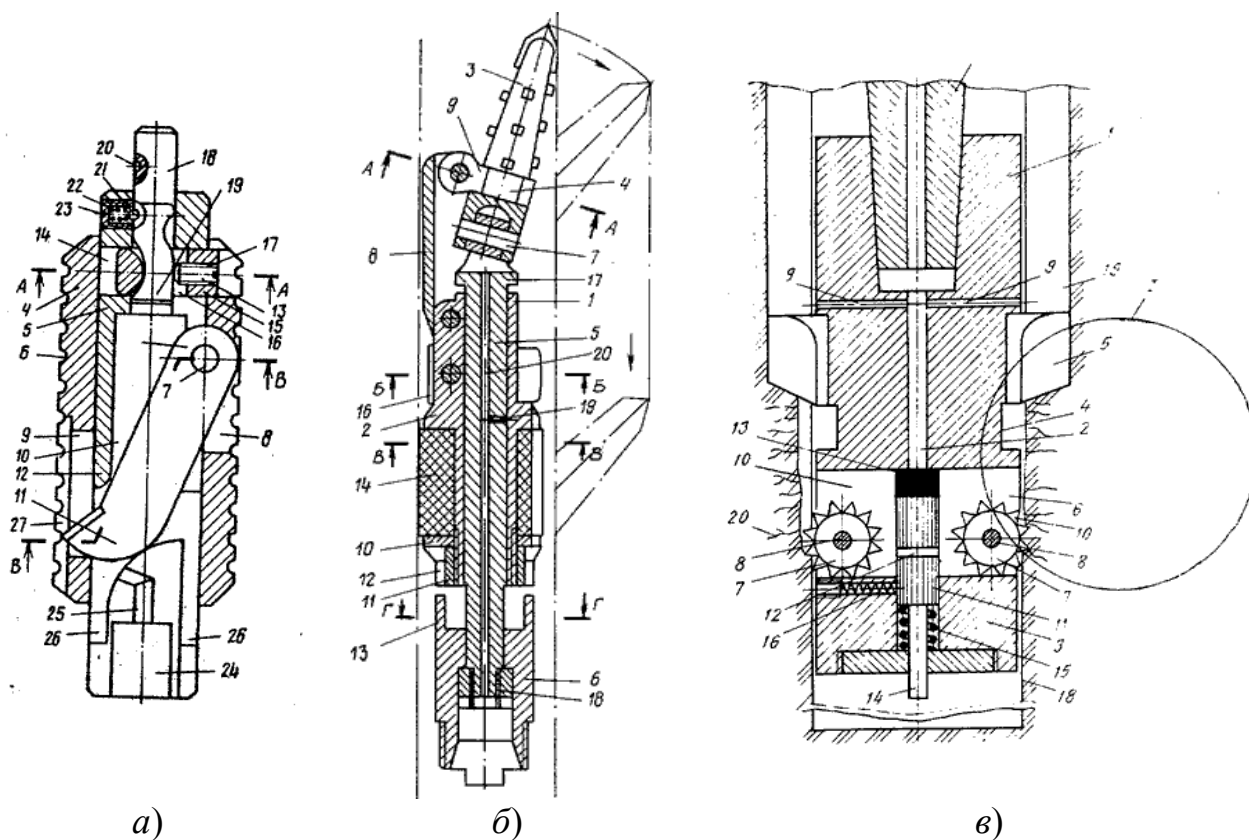


Рис. 2. Конструкции щелеобразователей для нарезания продольных щелей:  
а) А.с. СССР № 1641994; б) А.с. СССР № 1408067; в) А.с. СССР № 1408068

Рассмотрим технические решения, реализованные на практике и прошедшие испытания в шахтных условиях.

Для осуществления способа направленного гидроразрыва с целью дегазации угольных пластов и разупрочнения породного массива ИГД СО АН СССР (ИГД СО РАН) совместно с СКБ ПГ СО АН СССР разработаны и испытаны в условиях шахт Кузбасса щелеобразователи ЩП-90, ЩТ-90 и ЩВ-90,

предназначенные для нарезания кольцевых щелей в скважинах диаметром 90–100 мм [1, 15].

Щелеобразователь пружинный ЩП-90 выполнен в виде корпуса, в котором на осях, эксцентричных и параллельных оси щелеобразователя, установлены два режущих инструмента, армированные зубьями из твердого сплава. Механизм вывода режущих инструментов срабатывает при подаче устройства до упора в забой скважины. В конструкции использованы две винтовые пружины кручения для вывода и возврата в исходное положение режущих инструментов. Щелеобразователь ЩП-90 обеспечивает нарезание щели в забое диаметром до 185 мм. Щелеобразователь ЩТ-90 (тросовый) ввиду сложности конструкции не получил практического применения и следующей разработкой в этой линейке явился щелеобразователь винтовой ЩВ-90, основанный на гидромеханическом способе вывода режущих органов из корпуса. В конструкции предусмотрена установка трех режущих органов, расположенных под углом  $120^{\circ}$  относительно друг друга, что обеспечивает самоцентрирование щелеобразователя в скважине. Щелеобразователь ЩВ-90 обеспечивает нарезку кольцевых щелей на любом расстоянии вдоль скважины, начиная от забоя.

Для нарезания поперечных щелей в скважинах диаметром 39–46 мм в ИГД СО РАН разработаны механические щелеобразователи ЩМ-42, ЩМ-45 и ЩМ-45М, которые также испытаны в условиях шахт Кузбасса [16, 17]. Щелеобразователи устанавливаются на буровой штанге и вводятся в скважину буровым ставом до упора в забой. Под действием осевого усилия со стороны станка толкатель начинает поступательно вдвигаться в корпус, а режущие органы по направляющим уклонам выходят из корпуса через продольные окна и нарезают в стенках шпура иницирующую щель тарельчатой формы в плоскости перпендикулярной оси шпура. Изменение траектории движения режущих органов щелеобразователя с прямолинейной (ЩМ-45) на параболическую (ЩМ-45М) позволило увеличить диаметр нарезаемой иницирующей щели со 105 мм до 130 мм.

Для выполнения направленного гидроразрыва с целью исследования полей напряжений в соляном массиве в ИГД СО РАН разработан щелеобразователь, обеспечивающий нарезание поперечных иницирующих щелей глубиной до 25 мм в скважинах диаметром 76 мм. Устройство было успешно использовано в экспериментах на калийных рудниках Верхнекамского месторождения [18].

Отметим, что конструкции описанных выше устройств для нарезания поперечных кольцевых щелей не предназначены для применения в рудных массивах.

Способ создания иницирующей щели путем вдавливания в стенку скважины инденторов с последующим выполнением направленного гидроразрыва реализован в устройствах [19–20]. Следует отметить, что данные устройства не испытывались в шахтных условиях и заявленная авторами область их применения – для мягких пород и пород средней твердости.

Устройство для образования направленных трещин в скважине [19] предлагается использовать при управлении труднообрушаемой кровлей или при де-

газации угольного массива. Устройство размещается в скважине на заданной глубине при помощи герметично соединенных штанг. Гидромеханическая система, обеспечивающая выдвигание и вдавливание инденторов, рассчитана на давление до 15 МПа. Максимальная глубина внедрения клиньев в стенки скважины составляет 8 – 10 мм.

В [20] предложена конструкция самоходного скважинного устройства в составе технического комплекса, предназначенного для проведения локального направленного гидроразрыва в необсаженных протяженных скважинах при термошахтной добыче тяжелых нефтей. Для формирования зародышевых трещин в поперечном направлении в конструкции устройства применены модуль-инденторы, приводимые в действие давлением жидкости в интервале разрыва. Число модулей-инденторов может быть до шести при их равномерном расположении в корпусе скважинного устройства.

Отдельную группу составляют устройства для образования направленных трещин в забойной части шпура, принцип действия которых связан с ударным воздействием на горные породы пластичного вещества. В [21] показано, что использование пластичных веществ позволяет образовывать начальные трещины поперек шпура в забойной его части без применения режущего инструмента. Для этого в шпур до упора в забой опускают стакан с пластичным веществом и центральным отверстием, в которое вставляют штангу. По ее свободному концу наносят удар, от чего в плоскости забоя шпура возникает начальная трещина. Такая начальная трещина в сравнении с иницирующей щелью имеет минимально возможный для данной среды радиус закругления вершины (на границе). Поэтому из-за более высокой концентрации напряжения на границе дальнейшее развитие трещины будет происходить при существенно меньших давлениях. Устройства, основанные на описанном принципе действия, имеют правовую защиту, например [22, 23], однако сведения об их применении в шахтных условиях отсутствуют.

### *Заключение*

На основе экспертно-аналитического обзора предложена классификация способов и технических средств для создания щелей-концентраторов в приконтурной зоне скважин.

Установлено, что основное внимание разработчиков сосредоточено на создании устройств, предназначенных для нарезания иницирующих щелей в скважинах и последующего проведения направленного гидроразрыва с целью дегазации, разупрочнения горного массива, а также для повышения продуктивности скважин при термошахтной добыче тяжелой нефти. Устройства, прошедшие испытания в шахтных условиях, обеспечивают создание щелей-концентраторов только в мягких породах и породах средней твердости.

В целях расширения области практического применения метода направленного измерительного гидроразрыва необходимы исследования и разработка

новых способов и оборудования, обеспечивающих формирование иницирующих щелей в скважинах, пройденных в крепких горных породах.

*Работа выполнена в рамках проекта ФНИ № гос. регистрации АААА-А17-117121140065-7.*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курленя М.В., Леонтьев А.В., Попов С.Н. Развитие метода гидроразрыва для исследования напряженного состояния массива горных пород // ФТПРПИ. – 1994. – № 1. – С. 3–20.
2. Леонтьев А.В., Попов С.Н. Опыт практического применения измерительного гидроразрыва // Горный журнал. – 2003. – № 3. – С. 37 – 43.
3. 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.
4. Рубцова Е.В., Скулкин А.А. Развитие методических основ измерительного гидроразрыва // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 5. – С. 188–191.
5. Клишин В.И., Зворыгин Л.В., Лебедев А.В., Савченко А.В. Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений. – Новосибирск: Издательский дом «Новосибирский писатель», 2011. – 524 с.
6. А.с. СССР № 1641994, E21C 37/00. Устройство для нарезания щелей на стенках скважин / В.А. Баранов, В.М. Неборский, В.И. По-хоа, Н.И. Беляев. – № 4666055/03; заявл. 24.03.89; опубл. 15.04.91, Бюл. № 14. – 4 с.
7. А.с. СССР № 1408067, E21C 37/00. Устройство для образования щелей в стенках скважин / В.М. Неборский, Л.К. Волошин, Н.А. Вдовенко. – № 4037822/22-03; заявл. 14.03.86; опубл. 07.07.88, Бюл. № 25. – 4 с.
8. А.с. СССР № 1408068, E21C 37/00. Устройство для создания продольных щелей на стенках шпуров и скважин / В.Ф. Гриценко, Е.А. Синцов, Н.Г. Малухин и др. – № 4150639/22-03; заявл. 20.11.86; опубл. 07.07.88, Бюл. № 25. – 3 с.
9. А.с. СССР № 1055874, E21C 37/00. Устройство для образования зародышевых трещин в скважинах / М.В. Курленя, Н.Г. Кю, О.И. Чернов и др. – № 3445314/22-03; заявл. 26.05.82; опубл. 23.11.83, Бюл. № 43. – 3 с.
10. А.с. СССР № 1217521, E21C 37/00. Устройство для образования щелей на стенках скважин / В.Г. Хомяков, В.К. Водолажский, О.И. Чернов – № 3784732/22-03; заявл. 28.06.84; опубл. 15.03.86, Бюл. № 10. – 5 с.
11. А.с. СССР № 1221345, E21C 37/00. Скважинное устройство для образования зародышевых трещин / Н.Г. Кю, С.Я. Красников, О.И. Чернов и др. – № 3705052/22-03; заявл. 24.02.84; опубл. 30.03.86, Бюл. № 12. – 2 с.
12. А.с. № 1641995, E21C 37/00. Устройство для образования щелей в скважинах / С.Е. Кузьмин, А.Н. Умрихин, А.А. Умрихин и др. – № 4558745/03; заявл. 30.03.89; опубл. 15.04.91, Бюл. № 14. – 3 с.
13. А.с. № 1661415, E21C 37/00. Устройство для образования кольцевых щелей на стенках скважин / К.Д. Ли, Х.Ж. Халманов, Д.В. Хен и др. – № 4710416/03; заявл. 27.06.89; опубл. 07.07.91, Бюл. № 25. – 4 с.
14. А.с. № 1790674, E21C 37/00. Устройство для образования поперечных полостей на стенках скважин / О.И. Чернов, В.И. Клишин, Ю.В. Матвиец и др. – № 4838862/03; заявл. 12.06.90; опубл. 23.01.93, Бюл. № 3. – 3 с.
15. Клишин В.И. Адаптация механизированных крепей к условиям динамического нагружения. – Новосибирск: Наука, 2002. – 200 с.

16. Пат. 2263776 РФ, МПК: E21B 43/26. Щелеобразователь / В.И. Клишин, Ю.М. Леконцев, П.В. Сажин – № 2004116851/03; заявл. 03.06.04; опубл. 10.11.05.
17. Ю.М. Леконцев, П.В. Сажин Исследование режимов работы устройства для нарезания иницирующей щели // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 2. – С. 139 – 143.
18. Леконцев Ю.М., Леонтьев А.В. Устройство для создания иницирующих щелей в стенках солевых скважин // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология». – Новосибирск: СГУГиТ, 2016. – Т. 3. – С. 181 – 184.
19. Пат. 2138631 РФ, МПК: E21B 43/26. Устройство для образования направленных трещин в скважине / Г.Я. Полевщиков, П.Н. Мельников – № 96105870; заявл. 26.03.96; опубл. 27.09.99.
20. Сердюков С.В., Дегтярева Н.В., Патутин А.В., Шилова Т.В. Технический комплекс для множественного локального гидроразрыва породного массива в необсаженных скважинах // ФТПРПИ. – 2016. – № 6. – С. 180 – 186.
21. Кю Н.Г. Особенности разрушения горных пород при флюидоразрыве пластичными веществами // ФТПРПИ. – 2011. – № 4. – С. 57 – 67.
22. Пат. 2182968 РФ, МКИ E21C 37/12. Устройство для образования направленных трещин в скважинах / Н. Г. Кю, А. В. Новик, А. М. Фрейдин – № 2001100860/03; заявл. 09.01.2001; опубл. 27.05.2002.
23. Пат. 2641679 РФ, МКИ E21B 43/26, E21C 37/08. Устройство для ориентированного разрыва горных пород / Н.Г. Кю – № 2017110440; заявл. 28.03.2017; опубл. 19.01.2018.

© Е. В. Рубцова, 2019