

необходимости в больших тангенциальных смещениях породоразрушающих элементов. В таком случае конструкция долота, представленная на рис.2, значительно упрощается, лишаясь шарнирного элемента, связывающего подвижную и неподвижную части головки долота, упругого элемента, цилиндрической шайбы, болтов. Головка долота становится монолитной, что положительно сказывается на её прочностных характеристиках, при этом тангенциальные смещения породоразрушающих элементов сохраняются, имея значительно меньшую амплитуду.

Описанная конструкция долота для ударно-вращательного бурения скважин описана в заявке на изобретение РФ № 2018118680. Экспертиза по существу завершена, получено положительное решение о выдаче патента.

Применение конструкции долота для ударно-вращательного бурения по схеме на рис.2 позволит увеличить производительность процесса разрушения горных пород на забое скважины при одинаковой величине давления очистного агента.

#### Литература

1. Нескоромных В.В. Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ [Текст]: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 130200 "Технологии геологической разведки" / В. В. Нескоромных; Сиб. федер. ун-т, Ин-т горн. дела, геологии и геотехнологий. - Красноярск: СФУ, 2015. – 394 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЖИДКОСТЕЙ ГИДРОРАЗРЫВА НА ОСНОВЕ ГУАРОВОЙ КАМЕДИ

М.И. Губарев

Научный руководитель - доцент В.Н. Глотова

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Гидро разрыв продуктивного пласта (ГРП) является одной из сложнейших операций в нефтегазодобывающей промышленности. Целью проведения данной операции является увеличение продуктивности скважины путем создания значительных трещин в горной породе продуктивного пласта, позволяющих связать внутреннюю часть эксплуатационной колонны с зоной пласта, не подвергшейся загрязнению в процессе бурения и обладающей естественной проницаемостью [1].

Первоначально гидро разрыв пород продуктивного пласта применяли исключительно в малодебитных скважинах с целью поддержания их рентабельности. Однако, начиная с 1990-х годов область применения данной технологической операции распространилась на высокодебитные скважины, обладающие значительной потенциальной прибыльностью.

В центре процесса гидро разрыва находится рабочая жидкость – жидкость гидро разрыва (жидкость ГРП). Наиболее часто она представляет собой жидкость на водной основе, которая загущается с применением высокомолекулярных полимеров, примерами которых являются гуаровая камедь, а также гидроксипропиловая камедь (рис. 1) [1].

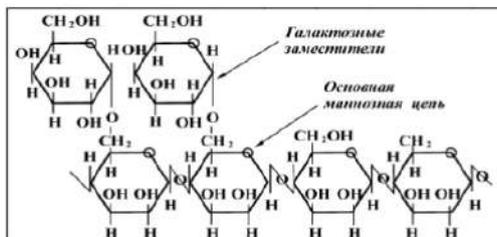


Рис. 1 Структура гуаровой камеди

С целью достижения наиболее качественного загущения жидкости гидро разрыва применяют специальные химические добавки, называемые сшивателями, которые соединяют цепочки полимеров. В результате применения сшивателей содержание полимеров в составе жидкости ГРП может быть значительно снижено.

В качестве одного из типов применяемых в настоящее время сшивателей выступают соли и соединения бора (рис. 2). Для приготовления сшивателей применяется водная, либо дизельная основа. К уникальным свойствам получаемой в результате жидкости ГРП можно отнести обратимость сшивания: в случае увеличения температуры значение pH уменьшается, что в свою очередь ведет к разжижению жидкости гидро разрыва за счет уменьшения содержания борат-ионов; при уменьшении температуры вязкость жидкости ГРП восстанавливается до прежних значений [1, 2].

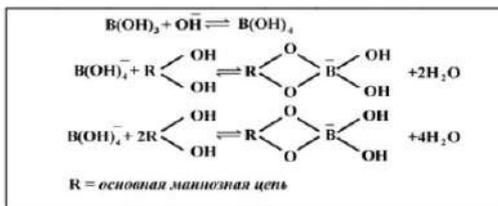


Рис. 2 Сшивание гуаровой камеди боратом

Само по себе создание трещины в процессе осуществления операции гидроразрыва не дает гарантий увеличения продуктивности скважины, так как она должна обеспечивать свободный канал фильтрации пластового флюида из коллектора в скважину. Этому способствует применение проппанта, переносимого в полость трещины жидкостью гидроразрыва. После завершения процесса размещения проппантной набивки жидкость гидроразрыва должна быть удалена из пласта. С этой целью в состав жидкости ГРП в процессе её приготовления и закачки в скважину добавляют реагенты-деструкторы в капсулированном виде [1].

Однако, добавление капсулированных деструкторов не гарантирует полного разрушения гуаровой камеди, являющейся основой жидкости гидроразрыва. На заключительном этапе проведения операции ГРП жидкость в трещине частично обезвоживается за счет фильтрации в горную породу. В результате этого концентрация полимера может оказаться на порядок выше первоначального значения. В этом случае полимер остается неразрушенным, из-за чего образуется сверхвязкая гелеобразная масса, которая блокирует поровое пространство проппантной набивки и препятствует эффективной фильтрации пластового флюида в трубное пространство эксплуатационной колонны.

Процесс очистки трещин ГРП может быть осуществлен двумя способами: уменьшение остаточного количества неразрушенного полимера, либо применение минимального количества полимера для приготовления жидкости ГРП [1].

С целью уменьшения остаточного количества полость трещины дополнительно обрабатывают новой порцией деструктора, уже не являющейся частью сшитой системы гуаровой камеди и вводимой в чистом виде, то есть без применения технологии предварительного заключения деструктора в капсулы [2].

Результатом исследований в области минимизации количества полимера, применяемого для приготовления жидкости ГРП, является создание низкогуаровых систем на основе солевого раствора KCl, применение которых возможно при рабочих температурах до 80°C. Системы данного типа обеспечивают стабильное сшивание полимеров боратом при снижении их концентрации ниже порогового значения, равного 2,4 г/м<sup>3</sup> для гуаровой камеди [1].

Как показывают многочисленные исследования, повышение эффективности деструктора, применяемого как в чистом, так и в капсулированном виде, может быть достигнуто несколькими путями [1]:

- 1) подбором наиболее оптимального типа деструктора для данного диапазона температур;
- 2) разработкой специальных добавок, способствующих удалению неразрушенного полимера.

На сегодняшний день наиболее перспективным направлением из рассмотренных ранее является разработка эффективного деструктора кислотного или окислительного типа, добавление которого производится на начальном этапе закачки жидкости ГРП в скважину, либо на заключительном этапе операции гидроразрыва с целью разрушения гуаровой камеди и восстановления приемлемой проводимости проппантной набивки [2].

В качестве подобных деструкторов могут применяться [3]:

1) неорганические и органические кислоты (серная, соляная, азотная, уксусная, лимонная и др.) или эфиры (бутиллактат, этилпропионат, бутилацетат и др.), которые превращаются в соответствующие кислоты под воздействием пластовых условий;

2) окислители (персульфаты, пероксикарбонаты, пербораты и др.) в смеси с активаторами разрушения (растворимые соединения амина, сложные эфиры карбоновой кислоты и др.);

- 3) ферменты и хелаторы.

С учетом применяемых разновидностей деструкторов, приведенных выше, были проведены эксперименты с некоторыми типами неорганических кислот – соляной, азотной и серной – с концентрациями 15% (масс). Суть экспериментов состоит в определении вязкости смеси сшитого геля гуаровой камеди и деструктора в соотношении 1:1, в массовом выражении – 200 г сшитого геля + 200 г кислотного деструктора. Эксперименты были проведены при температурах 20°C и 80°C, при этом имела место временная выдержка, продолжительностью  $\tau = 1$  ч. Результаты экспериментов представлены в таблице.

Опираясь на приведенные результаты экспериментов, можно сделать вывод о том, что все из рассмотренных кислотных неорганических деструкторов способны значительно уменьшить вязкость сшитого геля гуара под влиянием одного из ключевых пластовых условий – значительного температурного воздействия. Однако, в процессе проведения опытов с данными деструкторами наблюдалось выпадение нерастворимого осадка, количество которого варьировалось в зависимости от типа рассматриваемого деструктора. Например, для серной кислоты масса полученного осадка составила порядка 8,4 г при общей массе смеси сшитого геля гуара и деструктора, равной 400 г (доля осадка – 2,1 % масс).

В дальнейшем планируется изменить концентрации рассмотренных ранее кислотных деструкторов, а также провести опыты с органическими кислотами, окислителями и их возможными комбинациями.

Результаты проведенных экспериментов

Наименование композиции	Значение вязкости $\mu$ , сПз		
	HCl	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HNO <sub>3</sub>
Гель гуаровой камеди, сшитый боратом на дизельной основе	580 ÷ 640		
Смесь сшитого геля и деструктора (при $t = 20^\circ\text{C}$ )	33	33	37
Смесь сшитого геля и деструктора после временного воздействия (при $t = 20^\circ\text{C}$ и $\tau = 1$ ч)	27	32	33
Смесь сшитого геля и деструктора после временного и температурного воздействия (при $t = 80^\circ\text{C}$ и $\tau = 1$ ч)	11	11	11

Литература

1. Армстронг К., Василисиа Н., Коллинс Д., Слашер Г. Усовершенствованные рабочие жидкости для ГРП и улучшение экономических показателей скважин // Нефтегазовое Обозрение. – весна 1999. – С. 46 – 63.
2. Мухин М.М., Малкин Д.Н., Чириня Л.А., Насветикова А.А. Исследование процесса кислотной деструкции и реологических характеристик геля для ГРП на водной основе, содержащего боратный сшиватель // Нефтепромысловая химия: Материалы II Международной научно-практической конференции (X Всероссийской научно-практической конференции), посвященной 85-летию Российского государственного университета нефти и газа имени И. М. Губкина. Российский государственный университет нефти и газа имени И.М.Губкина (Национальный исследовательский университет). – 2015. – С. 68 – 71.
3. Пат. 2487157 Россия МПК С 09К 8/68. Состав для деструкции сшитого геля на основе гуаровой смолы. Русинов П.Г., Жаров С.С., Ганенкова Е.В. Заявлено. 10.08.2011; Опубл. 10.07.2013, Бюл. №19. – 9 с.: ил.

**ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ГРУПП ЦЕОЛИТОВ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ЗОН ПОГЛОЩЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА СКВАЖИН**

**М.Е. Домрачев, М.М. Марванов, А.С. Сорокин**

Научный руководитель - доцент Ф.А. Губайдуллин

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,*

*Институт геологии и нефтегазовых технологий, г. Казань, Россия*

В работе представлены результаты фильтрационных испытаний композиций на основе минеральных групп цеолитов, предназначенных для ликвидации зон катастрофических поглощений при бурении скважин.

Процесс строительства скважин сопровождается рядом распространенных осложнений, основным из которых является поглощение буровых и тампонажных растворов. Причинами поглощений могут служить высокая проницаемость пород, наличие трещин и каверн, несоблюдение технического режима при бурении.

В настоящее время практически испытано много мероприятий по ликвидации зон поглощений, которые условно можно разделить на три основные группы: использование наполнителей, закачивание тампонажных и полимерных смесей, установка профильных перекрывателей и хвостовиков [1]. Выбор данных мероприятий осуществляется после определения категории поглощений, главным критерием которых является интенсивность поглощений.

Основными недостатками существующих технологий является высокая стоимость, нестабильность (несовместимость) используемых составов с буровым раствором, необходимость остановки бурения в процессе ликвидации зон поглощений, малая эффективность в случае ликвидации зон катастрофических поглощений (ЛЗКП), а также длительная продолжительность самих работ.

На основании вышеуказанных недостатков разработана технология применения порошкового реагента на основе минеральных компонентов с полимерными добавками (ПРМД) для ликвидации зон катастрофических поглощений. Композиция ПРМД представлена марками ПРМД КС (коллоидная система) и ПРМД ВУС (вязкоупругая система), которая применяется в определенном соотношении в зависимости от интенсивности поглощений. ПРМД представляет собой порошковую композицию на основе природного цеолита (таблица 1) с размером частиц не более 70 мкм, а также полимер - полиакриламид со структурообразующими компонентами.

Эффект от применения данного состава заключается в образовании изолирующего экрана, препятствующего дальнейшему поглощению бурового раствора. Структурообразование происходит благодаря наличию в закачиваемом составе цеолита - алюмосиликата, который активно адсорбирует сшивающийся полиакриламид. Так же за счёт структурных особенностей частиц цеолита и их большой адсорбционной ёмкости в пласте происходит выделение адсорбированного газа (воздуха) с образованием газовой фазы в области поглощения дополнительно увеличивающей изолирующие свойства [2].

В процессе исследования композиции ПРМД проведены определение реологических свойств, анализ совместимости с буровыми растворами, а также тестирование фильтрационных и тампонирующих свойств. Экспериментальные исследования проводились на насыпных моделях, имитирующих зону поглощения. Насыпная модель пласта представляет собой трубу длиной  $L = 0,5$  м и внутренним радиусом  $R_{\text{внутр}} = 0,0135$  м, которая с одного края имеет выходной вентиль, а с другого игольчатый клапан и штуцер с возможностью