



# Способы восстановления фильтрационных свойств подземных объектов при размещении отходов бурения

**О.Г. СЫЧЁВ,**  
руководитель службы  
геомеханики  
osychev@akros-llc.com

ООО «АКРОС»

г. Москва, 117485, РФ  
info@akros-llc.com

**O.G. SYCHOV**

«AKROS» LLC

Moscow, 117485,  
Russian Federation

*В статье описываются подземные риски, связанные с ухудшением фильтрационных свойств пласта в поглощающей (CRI) скважине в процессе размещения отходов бурения, и один из способов, который позволяет восстанавливать фильтрационные свойства пласта.*

**Ключевые слова:** обратная закачка отходов бурения, технологии, отходы бурения, подземное размещение, скважина, восстановление фильтрации жидкости

## Methods for restoring the filtration properties of underground objects when placing drilling waste

The article describes the underground risks associated with the deterioration of the filtration properties of the formation in the absorbing (CRI) well during the placement of drilling waste, and one of the methods that allows you to restore the filtration properties of the formation.

**Keywords:** Cuttings Re-Injection (CRI), technology, drilling waste, underground placement, well, liquid filtration restoration

### I. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ БУРЕНИЯ

Технология размещения бурового шлама и сопутствующих отходов при бурении скважин в подземных геологических пластах-объектах методом обратной закачки отходов, которая называется **CRI (Cuttings Re-Injection)**, представляет собой долговременный и технологически сложный процесс. Основным компонентом для транспортировки бурового шлама в подземный объект является шламовая пульпа, которая позволяет производить закачку твердой фазы в поглощающую скважину. Подготовленные отходы бурения в виде шламовой пульпы, приготовленной из измельченного бурового шлама с добавлением жидкости и необходимых химических реагентов, закачиваются в предварительно выбранные подземные геологические пласты под давлением, превышающим давление гидроразрыва пласта. Закачка шламовой пульпы проводится небольшими пачками по 30–90 м<sup>3</sup> каждая, объем одной пачки зависит от мощности наземного CRI оборудования. Для размещения отходов бурения используется поглощающая скважина, через которую отходы закачиваются в геологические подземные объекты.

Процесс размещения отходов в подземном объекте можно разделить на две основные составляющие. Во время операций

значительные объемы твердой фазы размещаются в образованной системе трещин, а жидкая фаза фильтруется из гидравлической трещины в материнскую породу. В этом случае по мере закачки происходит накопление твердой фазы в самой системе трещин. В то же время жидкая фаза распределяется в отдаленные участки проницаемой материнской породы. Накопление отходов в гидравлической трещине вызывает местное увеличение напряжения в пласте из-за открытия трещины и уплотнения окружающей горной породы. Фильтрация жидкой составляющей в материнскую породу приводит к увеличению порового давления в этой породе, которое, в свою очередь, оказывает дополнительное влияние на увеличение напряжения в объекте. Увеличение локального напряжения в объекте непосредственно влияет на дальнейшее распространение гидравлической трещины и конечную емкость объекта закачки. Так как каждый геологический объект изначально имеет определенную емкость, которая позволяет разместить оцененное количество твердых и жидких отходов бурения, то для продления эксплуатации скважины необходимо контролировать изменение емкости геологического объекта в процессе эксплуатации (скважины).

Область размещения твердых отходов бурения, или бурового шлама, можно

описать как сложную трещиноватую систему. Она может включать множественные трещины гидроразрыва, открытые под действием высокого давления в естественных трещинах. Критерии раскрытия естественных трещин были описаны Nolte и Smith (1981). Раскрытие естественных трещин происходит под воздействием эффективного давления в самой системе трещин. Это давление для раскрытия трещины может быть выражено следующей математической формулой:

$$P_{net} = \frac{\sigma_{H,max} - \sigma_{h,min}}{1 - 2\nu},$$

$P_{net}$  – эффективное давление в трещине,  $\sigma_{H,max}$  – максимальное горизонтальное напряжение,  $\sigma_{h,min}$  – минимальное горизонтальное напряжение,  $\nu$  – Коэффициент Пуассона.

Так как эффективное давление оказывает непосредственное влияние на остаточную емкость объекта, то постоянный анализ давления в процессе закачки позволяет контролировать развитие системы трещин в подземном объекте и тем самым своевременно предотвращать риски ограничения общей емкости объекта закачки.

## II. ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕХНОЛОГИИ

Судя по опыту работ на CRI проектах, на сегодняшний день в поглощающую скважину может быть закачано, в зависимости от геологии подземного объекта, более 300 тысяч м<sup>3</sup> различных типов буровых отходов, содержащих твердую фазу и имеющих различную реологию жидкости, где максимальная плотность бурового раствора может достигать до 1,48 г/см<sup>3</sup>.

Количество размещенных отходов зависит от емкости каждого подземного объекта, которая определяется геологическими характеристиками пласта, технологией размещения отходов и мер по минимизации рисков закачки. Оператор, осуществляющий процесс закачки отходов, может непосредственно контролировать технологию размещения отходов и меры, которые применяются для устранения рисков закачки. Контролируемый процесс размещения отходов позволяет исключить любые риски и разместить максимально возможное количество отходов в объекте.

Процесс подземной закачки является экономически эффективным, так как позволяет разместить все накопленные отходы бурения в подземном пласте без остатка на поверхности. В этом случае у Заказчика отсутствует непроизводительное время (NPT) по причине накопления бурового шлама на объекте работ. Также технология позволяет убрать будущие экологические обязательства перед контролирующими органами.

## III. ОСНОВНЫЕ РИСКИ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ ОТХОДОВ БУРЕНИЯ

В поглощающую скважину закачивается широкий спектр буровых и технологических отходов, которые представляют собой как жидкости на водной и нефтяной основе, так и твердые частицы из выбуренного шлама.

Так как жидкие отходы по мере раскрытия естественных трещин фильтруются в поровое пространство пласта, то их эффективное распределение оказывает влияние на локальное увеличение порового давления в пласте. Увеличение порового давления зависит от фильтрационно-емкостных характеристик геологического пласта и интенсивности закачки жидких отходов. Трещины,

раскрывающиеся при высоких давлениях закачки и поровом давлении, увеличивают гидропроводность материнской породы, но из-за проникновения материалов, которые содержатся в отходах, в частности, углеводородов, может значительно ухудшиться проницаемость материнской породы в области закачки.

Так как закачиваемые отходы имеют разные реологические свойства и содержат твердые частицы, а также содержат в своем составе углеводороды, то естественно они оказывают влияние на проницаемость материнской породы и снижают ее фильтрационные свойства. По мере закачки происходит коагуляция материнской породы отходами бурения и эмульсией, которая образуется при смешивании углеводородов, содержащихся в растворе, с пластовой водой.

Одновременное накопление флюида и твердой фазы в трещинах и отсутствие фильтрации флюида приводит к избыточной упругой деформации породы, вызывающей быстрый рост напряжения. В первую очередь это становится заметно по непропорционально и значительно более быстрому по сравнению с наблюдаемым ростом порового давления и увеличению давления закрытия трещины.

Ухудшение проницаемости матрицы породы приводит к увеличению давления вокруг скважины и тем самым – к плохому перераспределению отходов, к их локальному скоплению преимущественно в созданной системе трещин рядом со скважиной.

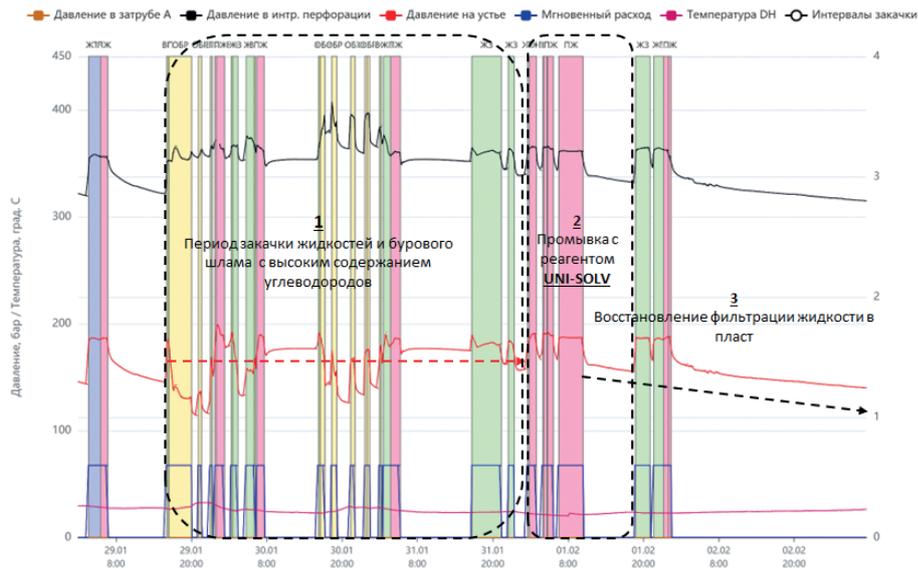
Данные риски при закачке отходов бурения заметны на всех проектах, где проводится подземная закачка бурового раствора, содержащего углеводороды в своем составе. Поэтому в регламенте на подземную закачку должны быть предусмотрены меры по своевременному расколюматированию объекта закачки.

## IV. СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ В ПЛАСТ В ПРОЦЕССЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ БУРЕНИЯ

В этом разделе мы рассмотрим один из методов, который помогает восстановить фильтрацию жидкости в пласт. В первую очередь, основным методом восстановления фильтрационных свойств пласта и равномерного распределения твердых отходов в подземном объекте, являются регулярные промывки скважины в процессе закачки отходов бурения.

Но многие промывки скважины не решают проблемы, связанные с разрушением эмульсии и снижением вязкости жидкости. Для этих целей необходимо применение специализированных промывок, которые должны включать закачку химических реагентов, могут воздействовать на эмульсии, сформированные в пласте и снижать общую вязкость жидкости, что в конечном итоге позволяет расколюматировать объект закачки. Компания «АКРОС» разработала методику проведения специализированных промывок с использованием вязких пачек и подобранного лабораторным путем комплексного химического реагента UNI-SOLV™.

UNI-SOLV™ это комплексный отмывающий реагент, имеющий композиционный состав и состоящий из бинарной смеси растворителей и ПАВ. Комплексный отмывающий реагент UNI-SOLV™ имеет композиционный состав, состоящий из бинарной смеси растворителей и ПАВ. Реагент предназначен для удаления остатков



1. Закачка бурового раствора с содержанием тв. фазы до 20% и УВ до 60%.
2. Полное прекращение падения давления после остановки закачки
3. Промывка с реагентом UNI-SOLV™. Восстановление фильтрации жидкости.

Цвет	Код	Тип жидкости	Общий объем, м³
Желтый	ВП	Вязкая пачка	90.00
Зеленый	ЖЗ	Жидкость замещения	481.00
Синий	ЖТК	Жидкости технолог. комплекса	171.00
Фиолетовый	ОБР	ОБР	267.00
Розовый	ПЖ	Жидкость промывки	630.00

Рис. Эффект закачки реагента, смешанного с промывочной жидкостью

Применение данного реагента при промывках CRI скважины показало хорошие результаты по восстановлению фильтрации жидкости в пласт за счет воздействия на эмульсию, которая образуется на стенках гидравлической трещины ГРП, препятствующей фильтрации жидких отходов из трещины в пласт.

растворов на углеводородной и синтетической основе за счет эффективного диспергирования и растворения остатков раствора и твердой фазы с изменением характера смачиваемости контактирующих с ним поверхностей. Моющий состав на основе UNI-SOLV™ отвечает всем требованиям к моющим буферным составам при замещении с РУО на водные растворы.

Применение данного реагента при промывках CRI скважины показало хорошие результаты по восстановлению фильтрации жидкости в пласт за счет воздействия на эмульсию, которая образуется на стенках гидравлической трещины ГРП, препятствующей фильтрации жидких отходов из трещины в пласт.

На примере, приведенном выше (рис.), можно отметить положительный эффект закачки реагента, смешанного с промывочной жидкостью. Показано давление на устье (красная кривая), расчетное давление в интервале перфорации (черная кривая), расход жидкости (синяя кривая) и температура закачиваемой жидкости на поверхности (фиолетовая кривая). Выделяются следующие этапы:

1. На этом этапе производилась закачка бурового раствора на углеводородной основе с содержанием до 20 % твердых отходов. Здесь видно, что после остановки закачки отсутствует падение давления. Отсутствие падения давления говорит о том, что прекратилась фильтрация жидкости в пласт. Надо отметить, что данное поведение давления обычно приводит к росту давления в объекте и дальнейшей потере приемистости скважины.

2. На втором этапе для восстановления фильтрации жидкости проводилась специализированная промывка с использованием вязких пачек и химического реагента UNI-SOLV™.

3. На третьем этапе, после возобновления закачек отходов, показан эффект улучшения фильтрации после промывки скважины, который виден по изменению наклона кривой падения давления.

Специализированные промывки CRI скважины позволяют увеличить срок эксплуатации поглощающей скважины и должны быть предусмотрены в операционной процедуре закачки отходов бурения в пласт.

## V. ВЫВОДЫ

Контроль и своевременные меры по нормализации давления в трещине позволяют увеличить срок эксплуатации за счет сохранения емкостных свойств объекта закачки и разместить в подземном объекте все запланированные буровые отходы.

Контроль за поведением давления проводится на ежедневной основе для своевременного выявления рисков закачки.

Эффективность применения того или иного реагента зависит от типа закачиваемых отходов и геологии подземного объекта закачки.

Химические реагенты подбираются в лаборатории при тестировании фактических образцов отходов.

Методика проведения промывки скважины с применением того или иного типа жидкости также подбирается индивидуально для каждого объекта закачки с учетом геолого-геомеханических свойств подземного объекта.

## Литература

1. Michael J. Economides, Kenneth G. Nolte, «Fracturing Diagnostic Using Pressure Analysis», Reservoir Stimulation, 2nd edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ (1989).

## References

1. Michael J. Economides, Kenneth G. Nolte, «Fracturing Diagnostic Using Pressure Analysis» Reservoir Stimulation, 2nd edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ (1989). (In English). ■