

6. Кожевников А.А., Давиденко А.Н. Гидромеханический и эрозионный способы разрушения горных пород при бурении скважин. – М., 1987. – 45 с.
7. Спивак А.И. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: учебник для вузов / А.Н. Попов [и др.]; под ред. А.И. Спивака. – М.: Недра, 2003. – 509 с. Уваков А.Б. Шароштруйное бурение. – М.: Недра, 1969. – 207 с.

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СТВОЛА СКВАЖИНЫ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ПОГЛОЩЕНИЯ БУРОВОГО РАСТВОРА

Д.Е. Козлов, К.М. Минаев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы возникновения и возможности ликвидации поглощений бурового раствора в скважине. Приведена схема кинематики движения бурового раствора в скважине, обладающей каналами ухода. Проанализированы существующие методы профилактики возникновения поглощений раствора и сформулированы рекомендации для реализации успешного бурения в осложненных условиях.

Abstract. The paper deals with the origin and the possibility of liquidation of acquisitions mud in the well. The circuit of kinematics motion of drilling fluid into the borehole having channels care. We analyzed the existing methods of prevention of acquisitions and solution recommendations for the implementation of successful drilling in the complicated conditions.

Поглощения бурового раствора при бурении скважин связано с вскрытием пористых или трещиноватых пластов. Поглощения могут быть вызваны технологическими причинами или геологическими условиями залегания горных пород.

В ходе откачки бурового раствора обратно на поверхность раствор соприкасается со стволом скважины. При традиционных методах бурения давление в стволе превышает пластовое давление, что предотвращает приток пластовых флюидов в скважину. По одному из механизмов ухода бурового раствора из ствола происходит фильтрация в проницаемые породы, при которой жидкий компонент бурового раствора поглощается породой, а твердые частицы и капли эмульсии собираются на стенке ствола, образуя фильтрационную корку. Низкая проницаемость такого осадка обеспечивает очень малый объем утечки, и его образование не расценивается как потеря циркуляции. Потеря циркуляции происходит в том случае, если порода является трещиноватой, кавернозной или очень пористой. Тогда имеет место другой механизм, и если давление в стволе превышает прочность породы на разрыв, образуются трещины. По каждому из этих механизмов наблюдается уход больших объемов раствора в зоны поглощения. В худшем случае значительная часть бурового раствора или даже весь его объем поглощается пластом, обуславливая дальнейший рост трещины (рис. 1) [1].

Уход бурового раствора в пласт существенно увеличивает затраты и риски бурения во всем мире и грозит стать еще более серьезной проблемой в будущем. Для предупреждения и ликвидации подобных осложнений в отрасли применяют разнообразные материалы для упрочнения ствола скважины, которые имеют различные принципы действия, но одни и те же задачи: остановить распространение трещин и сохранить буровой раствор в скважине.

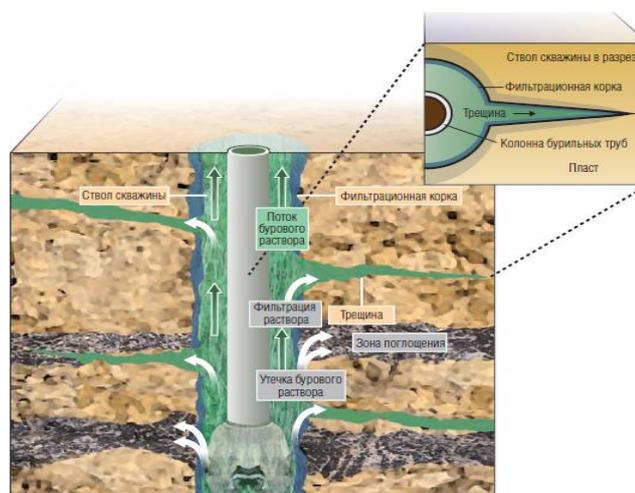


Рис. 1. Иллюстрация ухода бурового раствора из скважины [1]

За последнее столетие нефтегазовая отрасль достигла больших успехов в разработке технологий и методов бурения, которые позволили сделать строительство скважин рентабельным и безопасным. Однако по мере обнаружения новых источников углеводородов в пластах все большей удаленности и более сложного геологического строения, нефтегазовая отрасль продолжает создавать новые технологии для решения проблем повышения устойчивости ствола скважины, представляющих угрозу безопасности и создающих экономические риски долгосрочной эксплуатации скважины.

Потеря циркуляции — ситуация, когда буровой раствор частично или полностью уходит в пласт через области, называемые зонами поглощения. Из всех задач, выполняемых буровым раствором, наибольшее негативное влияние потеря циркуляции оказывает на поддержание гидростатического давления в затрубном пространстве, а также на предотвращение притока пластовых флюидов в скважину в процессе бурения.

Поглощение бурового раствора, как правило, происходит через трещины, создаваемые в процессе бурения. Такие трещины легко распространяются, поскольку давление, требующееся для роста трещины, обычно ниже, чем давление, необходимое для ее зарождения. Таким образом, восстановительные операции обычно рассматриваются как чрезвычайные меры, принимаемые только в случае неудачи профилактических мероприятий [2].

Основными методами предупреждений и ликвидации поглощений при различной интенсивности или при полном прекращении циркуляции бурового раствора являются: предупреждение осложнения путем снижения гидростатического и гидродинамического давления на стенки скважины, изоляция поглощающего пласта от скважины закупоркой каналов поглощения специальными цементными растворами и пастами, а также бурение без выхода бурового раствора с последующим спуском обсадной колонны.

Лучшим средством борьбы с поглощением является его предупреждение. На основе опыта российских и зарубежных буровых компаний разработаны следующие рекомендации: регулировать свойства бурового раствора, прежде всего повышенный контроль за его плотностью; регулировать скорость спускоподъемных и других технологических операций, проводимых в скважине (скорость проработки, промежуточные промывки и пр.); определять оптимальный зазор между трубами и стенками скважины, за счет этого уменьшается перепад давления в затрубном пространстве и снижается возможность сужения ствола скважин; изменять

конструкцию ствола скважины в целях избегания воздействия утяжеленного бурового раствора на необсаженную часть горных пород, склонных к гидроразрыву [3].

Упрочнение ствола скважины. Специалисты по пластовым жидкостям разработали ряд методов для обеспечения целостности скважины и предупреждения потери циркуляции. Совместно эти наработки называются методами упрочнения ствола скважины и включают стратегии, направленные как на изменение напряжений по всей окружности ствола, так и на минимизацию поглощения флюидов. Операторы применяют целый ряд методов предотвращения потери циркуляции физическим или механическим способом, которые основаны на фундаментально различных механизмах действия:

- Повышение устойчивости к росту трещин заключается в изоляции вершин существующих трещин и механическом увеличении давления повторного открытия трещин.
- Повышение кольцевого напряжения приводит к механическому увеличению напряжений в призабойной зоне скважины и давлению зарождения трещин или, что более вероятно, давлению разрыва пласта.
- Контроль напряжения, вызывающего закрытие трещин, состоит в заполнении и увеличении трещин с одновременной изоляцией их вершин и увеличением напряжений в призабойной зоне.

Внутри отрасли не существует единого мнения относительно того, какой механизм лежит в основе упрочнения ствола скважины, но все специалисты единогласны в том, что такое упрочнение действительно происходит. Общее воздействие всех перечисленных методов заключается в повышении давления, при котором происходит неконтролируемое поглощение. Это позволяет стволу скважины выдерживать более сильное давление и, как показывают данные измерений, повышает его устойчивость, при том, что прочность горной породы фактически не изменяется. По этой причине некоторые специалисты предлагают назвать это явление стабилизацией ствола скважины, однако, исторически сложилось так, что термин «упрочнение ствола скважины» более широко употребляется в отрасли.

Во всех перечисленных методах упрочнения ствола скважины есть нечто общее, а именно, добавление в буровой раствор специально разработанных твердых частиц строго установленного размера. Все зернистые материалы, служащие для остановки или замедления поглощения бурового раствора, называются материалами для борьбы с поглощением. Они могут включать мягкие гранулы, нерастворимые соли, хлопья или волокна. Большинство из них могут оказаться эффективными для уменьшения или устранения потерь бурового раствора [4].

Метод повышения устойчивости к росту трещин для предотвращения потери циркуляции предусматривает закачку материала для борьбы с поглощением в зарождающуюся или существующую трещину для перекрытия, запечатывания и отсечения вершины трещины, что увеличивает устойчивость пласта к распространению трещины. Остановка роста трещины также прекращает потерю циркуляции.

Метод повышения устойчивости к росту трещин был впервые отработан в рамках ответа на вопрос, почему буровой раствор на нефтяной основе (БРНО) создает более низкий градиент давления гидроразрыва, чем буровой раствор на водной основе (БРВО). В результате было установлено, что при применении буровых растворов различных типов и рецептур в неповрежденных скважинах давление зарождения трещины было одинаковым, однако характер распространения трещин существенно различался.

Указанное различие было объяснено таким явлением как концевое экранирование трещины. В момент начала роста трещины из ствола мгновенно уходит некоторый объем бурового раствора в новообразовавшуюся полость. Если такой буровой раствор содержит материал для борьбы с поглощением, то поступление в трещину бурового раствора приводит к накоплению в ней этого материала, который изолирует (экранирует) вершину трещины от полного давления поступающего раствора. Способ такого накопления материала для борьбы с поглощением зависит от типа бурового раствора.

В случае использования БРВО, рост трещины приводит к образованию пробки из материала для борьбы с поглощением, который изолирует вершину трещины и предотвращает ее дальнейший рост. Добавление в БРВО материала для борьбы с поглощением в общем случае способствует повышению давления распространения трещины: трещина продолжает расти только в том случае, если давление бурового раствора достаточно высоко, чтобы раствор проник сквозь барьер из экранирующего наполнителя и снова достиг вершины трещины. Однако когда это происходит, рост трещины начинается снова, и дополнительный объем материала для борьбы с поглощением начинает накапливаться в вершине до тех пор, пока снова не закупорит ее.

В буровых растворах на безводной основе (БРВО) используется эмульгированная жидкость на водной основе для проникновения в проницаемую породу и создания очень плотной и ультратонкой фильтрационной корки внутри стенки трещины. При росте трещины в присутствии БРВО обращенная эмульсия быстро глинизирует поверхность трещины, что ограничивает уход жидкости в пласт. На стенках скважины осаждается очень малое количество твердых частиц, и сцементированная преграда из экранирующего наполнителя или глинистая корка не образуется. При использовании БРВО давление вблизи вершины трещины оказывается близким к давлению в стволе скважины, в то время как при использовании БРВО давление у вершины трещины существенно снижается. Таким образом, распространение трещин при использовании БРВО происходит легче, чем при БРВО.

Наиболее эффективными для надежной герметизации трещины и минимизации утечки через ее вершину считают такие материалы для упрочнения ствола как синтетический графит, арахисовая скорлупа и диспергируемые в нефти частицы целлюлозы. Указанные материалы должны присутствовать в буровом растворе в концентрациях от 43 до 57 кг/м³; их постоянно регенерируют и повторно вводят в ствол скважины для обеспечения непрерывной защиты при бурении новых участков скважины [4].

Метод создания «клетки напряжений» предполагает возможность повышения кольцевого напряжения на границе ствола скважины путем добавления в буровой раствор надлежащего материала для упрочнения стенок. Буровой раствор с добавлением этого материала циркулирует при повышенном гидростатическом давлении, приводя к возникновению мелких трещин в призабойной зоне. Эти новые трещины способствуют сжатию ствола скважины, создавая дополнительное кольцевое напряжение — клетку напряжений. Буровой раствор с добавлением материала для упрочнения стенок проникает в эти мелкие трещины, и частицы упрочняющего материала надлежащего размера начинают собираться на поверхности призабойной зоны, закупоривая ее. Дополнительное налипание этого материала создает гидравлическое уплотнение на устье каждой трещины, и, как следствие, новые порции раствора более не могут поступать в трещину из скважины, а раствор, находящийся в трещине, поглощается пластом (рис. 2).

В результате такой утечки понижается гидродинамическое давление в трещине, вследствие чего она начинает закрываться. Однако наличие клинообразной перемычки из материала для упрочнения ствола на устье трещины предотвращает полное ее закрытие и поддерживает определенный уровень дополнительного кольцевого напряжения.

Наличие одной или нескольких таких расклиненных трещин повышает кольцевое напряжение, в результате чего для расширения или создания новых трещин требуется большее давление в скважине.

Для успеха этого метода требуются высокие концентрации закупоривающих добавок к буровому раствору; частицы этих добавок должны быть достаточно прочными, чтобы выдерживать напряжения закрытия трещины, и должны иметь надлежащий размер для создания перемычки на устье трещины, а не глубже. Кроме того, создаваемая перемычка должна быть непроницаемой, так чтобы утечка через нее была минимальной, что обеспечит возможность падения давления в трещине. Для этой цели, также как и для целей повышения устойчивости к росту трещин, хорошо применять такие материалы, как графитовые смеси, мрамор, ореховая скорлупа и нефтяной кокс. Для трещин шириной 1 мм предлагается использовать материалы с размером частиц в диапазоне от размеров коллоидных частиц глин до значений, близких к 1 мм [4, 5].

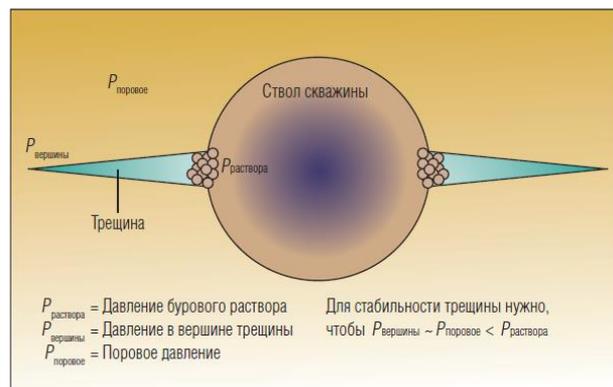


Рис. 2. Метод создания клетки напряжений [5]

Метод контроля напряжения закрытия трещин имеет нечто общее с методом создания клетки напряжений, особенно в части предполагаемого закупоривающего и расклинивающего действия материала для упрочнения ствола в открытых трещинах с целью повышения кольцевого напряжения вокруг ствола и предотвращения распространения трещин. Однако в отличие от метода создания клетки напряжений, в котором предусматривается создание трещин и последующая остановка их роста, в этом методе осуществляется обработка уже существующих трещин материалом с высокой фильтруемостью. Метод основан на принципе, что для эффективной обработки трещины необходимо изолировать ее вершину. По мнению ученых это связано с высокой скоростью фильтрации жидкости-носителя из бурового раствора при сжатии и слипании твердых частиц во время обработки под давлением с последующим созданием пробки в трещине. Пробка быстро становится неподвижной и нарушает гидродинамическую сообщаемость между вершиной трещины и стволом скважины, тем самым препятствуя передаче давления в вершину и распространению трещины. Это приводит к повышению давления в скважине, имеющему своим результатом расширение трещины.

Поэтому очень важна способность твердых частиц деформироваться (дробиться) в процессе обработки пласта под давлением. Идеальный материал для упрочнения ствола должен состоять из относительно крупных шероховатых частиц одинакового размера и значительной шероховатости, чтобы частицы не образовывали слишком плотную упаковку: например, это может быть диатомовая земля или барит. Обработку по методу контроля напряжения закрытия трещин часто приходится проводить в несколько стадий.

При обработке пробка из частиц может образовываться в любой части трещины — не обязательно у ее устья, как в методе создания клетки напряжений. Для работы этого механизма предел прочности при сжатии упрочняющего материала не так важен, а ключевое значение имеет высокая скорость фильтрации, поскольку это ускоряет создание неподвижной пробки. Утечка фильтрата может происходить из-за возникновения микротрещин или роста существующей трещины, что обеспечит удаление жидкости из материала для упрочнения ствола и создание пробки до полной потери бурового раствора [5].

Изоляция ствола скважины. В этом случае предлагаются различные способы изоляции ствола скважины в процессе бурения для герметизации пласта аналогично его защите обсадной колонной. Данный метод предусматривает снижение проницаемости породы практически до нуля путем формирования на ее поверхности слоя материала с равным или более высоким пределом прочности.

Для достижения этого эффекта, который фактически состоит в нанесении цементоподобного слоя на поверхность ствола скважины, применяются различные материалы с низкой фильтруемостью. Такой барьер служит для изоляции ствола скважины как от притока флюида, так и от давления в скважине. Новые достижения в химическом составе бурового раствора привели к созданию микро- и наночастиц, которые могут снижать проницаемость до ничтожно малых значений, однако изоляция давления в скважине остается недостижимой задачей. Защитный эффект, который предположительно возникает при бурении обсадными трубами или хвостовиком, может служить примером изоляции скважины: мелкие частицы налипают на ствол скважины, создавая прочный барьер для притока флюида.

Существуют и такие методы упрочнения ствола, которые не подпадают однозначно под описанную классификацию. Примером может служить технология борьбы с поглощением Losseal — применение специально сформированной пачки, состоящей из смеси гибких и твердых волокон, взаимно усиливающих действие друг друга по тампонированию трещин и остановке потери бурового раствора.

Теоретически, данный метод обработки создает непроницаемую сетку, препятствующую попаданию раствора в трещину и достаточно прочную, чтобы выдержать дополнительное повышение давления, обусловленное повышением плотности бурового раствора. Такую пачку можно закачать через забойную компоновку или открытую бурильную трубу. Ее применяют в стволах с естественной трещиноватостью, в истощенных пластах, а также в зонах поглощения, возникших в процессе бурения [6].

Анализ методов. Существуют фундаментальные различия между описанными методами упрочнения ствола скважины (рис. 3). Поскольку невозможно увидеть, что именно происходит внутри трещины в ходе обработки ствола скважины с целью его упрочнения, отраслевым экспертам не удалось прийти к единому мнению относительно того, какой механизм действительно действует.

Отсутствие единой согласованной позиции в отрасли по этому вопросу послужило причиной для создания целого ряда общепромышленных проектов по изучению

основных принципов тампонирования трещин, разработке технологических решений и установлению отраслевых норм исследований по упрочнению ствола скважины.

Категория	Метод повышения устойчивости к росту трещин	Метод создания клетки напряжений	Метод контроля напряжения закрытия трещин
Способ применения	Непрерывное добавление в раствор	Непрерывное добавление в раствор или отдельными пачками под давлением	Непрерывное добавление в раствор или отдельными пачками под давлением
Используется ли пластовое напряжение или напряжение закрытия трещин?	Нет	Нет	Да
Требуется ли изоляция вершины трещины?	Да	Нет	Да
Требуется ли высокая фильтруемость?	Нет	Нет	Да
Прочность частиц материала для упрочнения ствола	Не важно	Важно в некоторой степени	Не важно
Размер частиц материала для упрочнения ствола	Важно	Важно	Не важно
Тип частиц материала для упрочнения ствола	Важно	Важно	Не важно

Рис. 3. Различия между методами упрочнения ствола скважины [5]

Многочисленные операторы совместно выделяют средства на реализацию исследовательских проектов, направленных на поиск методов борьбы с потерей циркуляции, главной целью которых является упрочнение ствола скважины. В современном мире, когда нефтегазовая отрасль пытается удовлетворить растущий глобальный энергетический спрос путем использования все более дорогостоящих и нетрадиционных ресурсов углеводородов, велика вероятность того, что она будет активно использовать технологические решения по упрочнению ствола скважины для повышения эффективности бурения.

Литература

1. Булатов А.М., Проселков Ю.М., Рябченко В.М. Поглощение промывочной жидкости. - М: Недра, 2009.
2. Ахмадеев Р.Г., Данюшевский В.С. Химия промывочных и тампонажных жидкостей. - М.: Недра, 2008.
3. Рябченко В.И., Круглицкий Н.Н, Булатов А.И., Мариампольский Н.А. Промывочные жидкости и тампонажные растворы. – М. Недра, 2007.
4. Булатов А.М., Проселков Ю.М., Рябченко В.М. Поглощение промывочной жидкости. - М: Недра, 2009.
5. Джон Кук, Фред Гроукок, Цюань Го, Майк Ходдер, Эрик ван Орт. Stabilizing the Wellbore to Prevent Lost Circulation. *Oilfield Review* Winter 2011/2012: 23, no. 4.
6. Рябов Н.И. Методы предупреждения и ликвидации поглощений бурового раствора при бурении нефтяных и газовых скважин. Самара, 2003. – 64 с.