



Первичное цементирование с использованием разбухающих пакеров FREECAP

ЖК

Т. ДАВИС,
технический директор
TAM International

В.Э. ВИДАВСКИЙ,
глава филиала в РФ
Vitaly.Vidavsky@tamintl.com

А.В. ШАБАРШОВ,
технический директор филиала в РФ
TAM Норт Си Лтд.

Представлена технология применения заколонных разбухающих пакеров для повышения качества крепления скважин и борьбы с перетоками флюидов.

Ключевые слова:
TAM Интернэшнл,
TAM Норт Си Лтд.,
заколонные перетоки, наливной, наполняемый пакер, пакер затрубного пространства

PRIMARY CEMENTING USING SWELLABLE PACKERS FREECAP

T. DAVIS, V. VIDAUSKY, A. SHABARSHOV, TAM International Inc.

Technology of Swell Annulus Packers use for well integrity improvement and prevention of fluid migration through micro-annulus.

Keywords: TAM international, TAM Nort Si Ltd., behind-the-casing flows, liquid, filled packer, packer annular space

Введение

Цементирование является основным методом изоляции затрубного пространства нефтяных скважин с самого появления этой отрасли промышленности. Это самостоятельная дисциплина, в которой заняты технические эксперты, постоянно работающие над улучшением материалов и технологий их применения.

Зачастую невозможность разобщения интервалов с помощью цементирования обусловлена отсутствием передовых методов. Когда цемент не обеспечивает требуемой изоляции затрубного пространства, результат может быть следующим:

- обводнение скважины;
- потери продукции из-за межпластовых перетоков;
- миграция газа, обнаруженная по повышенному затрубному давлению/повышенной скорости потока в затрубном пространстве;
- загрязнение мелкозалегающих водонесных горизонтов.

Обводнение скважины уменьшает ценность актива и приводит к дополнительным капитальным/эксплуатационным затратам на ремонтные работы. Это также может привести к задержке добычи нефти. Уделяя особое внимание процессу разобщения интервалов на этапе цементирования, можно минимизировать многие проблемы, связанные с разобщением интервалов. С помощью подробного анализа программы цементирования можно определить возможности для улучшения как материалов, так и качества выполнения работ. Это особенно важно в зонах, где несколько продуктивных интервалов (нефть и вода) залегают непосредственно друг над другом и имеют различные пластовые давления. Одним из методов улучшения герметичности затрубного про-

странства и общей технологии цементирования является использование разбухающих пакеров. Эта практика получила широкое применение особенно в последние годы.

РАЗБУХАЮЩИЕ ПАКЕРЫ

Многих осложнений в разобщении интервалов, возникающих из-за некачественного первичного цементирования, можно избежать путем установки разбухающих пакеров в обсадную колонну. В производстве разбухающих пакеров используют эластомеры, сорбирующие ту или иную жидкость и самостоятельно увеличивающиеся в размерах при контакте со скважинной средой. Такими флюидами могут являться буровой раствор, применявшийся при бурении ствола, буферная жидкость для первичного цементирования, а также добываемые или закачиваемые жидкости. Из смеси эластомеров изготавливают специальные составы, разбухающие в водных или углеводородных средах. При разбухании эластомерный уплотнительный элемент соприкасается со стенкой скважины или цементным камнем. После такого соприкосновения разбухание эластомера продолжается, что создает стойкий к действию давления герметичный контакт между уплотнительным элементом и стенкой скважины. В тех местах, где цемент отсутствует, уплотнительный элемент обеспечивает гидравлическое разобщение за счет собственной длины и создаваемого давления. Такие пакеры следует устанавливать на тех глубинах, где разобщение интервалов наиболее необходимо.

Существует несколько способов изготовления разбухающих пакеров. Разбухающие пакеры для первичного цементирования имеют конструкцию, в которой разбухающий эластомер обернут и приклеен вокруг укороченной обсадной трубы. Труба-основание имеет такие же диаметр, удельный вес и марку стали, как и обсадная колонна, в которой будет установлен пакер. Соединения пакера – как и у обсадной колонны. На обеих сторонах эластомерного уплотнения используются антиэк-



Рис. 1. Разбухающий пакер FREECAP



трузионные торцевые кольца для защиты эластомера в процессе установки, а также для обеспечения антиэкс-трузионной опоры при возникновении перепада давления на пакере (рис. 1).

Существуют два основных типа эластомеров: один разбухает в присутствии жидкости на углеводородной основе, другой – в присутствии жидкости на водной основе. Кроме эластомеров, разбухающих в нефти и воде, есть и гибридные эластомеры (способность разбухать в нефти и/или воде).

Для активации пакеров не требуются манипуляции с трубой или гидравлическое давление. Когда эластомер вступает в контакт с жидкостью разбухания, она впитывается в структуру эластомера. При впитывании жидкости эластомер растягивается или увеличивается в диаметре до тех пор, пока пакер не соприкоснется со стенкой ствола скважины, или пока не заполнится канал или пуста в цементном камне. Разбухание продолжается, создавая внутреннее давление разбухания. Оно, давление разбухания, создает стойкий к действию давления герметичный стык при подаче дифференциального давления. Давление разбухания является функцией свойств жидкости разбухания, температуры и времени.

Тип эластомера определяется заканчиванием или предполагаемой добываемой жидкостью, а также параметрами ствола скважины, в первую очередь забойной температурой. Если предполагаемая жидкость имеет углеводородную основу, следует спускать пакер, разбухающий под действием углеводородов; если предполагаемая жидкость имеет водную основу, следует спускать пакер, разбухающий под действием воды. В случае неопределенности, нужно спускать гибридный разбухающий пакер.

Обводнение скважины уменьшает ценность актива и приводит к дополнительным капитальным/ эксплуатационным затратам на ремонтные работы. Это также может привести к задержке добычи нефти. Уделяя особое внимание процессу разобцения интервалов на этапе цементирования, можно минимизировать многие проблемы, связанные с разобцением интервалов.

Размеры пакера определяются диаметром компоновки заканчивания, диаметром ствола скважины, а также вероятностью закачки цементного раствора в зону вокруг пакера. Длина эластомерного уплотнения определяется предполагаемыми перепадами давления, которые будут возникать в процессе добычи. Как правило, НД пакера на 0,375 дюймов (9,525 мм) меньше диаметра открытого ствола скважины, но часто бывает меньше для предотвращения ЭЦП и создания необходимой толщины цементного кольца. Если исторические данные по эксплуатации показывают, что цементирование выполнено успешно, тогда следует использовать пакер с уменьшенным диаметром для обеспечения достаточного для цементирования зазора кольцевого пространства и в то же время для обеспечения герметичности в случае образования каналов в цементном камне или в микрозазоре затрубья.

ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМ И ИХ РЕШЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ РАЗБУХАЮЩИХ ПАКЕРОВ

Проблема потери герметичности затрубного пространства возникает в течение определенного времени – в течение нескольких недель или нескольких лет после первичного цементирования. Причины могут быть разными, от неполного вытеснения бурового раствора, раннего притока газа в процессе гидратации цемента до разрушения цементного камня от растяжения на раннем этапе эксплуатации скважины. На любом разрабатываемом месторождении, где есть проблемы с качеством цементирования, необходимо проводить критический анализ процедур бурения и цементирования для определения возможностей улучшения и потенциального устранения проблем. Для этих целей разбухающие пакеры признаны адекватным решением.

Не существует способов непосредственного определения качества очистки интервала от бурового раствора во время цементирования. Из-за неполного вытеснения раствора в кольцевом пространстве могут оставаться каналы из бурового раствора или слои глинистой корки, которые препятствуют разобцению. Плохое вытеснение бурового раствора может происходить по ряду причин. Основным фактором здесь является смещение обсадной колонны от оси скважины, из-за чего возникает асимметрия потока раствора.

Асимметрия потока раствора возникает из-за смещения обсадной колонны от оси скважины. При смещении обсадной колонны в стволе разница в скорости высоковязких растворов в широкой и узкой частях затрубного пространства может достигать соотношения 4:1. Чтобы преодолеть этот фактор, для хорошего вытеснения бурового раствора требуются высокие скорости закачки. Создаваемые при этом значения эквивалентной циркуляционной плотности могут препятствовать достижению скоростей закачки, необходимых для вытеснения бурового раствора в нижней части затрубного пространства у стенки ствола.

На рис. 2 показано, что из-за асимметрии потока вокруг смещенной в открытом стволе обсадной колонны может оставаться невытесненный буровой раствор. Он может образовывать канал перетоков между пластами или серьезно ухудшать целостность скважины.

Считается, что нарушение герметичности затрубного пространства происходит по одному из двух механизмов: разрушение цементного камня и/или образование затрубного микрозазора. Эти дефекты обычно проявляются только после того, как скважина проработает определенное время. Самые общие признаки нарушения герметичности заколонного пространства – это повышение обводненности, потеря продукции скважины в соседние интервалы, а также повышенное затрубное давление. Даже для того, чтобы выявить эти осложнения, могут потребоваться значительные расходы, например, на промысловый каротаж. Для восстановления герметичности затрубного пространства традиционно применяется цементирование под давлением. Стоимость таких РИР весьма значительна.

Во многих случаях нарушение герметичности цементного стакана происходит даже при высоком качестве первичного цементирования. За последние десять лет технологиях цементных растворов были серьезно улучшены. Такие растворы часто разрабатывают под конкретные условия работ. Тем не менее, лабораторные испытания свойств цемента и закачки раствора выполняются в уменьшенном масштабе

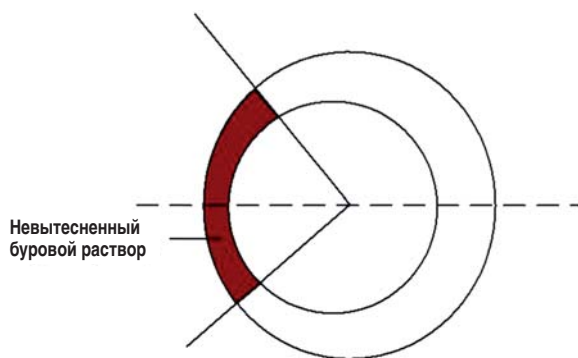


Рис. 2. Асимметрия потока

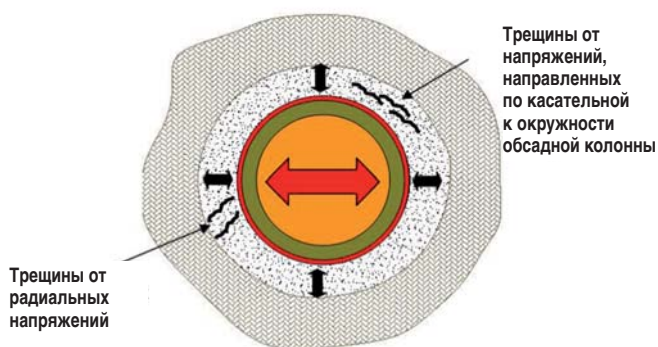


Рис. 3. Образование трещин в цементной стяжке из-за напряжений, вызванных колебаниями давления и/или температуры

и в условиях, которые не эквивалентны реальным условиям в скважине. По этой причине, они не могут спрогнозировать ряд фактических условий, которые приводят к нарушению цементного камня. Одним из таких условий является разрушение под действием растягивающих нагрузок. В процессе эксплуатации скважины цементное кольцо в большинстве случаев разрушается из-за растягивающих нагрузок. Предел прочности цементного камня на растяжение составляет ок. 25 % от его прочности на сжатие. Существуют две основные причины возникновения избыточных растягивающих нагрузок:

- 1) избыточное давление опрессовки обсадных колонн, нарушающее цементный камень в нижней части обсадной колонны (от половины до трех четвертей ее длины);
- 2) высокая температура в процессе добычи в верхней части ствола (от четверти до двух третей его длины).

На рис. 3 показано повреждение цементной стяжки.

Расширение обсадной колонны при изменениях давления и температуры создает в цементном стакане напряжения, направленные по касательной к окружности и в радиальном направлении (рис. 4). Радиальные напряжения направлены перпендикулярно оси скважины в толщу цементного камня. Перпендикулярно радиальному действует касательное по окружности (тангенциальное) напряжение. В наибольшей степени радиальное и тангенциальное напряжения сконцентрированы в месте соприкосновения обсадной трубы и цементного камня. Предотвратив возникновение таких напряжений на внутренней поверхности цементного стакана, можно было бы избежать его разрушения.

Здесь разбухающий пакер полностью окружен цементом, а избыточные напряжения, вызванные измене-

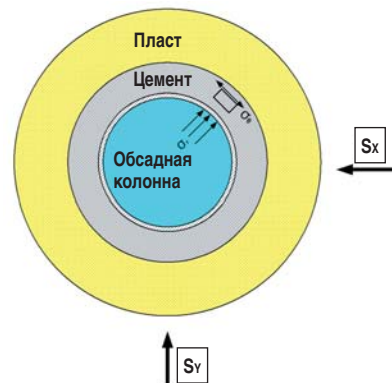


Рис. 4. Стандартная модель напряжений для расчета разрушения цементного кольца

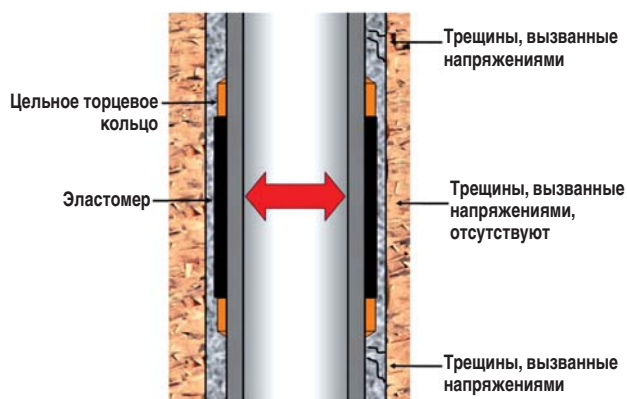


Рис. 5. Разбухающий цементировочный пакер FREECAP

ниями давления и температуры, поглощаются за счет сжатия эластомерного элемента. На рис. 5 показано, что эластомерное уплотнение длиной 20 футов (6,096 м) может защитить от повреждения цементный стакан высотой 20 футов (6,096 м), что достаточно для разобщения флюидов.

Торцевые упорные кольца уплотнительного элемента разбухающего пакера помогают ограничить изменение размера обсадной трубы в радиальном направлении. Это решение увеличивает толщину металла вдоль уплотнения, создаваемого эластомерным элементом, что снижает вероятность смещения в диаметральной плоскости. На рис. 6 сравниваются сдвиги в диаметральной плоскости для обсадной колонны размером 5,5 дюйма (139,7 мм) и для такой же колонны, в которой установлен пакер. Можно увидеть, что это смещение значительно уменьшилось. Тем не менее, даже такого смещения может оказаться достаточно для разрушения цементной стяжки.

В то время, как торцевые упорные кольца ограничивают величину смещения, эластомерный материал может сжиматься и поглощать смещение в диаметральной плоскости. В результате этого цементное кольцо вокруг разбухающего пакера не подвергается избыточным нагрузкам, которые могли бы вызвать разрушительные напряжения. На рис. 7 показана зависимость объемной деформации эластомера, в соответствии с которой его объем уменьшается при повышении давления. Результаты были получены при испытании на трехосное сжатие, представляющее нагрузки на пакер, полностью окруженный цементным камнем.

В конечном итоге, включение в конструкцию обсадной колонны пакера с уплотнительным эластомерным элементом длиной 20 футов (6,096 м) дает гарантии сохранения интервала неповрежденного цементного кам-



Рис. 6. Смещение обсадной колонны в диаметральной плоскости относительно разбухающего пакера FREECAP

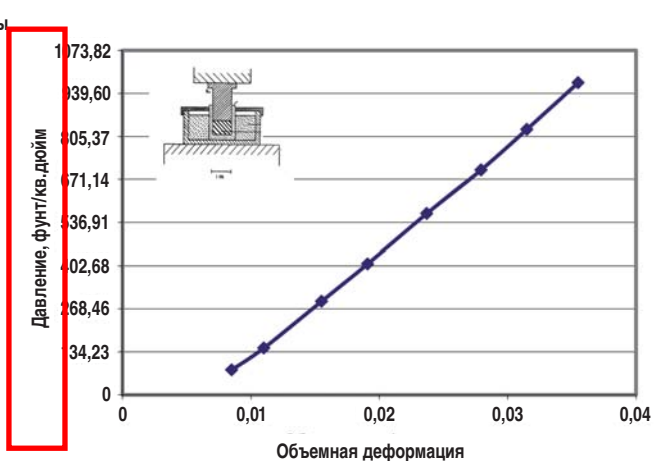


Рис. 7. Объемная деформация относительно давления

ня длиной 20 футов (6,096 м), даже если в процессе эксплуатации скважины будут возникать напряжения, способные разрушить цементную стяжку. Эти пакеры можно устанавливать, в частности, в следующих критических узлах конструкции скважины:

- В кондукторе или технической колонне для предотвращения повышенного затрубного давления;
- Между известными водоносными и эксплуатационными горизонтами;
- Между эксплуатационными и истощенными горизонтами;
- В интервалах, где ожидается разная скорость истощения эксплуатационных объектов.

Заколонные перетоки газа во время и после цементирования являются частой проблемой на месторождениях, где нефтяные и газовые коллекторы разрабатываются первичными способами, присутствуют мелкозалегающие газовые пласты, а испытания на гидроразрыв не проводятся регулярно. Пока разобщение интервалов в газовой скважине не достигнуто, может происходить заколонная миграция газа в более мелкозалегающие пласты, что оборачивается дорогостоящей проблемой при их неожиданном вскрытии. Для контро-

ля заколонных перетоков газа в настоящее время с разной степенью успешности используются несколько методов. Очень часто происходит ситуация, когда возникает приток газа при потере гидростатического давления столба цемента над газовым интервалом, когда цемент набирает прочность на сдвиг. Распространенным методом предотвращения этого является закачка цемента в зону над известным мелкозалегающим газоносным горизонтом с помощью второй ступени цементирования. Это достигается путем раздувания заколонного пакера над газовым интервалом с последующей циркуляцией цементного раствора через МСЦ. Миграция газа также может происходить через микроззор. Разбухающие пакеры доказали свою эффективность в предотвращении перетоков.

Выводы

Цементирование является главным способом изоляции затрубного пространства нефтяных скважин с самого появления этой отрасли промышленности. Хотя цемент все еще является основным средством герметизации затрубного пространства в большинстве случаев, существуют ситуации, в которых сам по себе он оказывается недостаточным. Разбухающие пакеры успешно дополняют цемент для обеспечения долгосрочной герметичности затрубного пространства.

Используя разбухающие пакеры для первичного цементирования можно достичь следующих целей:

1. Предотвращение заколонных перетоков в микроззоре между обсадной колонной и цементным кольцом;
2. Блокирование заколонного перетока за счет заполнения и герметизации каналов в цементном камне, образовавшихся из-за плохого вытеснения бурового раствора;
3. Создание режима потока в зоне вокруг пакера, способствующего хорошему удалению бурового раствора;
4. Защита нижней стенки ствола наклонно-направленной скважины от негативного воздействия асимметрии потока в затрубном пространстве.

Стоимость разбухающего пакера в дополнение к общей стоимости компоновки заканчивания по сравнению со временем и деньгами, необходимыми для решения проблемы перетоков, очень небольшая. Включив разбухающие пакеры в компоновку заканчивания скважины, можно добиться значительной экономии на внутрискважинных работах в течение всего срока эксплуатации скважины. ■

Многих осложнений в разобщении интервалов, возникающих из-за некачественного первичного цементирования, можно избежать путем установки разбухающих пакеров в обсадную колонну. В производстве разбухающих пакеров используют эластомеры, сорбирующие ту или иную жидкость и самостоятельно увеличивающиеся в размерах при контакте со скважинной средой. Такими флюидами могут являться буровой раствор, применявшийся при бурении ствола, буферная жидкость для первичного цементирования, а также добываемые или закачиваемые жидкости.