

## НОВОЕ ПОКРЫТИЕ С ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ ОБСАДНЫХ КОЛОНН

Петров Н.А.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

*email: napetroff@inbox.ru*

*Рассмотрено техническое решение по креплению скважины эксплуатационной колонной с покрытием в нижней части (снаружи и внутри) материалом «Изоллат». При этом в призабойную зону напротив колонны с покрытием закачивается порция цементного раствора, обработанная расширяющей добавкой СИГБ.*

Ключевые слова: эксплуатационная колонна, теплоизоляционное покрытие, микросферы, цементный раствор, расширяющая добавка, гидрофобизация, антикоррозионные свойства, деформация, степень сцепления, асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО)

Повышение качества крепления скважин является одним из звеньев эффективного заканчивания скважин, в целом определяющее качество строительства горной выработки. Качество цементирования и вторичного вскрытия продуктивных пластов перфорацией в последующем сказывается на дебитах нефти, периоде безводной эксплуатации скважины, а также степени обводненности продукции скважин.

Для улучшения контакта «цементный камень - обсадная колонна» ранее на практике применялось смолоспесчаное покрытие на трубах [1]. В данном случае повышение сцепления достигалось увеличением шероховатости поверхности труб. Однако хрупкость смолоспесчаного покрытия высокая и, как следствие, способность к растрескиванию тоже высока. В результате при транспортировке обсадных труб, хранении, спуске их в скважину и перфорации прострелочно-взрывными методами в самом покрытии образуется сеть трещин. Это снижает качество изоляции и может привести к заколонным перетокам флюидов.

Основными причинами ускоренного обводнения продукции нефтяных скважин как раз являются перетоки пластовых флюидов в заколонном пространстве.

Водоизоляционные работы дорогостоящи, трудоемки и продолжительны. Причем их успешность, помимо всего прочего, зависит и от исходного состояния

цементной крепи и степени защищенности металлических обсадных труб от агрессивных сред. Это способствует сужению или расширению возможностей по применению технологий, составов и устройств для проведения технологических операций. В связи с этим важное значение приобретают технико-технологические приемы по предупреждению водоперетоков на стадии крепления и цементирования скважин (на этапах заканчивания скважин).

Рассмотрим как можно улучшить качество крепления скважин за счет покрытия на обсадных трубах, и какими свойствами оно должно обладать.

Учитывая имеющийся опыт и вышеизложенное, покрытие не должно быть хрупким.

При проведении операций по цементированию, ОЗЦ, опрессовке и перфорации обсадная колонна «дышит» (сжимается, растягивается). Поэтому целесообразно, чтобы покрытие обладало способностью упругой деформации в диапазоне деформаций эксплуатационной колонны ходовых размеров.

При наличии покрытия на жестко-упругих металлических трубах создается своеобразная прослойка между обсадной колонной и цементным кольцом. Поэтому желательно, чтобы покрытие было упругим и достаточной толщины для уменьшения нагрузок обсадной колонны (при ее расширении) на цементное кольцо до величин ниже критических его разрушения.

При создании покрытия на металлических трубах затрачивается достаточно много времени, средств и материалов. В таком случае имеет смысл пойти еще на незначительные затраты и придать покрытию антикоррозионные свойства.

Часто в скважину закачивают перфорационную жидкость с температурой окружающей среды. Это приводит к охлаждению призабойной зоны пласта (ПЗП). Вследствие этого происходит, выпадение асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) и проницаемость коллектора в околоскважинной зоне снижается. Для уменьшения отрицательных последствий выпадения АСПО желательно, чтобы покрытие обладало теплозащитными свойствами.

В последние годы разрабатывается множество различных покрытий. Наиболее перспективные покрытия с теплоизоляционными свойствами включают стеклянные, керамические и силикатные микросферы, заполненные воздухом. Подобные материалы были впервые разработаны Национальным аэрокосмиче-

ским центром США. Однако в отличие от керамических пластин в России был создан материал «Изоллат» в виде густой вязкой жидкости (водной эмульсии полимерных смол с микросферами), удобно наносимой на поверхность любой формы. Микросферы благодаря их особому расположению после высыхания полимерной композиции преломляют, отражают и рассеивают лучистое тепло [2]. С использованием покрытия «Изоллат» предложены изменения в технологии крепления нефтяных скважин [3].

Сущность обычного прямого цементирования (рис. 1) заключается в следующем. В скважину спускают двухсекционную обсадную колонну. Нижняя секция (напротив продуктивного пласта) покрыта внутри и снаружи слоем «Изоллат». При этом цементный раствор закачивают также двумя пачками. Причем во вторую пачку, находящуюся напротив покрытых обсадных труб вводят расширяющую добавку. Кроме того, перед продавочной пробкой закачивают гидрофобную смазочную жидкость.

Новизна способа заключается в том, что на нижнюю часть эксплуатационной колонны (по меньшей мере в планируемой зоне нахождения облагороженной перфорационной жидкости) предварительно наносится «Изоллат». Последний, согласно ТУ 2216-001-59277205-2002, помимо теплоизоляционных свойств, одновременно является звукоизоляционным и, главное, антикоррозионным. Принцип антикоррозионной защиты данного материала заключается в блокировании доступа агрессивных сред (кислот, щелочей, водных растворов минеральных солей) к покрытой поверхности. Однако, в таблице 2 названного ТУ указывается, что водопоглощение покрытия в течение суток составляет 0,4 %. Нами было установлено, что водопоглощение составляет 30 гр/м<sup>2</sup>/сут и менее. Из этого следует, что в относительно короткий промежуток времени изоляционное покрытие способно эффективно выполнить свои антикоррозионные функции. Но полностью пропитавшееся агрессивной средой покрытие в дальнейшем существенно ослабит свои защитные свойства, то есть с данного момента начнется коррозионный процесс защищаемого материала. Учитывая, что от момента цементирования до перфорации на практике кустового разбуривания месторождений необходимо несколько (1-3) месяцев, то покрытие в трубном пространстве в течение этого времени, пропитается агрессивной средой (например, солянокислотным или солевым раствором).

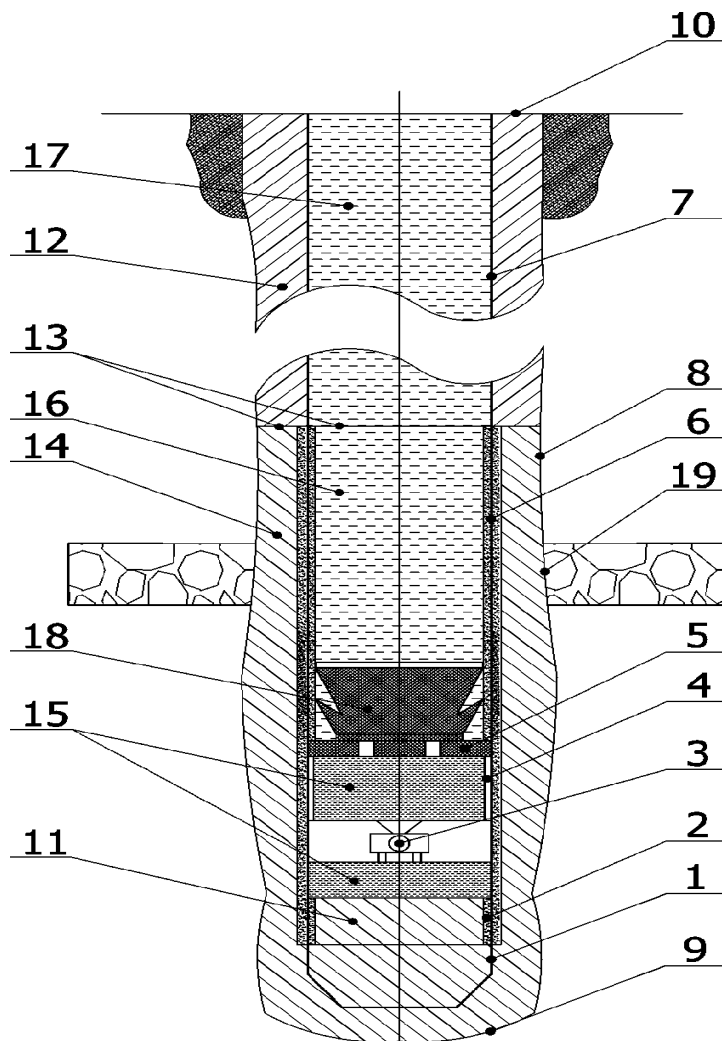


Рисунок 1. Процесс цементирования в момент получения «стоп»:

- 1 – башмак;
- 2 – заливочный патрубок;
- 3 – обратный клапан;
- 4 – промежуточный патрубок;
- 5 – кольцо «стоп»;
- 6 – первая секция обсадной колонны, покрытая внутри и снаружи материалом «Изоллат»;
- 7 – последующие секции непокрытой обсадной колонны;
- 8 – ствол скважины;
- 9 – забой скважины;
- 10 – устье скважины;
- 11 – цементный стакан;
- 12 – первая пачка обычного цементного раствора;
- 13 – уровень между границами облагороженной и обычной перфорационной жидкости в скважине, двух пачек цементного раствора в заколонном пространстве и на границе раздела двух секций эксплуатационной колонны;
- 14 – вторая пачка цементного раствора с расширяющей добавкой;
- 15 – гидрофобная (смазочная) жидкость;
- 16 – первая порция модифицированной перфорационной жидкости (или продавочная жидкость);
- 17 – вторая порция обычной перфорационной (или продавочной) жидкости (тех. вода, водный раствор полимеров, солевой раствор, углеводородная жидкость и пр.);
- 18 – разделительная (продавочная) цементировочная пробка;
- 19 – продуктивный пласт (призабойная зона пласта – ПЗП).

В связи с этим предлагается другое технологическое новшество – закачка при цементировании перед разделительной пробкой смазочной гидрофобной жидкости (например, обычной углеводородной жидкости – минерального масла и пр.). Последняя, в свою очередь, непосредственно перед контактом с агрессивной средой (первой продавочной порцией, которая одновременно является и перфорационной жидкостью) размазывается тонким слоем на самом антикоррозионном покрытии из материала «Изоллат».

Таким образом, создается двойной барьер для агрессивных сред из покрытия «Изоллат» и гидрофобного слоя на нем. Именно гидрофобные (водонерастворимые, водонепроницаемые) свойства закачиваемой жидкости позволят значительно снизить пропускную способность через пористое покрытие «Изоллат» водных (гидрофильных) растворов кислот и солей.

Так как антикоррозионное покрытие «Изоллат» ранее не использовалось для защиты обсадных труб в скважинах, то вполне естественно новыми являются и граничные значения применимости по толщине покрытия. Максимальная толщина слоев снаружи и внутри труб ограничивается технологическими особенностями строительства скважины.

В частности, необходимо, чтобы внутри труб мог свободно проходить жесткий цилиндрический шаблон. Разница между внутренним номинальным диаметром трубы и наружным диаметром шаблона для труб нефтяного сортамента составляет 3 - 5 мм [4]. В частности для эксплуатационных колонн, обычно диаметром 114 - 219 мм, эта разница равна 3 мм. Значит, толщина покрытия «Изоллат» внутри труб не должна превышать 1,5 мм. Согласно ТУ (таблица 2) толщина одного слоя покрытия «Изоллат» составляет 0,38 мм. Исходя из практики работы с материалом «Изоллат» данная величина варьировалась, примерно, в диапазоне  $0,38 \pm 0,13$  мм. Учитывая, что при тонком нанесении слоя возможен непрокрас поверхности, необходимо либо нанести два тонких слоя  $(0,38 - 0,13) + 0,25 = 0,50$  мм), либо один толстый слой  $0,38 + 0,13 = 0,51$  мм. Выходит, минимальная толщина слоя на внутренней поверхности труб должна быть 0,5 мм. При меньшей толщине слоя теряется смысл нанесения защитного покрытия из-за его достаточно быстрой пропитки агрессивной средой.

Перейдем к обоснованию толщины покрытия «Изоллат» на наружной поверхности труб. В процессе спуска обсадных труб в скважину применяют специальный инструмент – элеваторы. Разница между наружным диаметром труб нефтяного сортамента и внутренним диаметром элеваторов для захвата трубы составляет 4 - 7 мм. А конкретно для эксплуатационной колонны диаметром 0,146 – 0,219 мм, эта разница составляет 4 мм [5]. Значит, максимальная толщина покрытия «Изоллат» для того, чтобы элеватор мог закрыться, должна составлять 2 мм.

При проведении исследований о влиянии толщины слоя покрытия «Изоллат» (нанесенного на металлическую втулку) на сцепление цементного камня с этим же покрытием (табл. 1), было установлено, что при толщине менее 0,5 мм напряжения сдвига составляют менее 50 % от напряжения сдвига цементного камня, непосредственно контактирующего с металлом. Далее с увеличением толщины слоя сцепление цементного камня с покрытием возрастает. Поэтому на наружной поверхности труб также целесообразно создавать покрытие толщиной не менее 0,5 мм.

Расширяющая добавка цементного раствора создает уникальные условия по дополнительному силовому воздействию на наружное покрытие труб, в отличие от контракционно сжимающегося камня из обычного портландцемента. Объем цементного раствора (обработанного расширяющей добавкой) взаимосвязан с объемом кольцевого пространства скважины напротив покрытых труб.

Существенным отличием в способе является то, что покрытие «Изоллат» на внутренней поверхности труб помимо вышперечисленных антикоррозионных свойств в процессе перфорации сглаживает возникающий импульс давления. Дело в том, что силикатные микрошарики, заполненные разряженным воздухом, при резком скачке давления схлопываются. А высохший полимерный каркас покрытия становится упругим и частично демпфирует. Все это способствует уменьшению амплитуды давления, воздействующего на обсадную колонну и резко расширяющего ее, колонна, в свою очередь, меньше растрескивает цементный камень.

С другой стороны звукоизоляционные свойства материала «Изоллат» уменьшают дальность распространения ударной волны вверх по обсадной колонне.

Таким образом, внутренний слой покрытия помимо защиты обсадных труб от коррозионноактивных перфорационных сред одновременно уменьшает негативные последствия от взрыва зарядов перфоратора.

Следующим значимым отличием является то, что закачиваемая смазочная гидрофобная жидкость (например, нефть, моторное или трансмиссионное масло и пр.), помимо описанного антикоррозионного свойства дополнительно выполняет еще две функции. Так она, смазывая стенки обсадной колонны, облегчает прохождение разделительной пробки в суженном нижнем пространстве, то есть где обсадная колонна покрыта на 0,5 – 1,5 мм слоем «Изоллат». Кроме того, смазочная гидрофобная жидкость в конце цементирования отмывает обратный клапан от цементного раствора, после чего надежность его срабатывания значительно возрастает.

Очередное существенное отличие заключается в следующем.

Наружное покрытие «Изоллат» на обсадной колонне с одной стороны выполняет также как и внутреннее свои известные функции: антикоррозионные, звукоизоляционные теплоизоляционные. Но оно также, как и внутреннее покрытие демпфирует упругую деформацию расширения металлической обсадной колонны, возникающую при опрессовке и перфорации, тем самым защищает хрупкий цементный камень. Другими словами при расширении обсадной колонны, наружный слой «Изоллат» просто сжимается в радиальном направлении и не передает напряжение на цементный камень.

По периметру же обсадной трубы покрытие наоборот удлиняется. Положительным свойством покрытия «Изоллат» является то, что оно способно к достаточно большому удлинению (в особых условиях до 65 %, таблица 2 ТУ), в том числе и без нарушения контакта с поверхностью и сплошности (без разрывов) самого слоя, как было выявлено, до 5 %. Для сравнения дадим справку, что при опрессовке эксплуатационных колонн на 10 МПа [6] линейное удлинение по диаметру трубы согласно расчетам составляет, 0,025 - 0,049 %. Даже при экстремальном опрессовочном давлении в 20 МПа деформация по периметру труб составляет всего 0,050 - 0,082 %. То есть возможность деформирования покрытия «Изоллат» на несколько порядков превышает деформацию при опрессовке. Но прикумулятивной перфорации локальные импульсы давления на несколько порядков

(до 200 МПа [7]) превышают опрессовочное. Поэтому в данном случае свойство относительного удлинения покрытия без разрыва на 5 % будет в полной мере востребовано. Звукоизоляционные свойства наружного (впрочем, как и внутреннего) покрытия не позволяют далеко распространиться по обсадной трубе, фронту волны давления и в радиальном направлении к цементному камню и по горной породе.

Распространение звуковых импульсов в области проникновения фильтратов технологических растворов (буровых, цементных, перфорационных) в коллектор горной породы может негативно сказаться на проницаемости призабойной зоны по нефти из-за возникновения при этом устойчивых эмульсий фильтратов с пластовыми флюидами. А звукоизоляционное свойство покрытия способствует уменьшению вероятности возникновения данных нежелательных процессов. Это положительное свойство покрытия впервые описано и может проявиться только в горном деле.

При твердении цементного раствора и в дальнейшем при освоении в скважине происходят температурные изменения, в результате чего обсадная колонна по очередности растягивается и сжимается. В этом случае различные слои покрытия могут смещаться относительно друг друга, упруго деформировать и релаксировать, не передавая перемещение обсадной колонны цементному камню, то есть не срывая последний с горной породы и не увлекая за собой. А это еще один немаловажный вклад покрытия в повышение герметичности в затрубном пространстве, ранее в скважинах не использованный.

Силы сцепления цементного камня с металлом при проведении лабораторных исследований оказались больше, чем того же цементного камня с покрытием на той же металлической втулке. Сдвиг происходит в основном по материалу покрытия.

Однако скважинные условия несколько отличаются от лабораторных. Во-первых, в скважине из-за температурных изменений, постоянно происходят вертикальные подвижки (удлинение - сжатие) обсадной колонны относительно цементного кольца, а в лабораторных условиях нет. Поэтому в реальных условиях базовые значения (сцепления цементного камня с трубой) будут несколько меньше. Полученные же лабораторные данные сцепления цементного камня с покрытием на трубе не будут значительно отличаться от реальных величин из-за воз-



возможности покрытия сглаживать перемещения собственной деформацией слоев покрытия.

Кроме того, по мнению Крылова Д.А. [8] на контакт цементного камня с колонной влияет изменение давления в затрубном пространстве скважины. На начальном этапе твердения цементного раствора (при ОЗЦ) внешнее давление в 1,5 - 2 раза превышает внутреннее в колонне и последняя находится в сжатом состоянии. Отметим, что это происходит в случае, когда обратный клапан срабатывает, и на устье не создается избыточное давление. По мере твердения цементного раствора давление с внешней стороны уменьшается, и колонна начинает расширяться. В результате, чем глубже скважина, тем выше плотность контакта цементного камня с колонной.

Чтобы смоделировать расширение обсадной трубы в лабораторных условиях, необходимо создать прижимающее усилие цементного камня к металлу и к металлу, покрытому «Изоллат», для чего в цементный раствор добавляется расширяющаяся добавка – СИГБ (табл. 2), которая по Крылову Д.А. является аналогом НРС. Выяснилось, что в этом случае даже при малой степени расширения цементного раствора (0,147 %), моделирующего расширение обсадной колонны, напряжение сдвига с покрытием хотя и не значительно, но уже выше, чем без покрытия (соответственно в 1,22 и 1,20 выше по сравнению с исходными данными без расширяющей добавки). Тем более, если дальше увеличивать концентрацию расширяющей добавки в цементном растворе, то силы сцепления при наличии сжимающегося покрытия существенно выше. Так, при 3 % СИГБ (что соответствует объемному расширению 1,27 %) силы сцепления с покрытием в 2,78 раза выше, а без покрытия только в 1,58 раз выше по сравнению с исходными без расширяющих добавок. Резкий скачок увеличения напряжений сдвига происходит при повышении концентрации СИГБ от 3 до 5%, соответственно, объемное расширение увеличивается от 1,27 до 5,24 %. В данном случае напряжения сдвига с покрытием возрастают в 4,11 раза, а без покрытия только в 1,79 раза.

Вопрос оптимального количества расширяющей добавки в цементных растворах еще до конца не решен. Однако многие ученые, специализирующиеся в области крепления скважин, придерживаются мнения [9, 10], что расширяющая до-

бавка должна вызывать объемное расширение цементного камня в пределах 1 - 4 % и изредка в более широком диапазоне 0,5 - 6,0 % [11].

Для СИГБ диапазон расширения цементного камня в 0,5 - 6,0 % обеспечивает его концентрация в цементном растворе примерно 2,5 - 6,0 %.

Если взять концентрацию СИГБ для цементного раствора равной 4 %, а в скважине гидростатический столб цементного раствора сожмет обсадную колонну примерно на величину, с ее последующим потенциальным расширением при опрессовке и перфорации, эквивалентную концентрации расширяющей добавки СИГБ в цементном растворе около 1 %. То получим общее расширение цементного камня с 4 % СИГБ и колонны вместе на желаемом уровне – 5 % СИГБ. То есть соответственно с общим объемным расширением цементного камня на уровне 5 % и с данными сцепления, соизмеримыми для 5 % СИГБ. Для нашего случая это является наиболее оптимальным вариантом.

Здесь следует отметить и тот факт, что в ПЗП сжатыми по окончании ОЗЦ оказываются не только обсадная колонна, но и горная порода [12]. В процессе ОЗЦ по мере снижения давления в кольцевом пространстве ниже гидростатического цементного раствора расширяются не только обсадная колонна, но и стенки скважин на доли миллиметра. Учесть это все вместе для каждого конкретного горнотехнического случая сложно, поэтому мы часто указывали на примерные величины.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать несколько выводов.

При цементировании без расширяющих добавок в растворе степень сцепления цементного камня с покрытием на колонне уже не будет ниже (значительно отличаться от сцепления), чем при непосредственном контакте цементного камня с колонной. Но вместе с тем в этой технологии, мы приобретаем множество описанных положительных моментов. То есть данной совокупностью уже можно ограничиться. Но в указанном случае отметим еще раз, важное значение приобретает условие срабатывания обратного клапана.

При цементировании с расширяющейся добавкой в растворе качество сцепления цементного камня с покрытием на колонне существенно выше, что естественно повышает герметичность заколонной крепи. Поэтому данная совокупность элементов «металл трубы - покрытие «Изоллат» - цементный камень с рас-

ширяющей добавкой в нем», находящиеся в замкнутой системе – скважине позволяет получить суммарный положительный результат.

К вышесказанному можно добавить выявленное нами обстоятельство, что в скважинных условиях твердения (в условиях замкнутого пространства) проницаемость самого цементного камня с расширяющей добавкой СИГБ обычно ниже, портландцементного камня. Эти данные согласуются и с исследованиями других авторов [13]. Значит, качество цементирования в предполагаемом способе с расширяющей добавкой повысится не только за счет повышения герметичности в контактных зонах «металл с покрытием - расширяющийся цементный камень - глинистая корка на горной породе» и исключения растрескивания цементного камня при перфорации, но и за счет уменьшения проницаемости самого цементного камня.

Необходимо отметить, что также как и смолоспечное покрытие на трубах [1], покрытие «Изоллат» повышает шероховатость поверхности, но и одновременно, обладает рядом других положительных свойств (пластичное, не растрескивается и т.д.)

Два покрытия «Изоллат» (с внутренней и наружной поверхностях обсадных труб) в призабойной зоне пласта создают высокий эффект теплоизоляции. На участке с покрытием на колонне нефть (с пластовой температурой), поступившая в скважину из коллектора, очень медленно охлаждается. Это имеет особо важное значение на скважинах с высоким содержанием АСПО. Поскольку решает острую проблему предотвращения отложений АСПО, по крайней мере, в призабойной зоне пласта. Температура формирования АСПО варьируется в интервале 50 - 62 °С [14]. Например, для скважин глубиной 2500 - 3000 м на месторождениях Западной Сибири температура эксплуатационных пластов составляет 70 - 90 °С. Поэтому, если предупредить резкое охлаждение нефти в ПЗП по пути к устью, то АСПО будут отлагаться значительно выше. А это, в свою очередь, облегчает и ускоряет последующее удаление АСПО. В отличие от периода эксплуатации скважины в период освоения и вызова притока, ствол скважины еще не прогрет постоянно движущейся из пласта нефтью. В связи с этим, при вызове притока из пласта происходит большой теплоотвод через стенки колонны, что создает благоприятные условия для ускоренного охлаждения нефти и, как следствие, начала процесса отложения

АСПО на стенках. В итоге, ко всему прочему предлагаемая технология является энергосберегающей, так как появился эффект (предупреждение выпадения АСПО) сохранения нефтью пластовой температуры.

Практическая важность нового технического решения выражается в более длительной безводной эксплуатации скважины, реже проводимых капитальных ремонтов скважин (КРС) по изоляции водопритокков по причине негерметичности заколонного пространства и коррозии обсадной колонны в ПЗП. Предотвращение образования АСПО в ПЗП также удлиняет межремонтный период эксплуатации скважины. Также можно существенно повысить эффективность ОПЗ применением кислотных составов непосредственно при заканчивании скважин, чего ранее практически было невозможно без нанесения значительного вреда низу крепи скважины.

Итак, остановимся более подробно на описании свойств материала «Изоллат» подтверждающих эффективность лабораторных экспериментов.

Плотность жидкого материала «Изоллат» в зависимости от марки варьируется в интервале 500 - 750 кг/м<sup>3</sup>, а высохшего покрытия – 300 - 410 кг/м<sup>3</sup>. Время сушки одного слоя – 24 ч с периодом полимеризации 12 ч при комнатной температуре. Температура кипения материала «Изоллат» +118 °С. Температура поверхности, на которую наносится материал «Изоллат», должна быть от +7 до 120 °С. Готовое покрытие эксплуатируется при температурах от минус 45 до плюс 150 °С (кратковременно до плюс 200 °С). Материал «Изоллат» перевозят в транспортных средствах с температурой не ниже плюс 4 °С и не выше плюс 45 °С. Хранится при таких же условиях в герметичной пластмассовой или металлической таре. Материал «Изоллат» является малотоксичным и относится к 4 группе опасности (ГОСТ 12.1.007). После высыхания материал «Изоллат» не выделяет вредных химических веществ.

Обсадную колонну покрывают материалом «Изоллат» кистью (валиком или краскораспылителем), как при покраске обычной краской. После просушки каждого слоя в течение суток наносят следующий. Эту операцию можно производить в летний период непосредственно на буровой. Но поскольку температура поверхности, на которую наносится материал «Изоллат», должна быть положительной и требуется значительное время для покрытия нескольких слоев с про-

сушкой каждого слоя, то эти виды работ можно произвести заблаговременно на крытой трубно-металлической базе бурового предприятия либо в условиях завода-изготовителя.

Чтобы смоделировать скважинные условия твердения цементного раствора, провели серию опытов по определению силы сцепления цементного камня с металлом и с металлом, покрытым материалом «Изоллат». Брали несколько трубок (втулок) диаметром 4 см и высотой 3 см, на внутреннюю поверхность которых вручную наносили кисточкой слой материала «Изоллат». После высыхания покрытия в течение не менее суток нижний конец втулки устанавливали в герметизирующий диск. Внутри втулки заливали цементный раствор (портландцемент с В/Ц = 0,5). После 3-х суток твердения цементного камня диск убирали и на прессе, определяли усилие выдавливания.

Учитывая площадь контакта цементного камня с покрытой втулкой, определяли напряжение сдвига (в МПа), по величине которого судили о качестве сцепления. Для сравнения за базовую величину брали напряжение сдвига цементного камня, твердевшего 3-е суток в непокрытой втулке. Напряжение сдвига в контакте цементного камня с металлом втулки условно принимали за единицу. Другие втулки внутри покрывали несколькими слоями материала «Изоллат» и каждый из них просушивали перед нанесением последующего. Результаты экспериментов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние материала «Изоллат» на напряжение сдвига  
усадочного цементного камня в металлической втулке

№ п.	Количество слоев покрытия из материала «Изоллат», шт	Время сушки очередного слоя покрытия, сут.							Общая толщина покрытия из материала «Изоллат», мм	Напряжение сдвига, доли ед. от исходной величины
		I	II	III	IV	V	VI	VII		
1	-								0	1,00
2	I	1							0,25	0,37
3	II	1	1						0,50	0,41
4	III	1	1	4					0,75	0,62
5	IV	1	1	4	1				1,00	0,65
6	V	1	1	4	3	1			1,25	0,51
7	VII	1	1	4	3	1	3	1	1,75	0,34

По полученным данным материал «Изоллат» на трубках при наличии обычного цементного камня и без избыточного давления (при атмосферном давлении) уменьшает сцепление в контактной зоне. Сдвиг происходит по самому материалу «Изоллат». Однако качество сцепления зависит от толщины слоя материала «Изоллат». Максимальные напряжения сдвига при наличии покрытия на втулке были получены при общей его толщине 1 мм.

Далее провели сравнительные исследования втулок без покрытия и покрытых материалом «Изоллат» в 4-е слоя с общей оптимальной толщиной в 1 мм, но в данном случае в портландцемент добавляли расширяющую добавку СИГБ (ТУ 5744-001-00282369-93, ТУ 5744-002-00282369-00) и затворяли цементный раствор с В/Ц = 0,5. Величину объемного расширения цементного раствора из портландцемента и расширяющей добавки СИГБ определяли по известной методике на приборе Жигача - Ярова [13]. Цементный раствор после трехминутного перемешивания заливали в стакан с поддоном, на котором внутри укладывалась фильтровальная бумага. Высота раствора в стакане составляла примерно 10 мм. Через 10 мин сверху на цементный раствор также укладывали кружок фильтровальной бумаги и поршень со штоком. Закрывали стакан крышкой и погружали его в емкость с жидкостью на штативе. Подсоединяли шток поршня с щупом индикатора и производили замер. По разнице показателей индикатора через определенное время рассчитывали величину объемного расширения цементного камня.

Цементный раствор с заданной концентрацией расширяющей добавки СИГБ также заливали во втулки с герметизирующим диском снизу. За базу сравнения брали величину напряжения сдвига на прессе обычного цементного раствора из того же портландцемента, но без расширяющей добавки СИГБ.

Из данных табл. 2 видно, что при расширении цементного раствора сцепление цементного камня, непосредственно как с металлом, так и с покрытием материалом «Изоллат» на металле увеличивается. Объемное расширение цементного камня в данных опытах с малым (до 1 %) содержанием СИГБ моделирует вышеизложенные упругие деформации обсадной колонны и стенки скважины в ПЗП. Поэтому сцепление цементного камня даже без расширяющей добавки в ПЗП будет немного выше при наличии материала «Изоллат» на обсадных трубах или,

по крайней мере, будет таким же, как при непосредственном контакте цементного камня с металлической обсадной колонной.

Если же в ПЗП будет закачан расширяющийся цементный раствор, то усиливающееся контактное давление на материал «Изоллат» значительно повысит напряжение сдвига. Так, например в п. 5, при 5 % СИГБ и, соответственно, объемном расширении цементного камня в 5,24 % напряжение сдвига без покрытия увеличилось только на 79 %, а с материалом «Изоллат» – на 311 %. Дальнейшее увеличение объемного расширения цементного камня уже не приводит к столь существенному увеличению напряжений сдвига (п. 7, при расширении 16,68 % напряжение сдвига увеличилось в 4,16, т.е. еще на 5 % в сравнении с п.5).

В процессе твердения цементного раствора также происходят температурные изменения в скважине, в результате чего обсадная колонна поочередно растягивается и сжимается. Достаточно толстое покрытие из материала «Изоллат» может релаксировать и удлиняться- сжиматься непосредственно внутри слоя относительно различных его участков. Относительные смещения внутри слоя материала «Изоллат» будут сглаживать часть вертикальных перемещений (микродвижек) обсадной колонны и не передавать их цементному камню. Это предупредит периодический резкий срыв последнего со стенки горной породы.

После ОЗЦ обсадную колонну проверяют на герметичность нагнетанием в колонну жидкости. Обсадная колонна при опрессовке расширяется. В зависимости от диаметра опрессовочное давление для эксплуатационных обсадных колонн составляет 7,5 - 12,0 МПа [6]. При этом деформация труб по периметру (образующей) не превышает 0,05 - 0,10 %. Покрытие же на трубках из материала «Изоллат» способно удлиняться без нарушения сплошности (разрывов и трещин) на величину до 5 %. Если величина расширения цементного раствора в ПЗП составит до 5 - 6 %, то материал «Изоллат» также вполне выдержит радиальную деформацию сжатия, поскольку почти до 17 % объемного расширения цементного камня в лабораторных экспериментах (табл. 2, п.7) сцепление все еще улучшалось. То есть усилия на цементное кольцо (при испытании обсадной колонны на герметичность из-за наличия демпфирующего эластичного покрытия из материала «Изоллат») практически не передадутся.

Кроме того, в табл. 2 приведены сведения о свойствах цементного камня, в частности проницаемости, прочности на изгиб и на сжатие, полученных из растворов с расширяющей добавкой СИГБ. Однако одни образцы перед испытанием на проницаемость (при избыточном давлении в 4 МПа) в течение суток хранились во влажной среде в формах, а затем продолжали твердеть во влажной среде в свободном состоянии в течение 5-и суток. А другие образцы хранились в течение этого же времени в условиях, приближенных к скважинным, то есть в условиях всестороннего сжатия (ограниченных) в формах, предотвращающих свободное расширение цементного камня. Также при испытаниях цементного камня на прочность одни образцы извлекались из формы через сутки, отвердевая во влажной среде в свободном состоянии. Другие образцы твердели с учетом скважинных условий только в формах (в замкнутом состоянии) во влажной среде до момента испытания.

По полученным данным, проницаемость цементного камня, твердеющего в условиях всестороннего обжатия, примерно, на 1-2 порядка меньше, чем твердеющего в свободном состоянии. Причем, независимо от количества расширяющей добавки СИГБ, проницаемость у обжатого камня остается примерно на одном уровне, а у неограниченного камня проницаемость возрастает в геометрической прогрессии. Кроме того, проницаемость обжатого расширяющего цементного камня кратно и даже почти на порядок меньше обычного портландцементного камня.

Как видно из табл. 2, прочность на изгиб и на сжатие расширяющегося цементного камня, твердеющего в свободном состоянии с увеличением концентрации добавки СИГБ уменьшается. Те же показатели у расширяющегося цементного камня в замкнутом состоянии значительно (на десятки процентов и кратно) выше, причем и при повышенных концентрациях добавки СИГБ удовлетворяют требованиям норм.



Таблица 2

Влияние покрытия из материала «Изоллат» на напряжение сдвига расширяющегося цементного камня со стенкой металлической втулки (Т = 20 °С, В/Ц = 0,525)

№ п.	Состав смеси, %		Объемное расширение через 2-е сут., %	Напряжение сдвига, доли ед. от исходной величины		Проницаемость на 6-е сут. твердения, мкм <sup>2</sup>		Прочность цементного камня через 2-е сут., МПа			
	ПЦТ	СИГБ		без покрытия	с покрытием 1 мм материала «Изоллат»	в свободном состоянии	ограниченное в формах	На изгиб		На сжатие	
								в свободном состоянии	в замкнутом состоянии	в свободном состоянии	в замкнутом состоянии
1	100	-	0	1,00	1,00	0,71	-	3,6	-	8,4	-
2	99	1	0,15	1,20	1,22	0,70	-	2,9	-	7,5	-
3	98	2	0,23	-	-	1,17	0,095	2,1	2,8	6,7	8,8
4	97	3	1,27	1,58	2,78	1,34	0,143	1,7	3,0	5,9	9,5
5	95	5	5,24	1,79	4,11	2,10	0,147	1,2	2,9	3,5	8,4
6	92,5	7,5	7,02	-	-	5,16	0,087	0,5	3,2	2,3	7,2
7	90	10	16,68	1,90	4,16	13,63	-	-	-	1,3	-

Результаты проведенных исследований дают основание утверждать, что качество цементирования будет существенно повышено при применении расширяющей добавки СИГБ не только за счет увеличения сцепления цементного камня с уплотняющимся покрытием из материала «Изоллат» на обсадной колонне, но и за счет уменьшения проницаемости полученного в скважинных условиях цементного камня и повышения прочности. Последнее свойство имеет особое значение при проведении операций по опрессовке и в последующем при перфорации обсадной колонны, так как повышается его устойчивость к растрескиванию и разрушению. В итоге повышается герметичность не только в контактных зонах, но и самого цементного камня, как следствие повышается долговечность крепи скважины. Так как малопроницаемый и непотресканный цементный камень устойчив к агрессивным водным средам (пластовым флюидам и технологическим жидкостям) и ограничивает их доступ к обсадной колонне вместе с материалом «Изоллат».

Таким образом, предлагаемый способ обеспечивает: длительную, безводную эксплуатацию скважины; уменьшение количества проводимых КРС по изоляции водопритоков по причине негерметичности заколонного пространства и коррозии обсадной колонны в призабойной зоне пласта; предотвращение образования АСПО в ПЗП, что также удлиняет межремонтный период эксплуатации скважины; повышение эффективности обработки призабойной зоны (ОПЗ) вследствие расширения ассортимента для выбора перфорационной жидкости включая коррозионноактивные.

### Литература

1. Ашрафьян М.О. Технология разобщения пластов в осложненных условиях. М.: Недра, 1989. С. 14 - 23.
2. Беляев В.С. Надежное покрытие?.. конечно, «Изоллат»! // Новый уральский строитель (Екатеринбург). 2005. №2 (47). С. 50.
3. Патент РФ №2304697, Кл. Е 21В 33/13, заявка 2005138825/03 от 02.12.2005 г. Способ заканчивания скважины / Н.А. Петров, В.С. Золотоевский, М.Л. Ветланд и др.//Опубл. 20.08.2007. Бюл. № 23.

4. Калинин А.Г. Левицкий А.З. Технология бурения разведочных скважин на жидкие и газообразные полезные ископаемые: учебник для вузов. М.: Недра, 1988. С. 211 - 215.
5. Справочник бурового мастера /Под ред. А.И. Тер-Григорян; Изд. второе, испр. и доп. Баку: Азербайджанское гос. изд-во нефт. и науч.-техн. лит., 1960. С. 322 - 323.
6. Булатов А.И., Аветисов А.Г. Справочник инженера по бурению : В 4 т. М.: Недра, 1985. Т.2. С. 110 - 111.
7. Мальцев А.В. Эффективность применения щадящего режима перфорации кумулятивными перфораторами ПКС-80 // Нефтяное хоз-во. 1991. №4. С. 13 - 14.
8. Крылов Д.А. Некоторые причины неплотного контакта цементного камня с обсадными трубами // Строительство нефт. и газовых скв. на суше и на море: науч.-техн. журн/ ВНИИОЭНГ. 1993. №5. С. 10 - 12.
9. Каримов Н.Х., Данюшевский В.С., Рахимбаев Ш.М. Разработка рецептур и применение расширяющихся тампонажных цементов. Обз. информ. Серия "Бурение". М.: ВНИИОЭНГ, 1980. С. 3 - 6.
10. Булатов А.И. Тампонажные материалы и технология цементирования скважин: Учеб. для техникумов/ А.И. Булатов; 4-е изд., перераб. и доп. М., 1991. С. 262 - 263.
11. Данюшевский В.С., Алиев В.М., Толстых И.Ф. Справочное руководство по тампонажным материалам. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1987. С. 154 - 161.
12. Блохин В.С., Терентьев В.Д., Ипполитов В.В., Нажметдинов М.Ш. Расчет напряженного состояния упруго-пластичного массива, ослабленного вертикальной полостью // Повышение эффективности бурения глубоких скважин в аномальных геол. условиях: тез. докл. науч.-техн. совещ./ НТО Оренбург. межотрасл ЦНТИ. Оренбург, 1983. С. 39 - 42.
13. Булатов А.И., Данюшевский В.С. Тампонажные материалы: учеб. пособие для вузов. М.: Недра, 1987. С. 137 - 143.
14. Уметбаев В.Г. Геолого-технические мероприятия при эксплуатации скважин: справ. раб. М.: Недра, 1989. С. 173 - 177.