УДК 622.245.514

ПРИМЕНЕНИЕ ВЯЗКОУПРУГИХ СИСТЕМ ПРИ КРЕПЛЕНИИ СКВАЖИН

–––––––

APPLICATION OF VISCOELASTIC SYSTEMS TO WELL CEMENTATION

Агзамов Фарит Акрамович
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры бурение нефтяных и газовых скважин,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
faritag@yandex.ru

Шайбеков Марсель Салаватович
студент,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
marsel.shaibekov@yandex.ru

Николаев Андрей Игоревич
помощник мастера (технолог),
Губкинский Филиал ООО «РН-Бурение»,
mr.nikolaev94@mail.ru

Agzamov Farit Akramovich
Doctor of technical science, Professor,
Professor of drilling of oil
and gas wells department,
Ufa state oil technical university
faritag@yandex.ru

Shaybekov Marcel Salavatovich
Student,
Ufa state oil technical university
marsel.shaibekov@yandex.ru

Nikolaev Andrey Igorevich
Assistant to the master (technologist),
Gubkinsky Branch LLC RN-Bureniye,
mr.nikolaev94@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрены способы повышения качества крепления нефтяных и газовых скважин путем применения вязкоупругих систем. Такие системы предназначены для максимальной очистки открытого ствола скважины от шлама непосредственно перед цементированием и улучшения вытеснения бурового раствора тампонажным, а также с помощью этих систем можно создавать герметизирующее кольцо за обсадной колонной, способное исключить проблему межколонных давлений в обсаженном стволе. В статье представлены результаты лабораторных опытов и испытаний по разработке вязкоупругих систем, а также возможные области их применения.

Ключевые слова: вязкоупругий состав, буферная жидкость, вязкоупругий разделитель, крепление скважины, цементирование, разобщение пластов, затрубное пространство, межколонные давления, полимер.

Annotation. In this article we consider ways to improve the quality of fastening oil and gas wells by applying viscoelastic systems. Such systems are designed to maximize the cleaning of the open hole from the slurry just prior to cementing and to improve the displacement of the drilling mud by the oil well, and also these systems can create a sealing ring behind the casing that can eliminate the problem of intercolumn pressure in the cased barrel. The article presents the results of laboratory experiments and tests on the development of viscoelastic systems, as well as possible areas of their application.

Keywords: viscoelastic composition, buffer liquid, viscoelastic separator, well cementing, cementing, seam separation, annulus, intercolumn pressure, polymer.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение высокого качества цементирования скважин – это сложная научно-техническая задача. От ее успешного решения в большой степени зависит качество первичного цементирования обсадных колонн в нефтяных и газовых скважинах. Но, несмотря на высокий уровень научного и технического прогресса, на сегодняшний день в сфере крепления скважин существует ряд проблем, некоторые из которых будут рассмотрены в данной статье.

Если заколонное пространство скважины подготовлено к цементированию неудовлетворительно, то и качество цементирования будет низкого уровня. Нефтяные, газовые и газоконденсатные месторождения разрабатываются и эксплуатируются в осложненных горно-геологических и климатических условиях, что приводит к осложнениям в скважинах. Помимо геологических причин часто отмечаются некачественное бурение и заканчивание скважин, определяющие в дальнейшем эксплуатационную надежность и продолжительность работы скважин.

Проблемы, связанные с низким качеством крепления скважин

Причинами осложнений в процессе цементирования могут быть обвалы и осыпи горной породы, следствием чего будут являться затяжки и посадки при спуске обсадной колонны. Данные осложнения объясняются некачественной проработкой ствола скважины в процессе бурения и неверно подоб-

ранными параметрами промывочной жидкости. Также категорически опасную ситуацию могут создать газонефтеводопроявления (ГНВП), возникновение которых обусловлено геологическими особенностями местности, неверно подобранными параметрами промывочной жидкости для обеспечения противодавления на флюидосодержащие пласты, а также превышение скорости спуска обсадной колонны, вызывающее повышение давления столба жидкости на стенки скважины, что впоследствии способно вызвать гидроразрыв пласта. При рассматривании профиля скважины частыми отклонениями от качественного профиля являются образования в породе трещин, желобов и каверн, что объясняется неверно разработанными режимами бурения.

Непосредственно в процессе крепления скважины также существует ряд осложнений, которые существенно снижают качество цементирования [1]. Часто встречающимися видами осложнений на ранних стадиях крепления скважин являются:

- наличие толстой рыхлой глинистой корки на стенках скважины и обсадной колонне;
- остатки промывочной жидкости в трещинах и кавернах скважины;
- смешивание тампонажного раствора с буферной или продавочной жидкостью;
- поглощение цементного раствора в проницаемый пласт.

Как показывает промысловый опыт, качественное цементирование эксплуатационной колонны и разобщение комплекса проницаемых пластов продуктивной толщи является одной из сложных и до настоящего времени не решенных технических проблем. В настоящее время технология цементирования во многих случаях не обеспечивает качественного разобщения пластов, и это приводит к возникновению межпластовых перетоков флюидов и появлению межколонных давлений, что крайне отрицательно сказывается на качестве цементного камня [1, 2].

Чаще всего осложнения, возникающие из-за низкого качества крепления газовых скважин, являются затрубные газопроявления в период ожидания затвердевания цемента (ОЗЦ), переходящие в межколонные давления (МКД) за счет образования каналов либо по самому цементному камню, которые служат проводниками на дневную поверхность пластовых флюидов [3]. По причинам возникновения газопроявления подразделяются на две основные группы:

1) проникновение газа в межтрубное пространство при эксплуатации газовой скважины из-за негерметичности обсадной колонны и обвязки устья;

2) проникновение газа из пласта через кольцевое пространство, заполненное тампонажным и буровым растворами, непосредственно после окончания тампонажных работ.

Часто применяемые заколонные пакеры имеют низкую эффективность в открытом стволе скважины. В этих условиях перспективным является применение вязкоупругих подвижных пакеров (ВУПП), устанавливаемых за обсадной колонной в заданном интервале. ВУПП, благодаря возможности использования в стволе скважины любой конфигурации и требуемой протяженности, имеют несомненное преимущество перед традиционными гидравлическими и механическими пакерами, установленными на обсадных колоннах [4].

Существенное повышение качества подготовки стволов скважин к цементированию в разных горно-геологических условиях может быть обеспечено в результате обоснованного выбора высокоэффективного буферного материала и совершенствования технологии его применения на практике.

Буферные жидкости при цементировании скважин

Был проведен анализ патентов СССР и России с 1975 по 2015 г. По тематике буферных жидкостей найдено 59 патентов в базе данных Федерального института промышленной собственности Роспатента.

Тему буферных жидкостей активно исследовали О.Н. Мироненко и Р.Ф. Уханов в 1970–1980 гг., а также они были в составе авторов ряда патентов, которые применяют при креплении скважин в наши дни [5].

В научной литературе перед буферной жидкостью ставится задача как можно лучше удалить глинистую корку со стенок обсадной колонны и открытого ствола скважины. Предлагаются разные пути повышения отмывающей способности буферной жидкости, такие как изменение концентраций реагентов, входящих в состав жидкости, исходя из аналогов за предыдущие годы; добавка в состав новых и более качественных реагентов, а также добавление в состав твердой фазы для механического разрушения глинистой корки, предложенное А.В. Самсоненко [6]. Это способствует улучшению структурно-механических свойств жидкости. На сегодняшний день, имея немалое количество разработанных буферных жидкостей, мы не можем утверждать, что современные буферные жидкости способны полностью удалять глинистую корку, поэтому вопрос буферной жидкости, которая полностью и качественно удаляет глинистую корку, остается открытым.

Другой задачей для буферной жидкости является способность этой жидкости закупорить поглощающий пласт в процессе цементирования, а также в процессе промывки скважины [7]. Проблема состоит в том, что если не закупорить проблемный интервал на ранних стадиях поглощения, то это приведет в последующем к катастрофическим потерям промывочной жидкости и тампонажного раствора,

а также к недохождению цемента до проектного уровня крепления обсадной колонны. В данном случае силы уже направлены на разработку составов, способных вмещать в себя кольматирующие добавки, а также иметь такие структурно-механические свойства, которые помогут проникнуть в трещины, поры и каверны вредоносного пласта. Основной проблемой в этом направлении является то, что полученные буферные жидкости являются узкоспециализированными и применимы только на этапах поглощения, а в скважинах с другими осложнениями применять данные буферные жидкости нецелесообразно.

Немаловажной задачей для буферной жидкости является улучшение вытеснения бурового раствора тампонажным и предотвращение их смешивания, что в последующем улучшит качество крепи. Наиболее перспективным в данном направлении является применение вязкоупругих составов. Подробно данная тема рассмотрена Н.М. Шерстневым в 1979 году [2].

Подводя итоги анализа опыта применения буферных жидкостей, можно сказать, что данная тема развивается уже более 30 лет, но не достигла пика своего развития, поэтому в будущем мы будем наблюдать новые разработки по данной тематике.

Вязкоупругие системы

Термин «вязкоупругий» относится к таким материалам, которые обладают одновременно вязкими и упругими свойствами, т.е. тела, представленные вязкоупругими материалами, по крайней мере частично возвращаются к своей начальной форме, когда снимается прилагаемое усилие. Согласно модели Максвелла, вязкоупругие составы обнаруживают промежуточное поведение между Гуковскими (твердые тела) и Ньютоновскими (вязкие жидкости) телами.

В отличие от многих технологических жидкостей, применяемых в бурении, вязкоупругие системы имеют нормальные напряжения, и их течение не подчиняется законам Ньютона, уравнению Шведова-Бингама или степенной модели Освальда. Благодаря нормальным напряжениям, данные системы способны перемещаться по всему объему трубного или затрубного пространства, полностью заполняя его.

Вязкоупругие подвижные пакера (ВУПП) и вязкоупругие разделители (ВУР) в роли буферных жидкостей относятся к вязкоупругим системам (ВУС).

При строительстве скважин вязкоупругие системы используют в качестве буферных жидкостей для повышения эффективности удаления шлама и загустевших пачек промывочной жидкости из каверн, обеспечивая тем самым лучшее замещение бурового раствора тампонажным. Также имелся опыт применения вязкоупругих систем в качестве подвижных пакеров для предупреждения миграции газа в затрубном пространстве в период ОЗЦ.

Традиционно вязкоупругие системы готовят на основе высокомолекулярных полимеров, сшитых солями поливалентных металлов. Для придания специфических свойств в них могут дополнительно вводиться различные наполнители и добавки. Наибольшее распространение нашли вязкоупругие системы на основе полиакриламида с использованием в качестве сшивателя сернокислого алюминия.

Исследование и разработка вязкоупругого разделителя

Основными требованиями, предъявляемыми к ВУС, используемой в качестве вязкоупругого разделителя, являются: прочность и однородность структуры, минимальное водоотделение, способность к заполнению затрубного пространства, удержание столба цементного раствора, не допуская его перетока под ВУР, восстановление основных свойств после деформации.

После анализа имеющихся составов вязкоупругих систем [2–4, 8, 9] для проведения исследований использовался ВУР следующего состава:

- полиакриламид – структурообразователь FlodrillPam 1040 (4–5 %);
- сернокислый алюминий – сшиватель (0,05–0,1 %);
- техническая вода (остальное).

Методика приготовления ВУР предусматривала растворение в воде сернокислого алюминия и постепенный при перемешивании ввод полиакриламида. После окончания ввода полиакриламида перемешивание продолжается 40–60 минут при скорости мешалки не более 100 об./мин.

Измерение прочностных свойств ВУР проводили на вискозиметре OFITE 900 и коническом пластомере Ребиндера [10]. О прочности образующейся структуры судили по предельному напряжению сдвига, а по пластической вязкости определяли возможность прокачивания ВУР. Изменение прочности структуры и вязкости ВУР во времени приведено на рисунке 1. Как видно из графиков, изменение предельного напряжения сдвига во времени не значительно (менее 5 % за 90 мин.), и, следовательно, данную рецептуру ВУР можно применять сразу после приготовления.

Также были проведены эксперименты по оценке изменения проницаемости коллектора (моделируемого уплотненным песком) после обработки вязкоупругим составом. При этом фильтрация жидкости проходила через модель пласта, и фиксировалось время, за которое фильтровался определенный объем воды (100 мл).

Эксперименты показали, что после обработки пласта вязкоупругим составом проницаемость призабойной зоны снизилась, что сказалось на времени фильтрации 100 мл воды, которое увеличилось более чем в два раза (с 14 до 35 мин.).

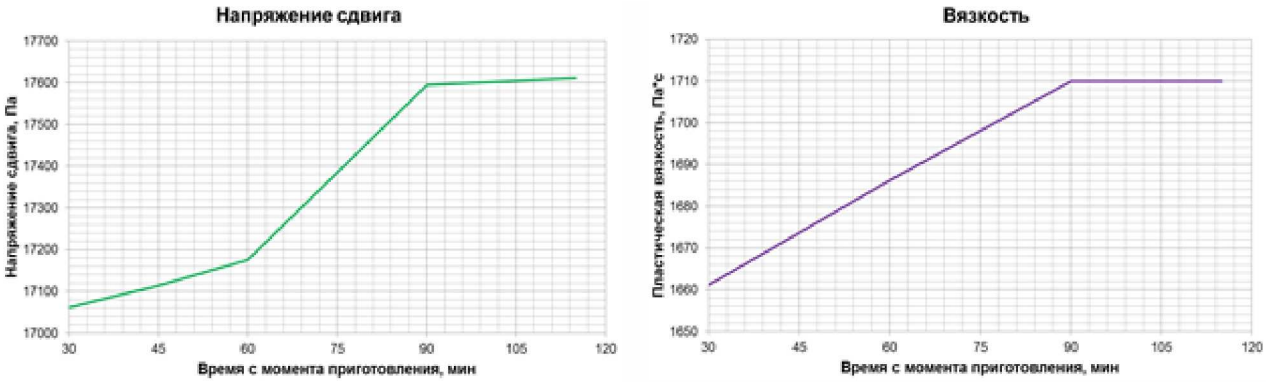

Рисунок 1 – Изменение свойств ВУР во времени

Эти эксперименты показали, что вязкоупругий состав блокирует поры, снижая проницаемость горной породы. Данный эффект интересен, так как открывает новую возможность применения ВУС, а именно для временной изоляции пласта при восстановительно-ремонтных работах в скважине. В дальнейшем проницаемость пласта может восстановиться при обработке его сильным окислителем.

Полученные составы прошли необходимую проверку на работоспособность в условиях возможного применения, а именно: устойчивость на контакте с промывочными жидкостями и тампонажными растворами, устойчивость к изменениям давления и температуры.

Разработанный состав ВУР может использоваться при цементировании скважин и является конкурентоспособным из-за простоты приготовления, небольшого количества реагентов и низкой стоимости.

Исследование и разработка вязкоупругого подвижного пакера

Для выбора структурообразователя были проведены специальные эксперименты с несколькими типами полиакриламида [8, 9, 11]. Наилучшие результаты показал FlodrillPam 1040, который образует наиболее гелевую структуру, обладающую достаточной прочностью и текучестью.

В зависимости от требуемой вязкости ВУПП для получения ВУС использовалось:

- полиакриламид – структурообразователь FlodrillPam 1040 (4–5 %);
- сернокислый алюминий – сшиватель (1–2 %);
- техническая вода (остальное).

Отрицательным фактором первых испытанных рецептур ВУПП можно считать небольшое водоотделение, появившееся спустя двое суток. Отделение воды от полученной гелевой структуры приводит к преждевременному высыханию, нарушению прочности и текучести ВУПП. Для устранения данной проблемы в ВУПП необходимо было добавить наполнитель, который должен удерживать воду. Для того было рассмотрено 2 метода.

Первый – замена воды на бентонитовый раствор.

Второй – перед вводом полимера в воду добавить натрий олеиновокислый на основе олеина Б ($C_{18}H_{33}O_2Na$).

При применении одного из этих методов водоотделение прекратилось.

Кроме этого, была проведена проверка удерживающей способности ВУР по отношению к тампонажному раствору. Опыт проводился на модели скважины, в которой последовательно размещались (снизу верх) вода или буровой раствор, ВУР, цементный раствор. При плотности ВУР 1050 кг/м^3, а плотности цементного раствора 1850 кг/м^3, несмотря на большую разницу в плотностях жидкостей, перетока и смешения растворов не наблюдалось.

Вязкоупругий пакер является подвижным и имеет следующие достоинства перед механическим:

- возможность установки в любом участке;
- простота приготовления и доступность компонентов;
- возможность изменения формы и длины;
- малотоксичность при применении.

Разработанный состав ВУПП является высокотехнологичным, отличается легкостью приготовления и не вносит существенных изменений в процесс цементирования.

Литература:

1. Технология бурения нефтяных и газовых скважин : учебник для студентов вузов в 5 томах / Агзамов Ф.А., Акбулатов Т.О., Аксенова Н.А., Анашкина А.Е. и др.; под общей редакцией В.П. Овчинникова. – Тюмень, 2014. – Том 1.

2. Шерстнев Н.М., Расизаде Я.М., Ширинзаде С.А. Предупреждение и ликвидация осложнений в бурении. – М. : Недра, 1979. – 304 с.
3. Морозов Д.В. Повышение качества крепления скважин с применением вязкоупругих составов // Материалы 55-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Уфа : УГНТУ, 2004. – Т. 1. – С. 19.
4. Морозов Д.В. Повышение эффективности применения вязкоупругих подвижных пакеров при цементировании обсадных колонн : Автореф. дисс. … канд. техн. наук. – Уфа, 2005. – 24 с.
5. Пат. 657168 СССР: М. Кл. Е 21 В 33/138. Буферная жидкость / Р.Ф. Уханов, О.Н. Мироненко, С.С. Сухарев, В.Н. Баринов; заявитель и патентообладатель Всесоюзный научно-исследовательский институт по креплению скважин и буровым растворам. – № 2157682/22; заявл. 16.06.1975. – Опубл. 15.04.1979. – Бюл. № 14. – 2 с.
6. Самсоненко А.В., Симонянц С.Л., Самсоненко Н.В. Новый порошкообразный буферный материал для повышения качества подготовки стволов скважин к цементированию // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2009. – С. 30–34.
7. Дурягин В.Н., Стрижнев К.В. Реологические исследования вязкоупругих составов и оценка эффективности их применения в условиях меловых отложений Западной Сибири // Проблемы геологии и освоения недр. – 2008. – С. 724–725.
8. Федько В.П., Трюпина В.М. Вязкоупругие системы на основе полиакриламида и солей алюминия // Материалы 47-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Уфа : УГНТУ, 1996. – Т. 1. – С. 104.
9. Окромелидзе Г.В. Совершенствование технологии глушения нефтяных и газовых скважин с использованием вязкоупругих составов : Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Уфа, 2016. – 198 с.
10. Муфтахов Е.М. Реологические свойства нефтей и нефтепродуктов : учебное издание. – Уфа, 2001.
11. Dean Alen Checkai. Estimating Permeability Distribution of Leakage Pathways Along Existing Wellbores. The University of Texas at Austin August, 2012.

References:

1. Technology of drilling of oil and gas wells: the textbook for students of higher education institutions in 5 Volumes / Agzamov F.A., Akbulatov T.O., Aksenova N.A., Anashkina A.E., etc.; under the general edition of V.P. Ovchinnikov. – Tyumen, 2014. – V. 1.
2. Sherstnev N.M., Rasizade Ya.M., Shirinzade S.A. The prevention and elimination of complications in drilling. – M. : Nedra, 1979. – 304 p.
3. Morozov D.V. Improvement of quality of fastening of wells with use of viscoelastic structures // Materials of the 55th scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists. – Ufa : UGNTU, 2004. – T. 1. – P. 19.
4. Morozov D.V. Increase in efficiency of application of viscoelastic mobile packers at cementation of upsetting columns : The abstract of the thesis for a degree of Candidate of Technical Sciences. – Ufa, 2005. – 24 p.
5. Pat. 657168 USSR: M of C. E 21 V 33/138. Buffer liquid / R.F. Ukhanov, O.N. Mironenko, S.S. Sukharev, V.N. Barinov; the applicant and the patent holder All-Union research institute on fastening of wells and boring solutions. – No. 2157682/22; it is declared 16.06.1975. – Opubl. 15.04.1979. – Bulletin No. 14. – 2 p.
6. Samsonenko A.V., Simonyants S.L., Samsonenko N.V. New powdery buffer material for improvement of quality of preparation of trunks of wells for cementation // Bulletin of Association of boring contractors. – 2009. – P. 30–34.
7. Duryagin V.N., Strizhnev K.V. Rheological researches of viscoelastic structures and an assessment of efficiency of their application in the conditions of cretaceous deposits of Western Siberia // Problem of geology and development of a subsoil. – 2008. – P. 724–725.
8. Fedko V.P., Tryupina V.M. Viscoelastic systems on the basis of polyacrylamide and salts of aluminum // Materials of the 47th scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists. – Ufa : UGNTU, 1996. – V. 1. – P. 104.
9. Okromelidze G.V. Improvement of technology of muffling of oil and gas wells with use of viscoelastic structures : The thesis for a degree of Candidate of Technical Sciences. – Ufa, 2016. – 198 p.
10. Muftakhov E.M. Rheological properties of oils and oil products : educational edition. – Ufa, 2001.
11. Dean Alen Checkai. Estimating Permeability Distribution of Leakage Pathways Along Existing Wellbores. The University of Texas at Austin August, 2012.