



УДК 622.245.422

## ИССЛЕДОВАНИЯ БУФЕРНЫХ ЖИДКОСТЕЙ С ВЯЗКОУПРУГИМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРООБРАЗУЮЩЕЙ ДОБАВКИ ТД 300.050.ВП

### RESEARCH INVESTIGATION OF BUFFER FLUIDS WITH VISCOELASTIC PROPERTIES BASED ON THE STRUCTURE-FORMING ADDITIVE TD 300.050.VP

**Белей Иван Ильич**

кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник ОНИРОСС  
ООО «ТюменНИИгипрогаз»  
Beley@tngg.ru

**Цепилова Ирина Анатольевна**

директор НТЦ ООО «Полипласт-УралСиб»  
cepilova@ppus.org

**Федоровская Виктория Аркадьевна**

ведущий инженер ОНИРОСС  
ООО «ТюменНИИгипрогаз»  
FedorovskayaVA@tngg.ru

**Аннотация.** Приведены результаты исследований вытесняющих буферных жидкостей различной плотности на основе добавки ТД 300.050.ВП. Отличительной особенностью составов является наличие вязкоупругих свойств и возможность их регулирования дозировкой структурообразующей добавки. Установлена продолжительность периода структурообразования буферных жидкостей, изучена их стабильность в зависимости от утяжеляющей добавки и совместимость с тампонажным раствором. По совокупности положительных технологических свойств, рассмотренные буферные составы могут быть рекомендованы для практического применения.

**Ключевые слова:** буферная жидкость, свойства, добавка комплексная структурообразующая, утяжелитель, стабильность, совместимость.

**Beley Ivan Illich**

Senior Researcher,  
Candidate of Science in Engineering,  
LLC TyumenNIIgiprogaz  
Beley@tngg.ru

**Tsepilova Irina Anatolyevna**

Director,  
STC LLC Poliplast-Ural Sib  
cepilova@ppus.org

**Fedorovskaya Viktoriya Arkadevna**

Lead engineer,  
LLC TyumenNIIgiprogaz  
FedorovskayaVA@tngg.ru

**Annotation.** This article to report results of studies of displacing buffer fluids with different densities based on the addition of TD 300.050 VP. The specificity of this compositions is viscoelastic properties and the possibility of their regulation by changing concentration of the structure-forming additive. In the result of the research was defined period of structure formation of buffer fluids, studied changes of buffer fluids in depending of concentration of the weighting additive and also investigate buffers fluids compatibility and cementing slurry.

In the result were define a positive technological properties which allow recommendation of buffer fluids for practical using.

**Keywords:** buffer fluids, properties, complex structural additive, weighting agent, stability, compatibility.

Одним из эффективных способов повышения степени вытеснения буровых растворов из кольцевого пространства, удаления корки и пленки раствора с ограничивающих поверхностей при цементировании обсадных колонн в условиях АВГД и малых скоростей течения, является применение структурированных утяжеленных буферных растворов с наличием вязкоупругих свойств. В отличие от стандартных структурированных тиксотропных систем, для которых характерно разрушение структуры при малых скоростях сдвига и сдвиговое разжижение, ухудшающие их вытесняющую способность, течение вязкоупругих систем происходит без существенного разжижения, с максимальным заполнением затрубного пространства единой структурированной массой (плоский профиль потока), чем обеспечивается режим «пробкового» вытеснения бурового раствора. В работе [1] отмечается, что способность вязкоупругой системы принимать форму канала, по которому он движется, обеспечивает хорошее вытеснение промывочной жидкости в сужениях и в расширениях ствола скважины.

В настоящее время разработано достаточно большое количество вязкоупругих составов, применяемых при строительстве скважин, получаемых путем «сшивки» водных растворов полимеров специальными кросс-агентами или поливалентными солями [2, 3].

Следует отметить, что указанные составы ВУР не предполагали получение систем с повышенной плотностью, что ограничивало область их применения. Кроме того, для приготовления буферных растворов с вязкоупругими свойствами невозможно использовать стандартную технологическую схему затворения и тампонажную технику, поскольку смешивание компонентов в сухом виде и последующее затворение их водой (по схеме затворения тампонажных растворов) практически неосуществимо.



Это стало особенно актуальным, когда в практику цементирования начали внедряться составы сухих смесей для приготовления буферных растворов различной плотности, приготавливаемых по принципу затворения тампонажных растворов, с последующим накоплением их в осреднительной емкости для усреднения и гомогенизации. Для газовых месторождений севера Тюменской области такие составы сухих смесей различной плотности были разработаны и внедрены лабораторией тампонажных растворов ООО «ТюменНИИгипрогаз» под наименованием СБП (смеси буферные порошкообразные типа СБП-2, СБП-3, СБП-4 для приготовления буферных жидкостей со значениями средней плотности 1,2 г/см<sup>3</sup>, 1,3 г/см<sup>3</sup> и 1,4 г/см<sup>3</sup>).

СБП представляют собой смесь биополимерного структурообразователя, утяжеляющей добавки и корректирующих реагентов, а приготовленный буферный раствор характеризуется наличием лишь тиксотропных свойств, свойственных буровым растворам, и не относится к вязкоупругим системам. К недостаткам составов буферных жидкостей на основе смесей СБП можно также отнести невысокую стойкость к коагулирующему действию тампонажного раствора, что требовало ввода дополнительных корректирующих реагентов.

Поэтому в дальнейшем были разработаны модифицированные составы сухих смесей СБП-2(3,4) АМ (смеси буферные порошкообразные абразивно-очищающие), в которых используется солестойкий полимерный структурообразователь, а приготавливаемые буферные жидкости обладают вязкоупругими свойствами за счет «сшивки» полимерного компонента добавкой синтетического реагента. Составы утяжеленных буферных жидкостей на основе смесей СБП-3 АМ и СБП-4 АМ совместимы с любыми типами буровых и тампонажных растворов на водной основе и были внедрены при строительстве эксплуатационных скважин на Бованенковском НГКМ [4].

В данной работе приводятся результаты исследований возможности применения добавки комплексной структурообразующей типа ТД 300.050. ВП в качестве основы буферных жидкостей с аналогичными свойствами. Добавка ТД 300.050. ВП выпускается по ТУ 20.59.59-009-58042865-2018 компанией ООО «Полипласт-УралСиб» и является смесью полимерного стабилизатора полисахаридного ряда, высокомолекулярного «сшивателя» на основе полинафталинформальдегида и вспомогательных добавок. Представляет собой порошкообразный продукт светло-коричневого цвета, получаемый путем определенного порядка смешивания компонентов, их специального помола и последующей гомогенизации.

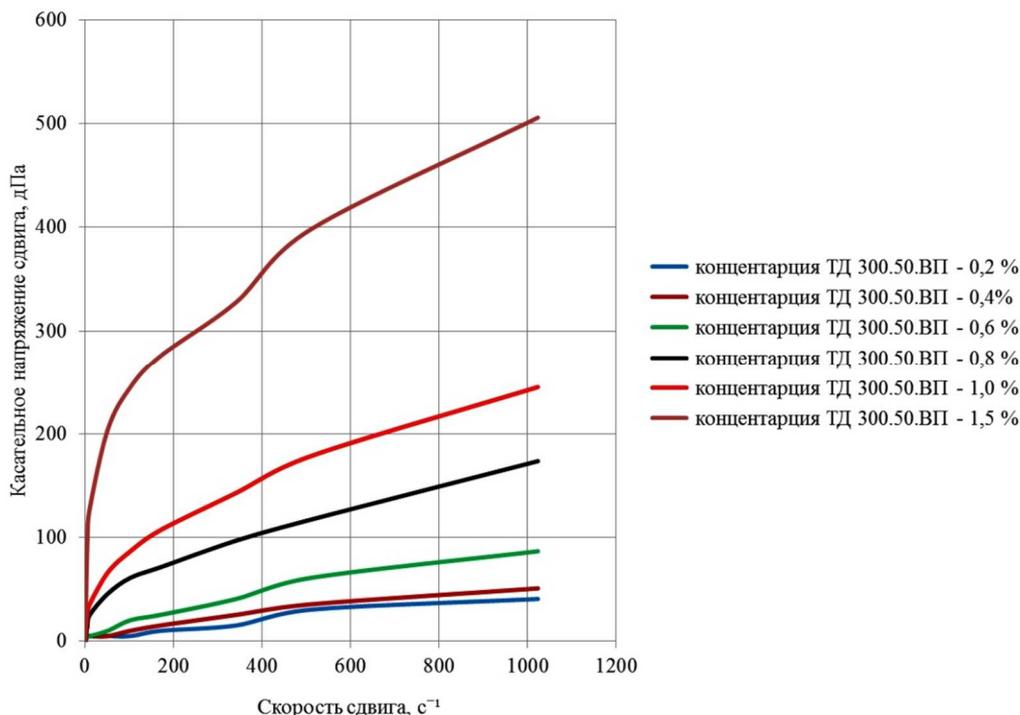
Благодаря наличию у водных растворов добавки ТД 300.050. ВП вязкопластичных и вязкоупругих свойств (в зависимости от концентрации), они могут применяться для приготовления и обработки различных технологических жидкостей (разделяющих и вытесняющих буферных составов, обработки буровых и тампонажных растворов, получения изолирующих составов и др.).

На начальном этапе исследовалось влияние концентрации добавки ТД 300.050. ВП в воде на время структурирования и реологические свойства получаемого раствора. С этой целью, определенная навеска реагента постепенно добавлялась к воде (при определенной постоянной скорости вращения вала лабораторной мешалки) и полученный раствор перемешивался в течение 60 мин с промежуточными замерами свойств через 30, 40 и 50 мин. Реологические свойства водных растворов ТД 300.050. ВП определялись на ротационном вискозиметре 3500 SL «Chandler Engineering» (при стандартном соотношении размеров внутреннего и наружного цилиндров) в диапазоне скоростей сдвига от 5,1 с<sup>-1</sup> до 1022 с<sup>-1</sup>.

Измерения касательных напряжений сдвига осуществлялись при достижении стабилизации показаний прибора на максимальной скорости сдвига. Затем выполнялись измерения путем последовательного изменения скорости сдвига от большей к меньшей (обратный ход) и от меньшей к большей (прямой ход). Такой порядок измерений был принят для исключения эффекта гистерезиса и обеспечения условий максимального разрушения структуры, при которых полученные значения касательных напряжений сдвига являются корректными.

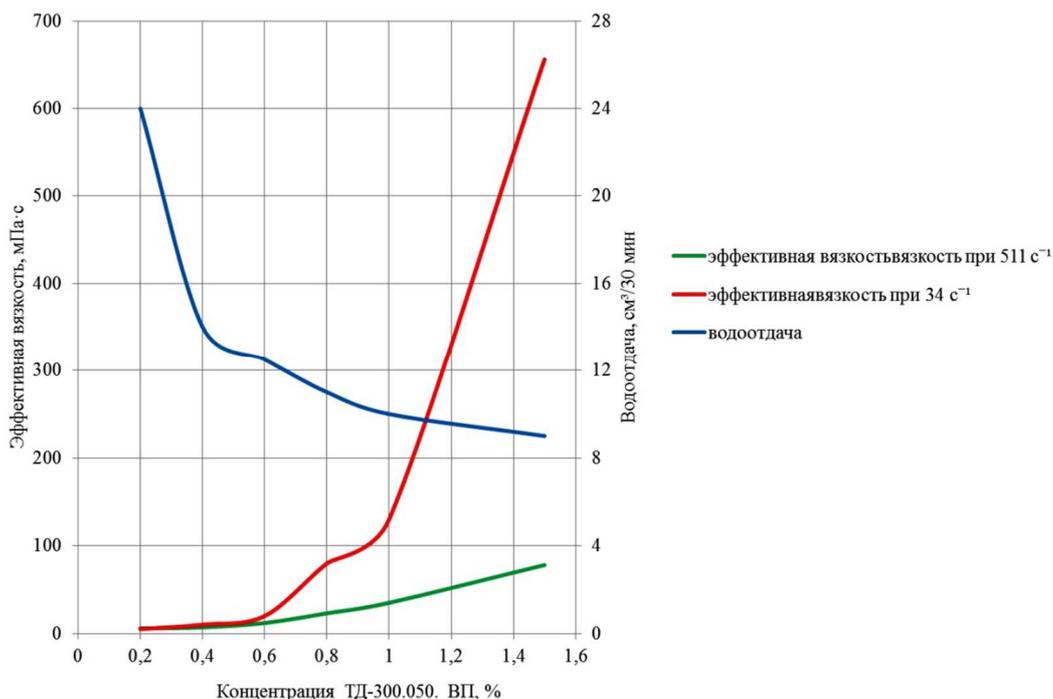
На рисунке 1 приведены конечные реограммы водных растворов ТД 300.050. ВП различной концентрации в указанном диапазоне скоростей сдвига, полученные по усредненным значениям касательных напряжений сдвига. Как видно на рисунке, проявление явных структурообразующих свойств и вязкоупругого эффекта происходит при концентрации полимерной добавки 1,0 % и более. Об этом можно судить по сопоставлению характера кривых течения в области низких скоростей сдвига, где для растворов с концентрацией полимера в воде 1 % и 1,5 % отмечается очевидная нелинейность. Нелинейный вид графиков указывает на наличие у систем структуры с определенной прочностью, которую необходимо преодолеть увеличением сдвиговых напряжений (т.е. скорости сдвига) для течения в условиях достигнутого разрушения структуры.

Такой характер течения отличает растворы ТД 300.050. ВП от известных тиксотропных систем (глинистых растворов, растворов биополимеров), для которых наблюдается явно выраженное сдвиговое разжижение после приложения достаточно небольших сдвиговых усилий: разрушение структуры происходит в области малых скоростей сдвига, а далее растворы имеют линейный характер течения, свойственный системам с полностью разрушенной структурой.



**Рисунок 1** – Реограммы водных растворов полимерного структурообразователя ТД 30.050.ВП

Если сравнивать изменения эффективной вязкости от концентрации ТД 300.050.ВП при низких скоростях сдвига (преимущественное влияние прочности структуры) и при высоких скоростях сдвига (преимущественное влияние сил взаимодействия агломератов геля и вязкостной составляющей), то можно видеть, что наиболее значительный прирост значений эффективной вязкости наблюдается в первом случае (в 25–129 раз) и именно при концентрации реагента 1–1,5 % (рис. 2). При скорости сдвига 511 с<sup>-1</sup> также отмечается прирост вязкости в указанном диапазоне концентраций полимерного структурообразователя, но он менее значителен (от 6,9 до 15,3 раза), поскольку измерение происходит в условиях разрушенной структуры.



**Рисунок 2** – Изменение эффективной вязкости при различных скоростях сдвига и водоотдачи в зависимости от концентрации ТД 300.050.ВП в воде



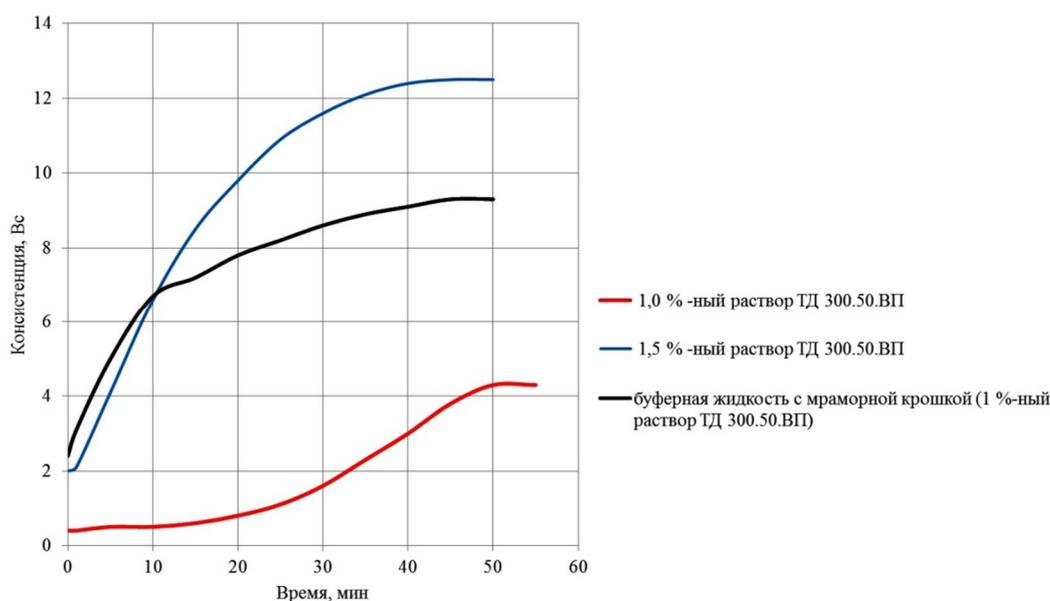
При повторном измерении растворов с явно выраженными вязкоупругими свойствами получены сопоставимые значения касательных напряжений сдвига во всем диапазоне скоростей сдвига, что свидетельствует об отсутствии механической деструкции полученной «сшитой» системы и способности восстанавливать связи между агломератами после приложения сдвиговых усилий.

Данный тип вязкоупругих растворов можно условно отнести в т.н. «мягким» ВУР, поскольку в отличие от «жестких» (даже резиноподобных) ВУР на основе «сшитого» полиакриламида, он обладает способностью к обратимому восстановлению структуры после приложения сдвиговых усилий.

Следует отметить невысокие значения показателя водоотдачи водных растворов реагента ТД-300.050.ВП даже при минимальных добавках, но наиболее существенное снижение  $V_{30}$  происходит уже при концентрации реагента 0,6 % (рис. 2). Для систем с 1 % и 1,5 % реагента наблюдается лишь дополнительное незначительно снижение водоотдачи, обусловленное «сшивкой» полимера и связыванием свободной воды.

Таким образом, исследования показали возможность применения реагента ТД 300.050.ВП в качестве основы для получения вязкоупругих систем, в т.ч. буферных жидкостей с низкой и высокой плотностью. При этом концентрация полимерного реагента в воде должна составлять не менее 1 %.

Особенностью вязкоупругих систем данного типа является постепенное структурообразование в течение 30–50 мин, что позволяет исключить проблемы с их закачкой, поскольку основной процесс структурообразования будет происходить уже в обсадной колонне. Установлено, что интенсивность набора буферным раствором максимальной вязкости зависит от концентрации полимерного реагента в воде: с увеличением концентрации реагента интенсивность «сшивки» и набора структуры возрастают. На рисунке 3 приведены графики изменения консистенции водных растворов ТД 300.050.ВП, полученные при испытании на консисометре, т.е. в условиях, имитирующих процесс движения буферных растворов в обсадных трубах и затрубном пространстве при цементировании обсадных колонн.



**Рисунок 3** – Изменение во времени консистенции водных растворов ТД 300.050.ВП различной концентрации и утяжеленной буферной жидкости с мраморным порошком

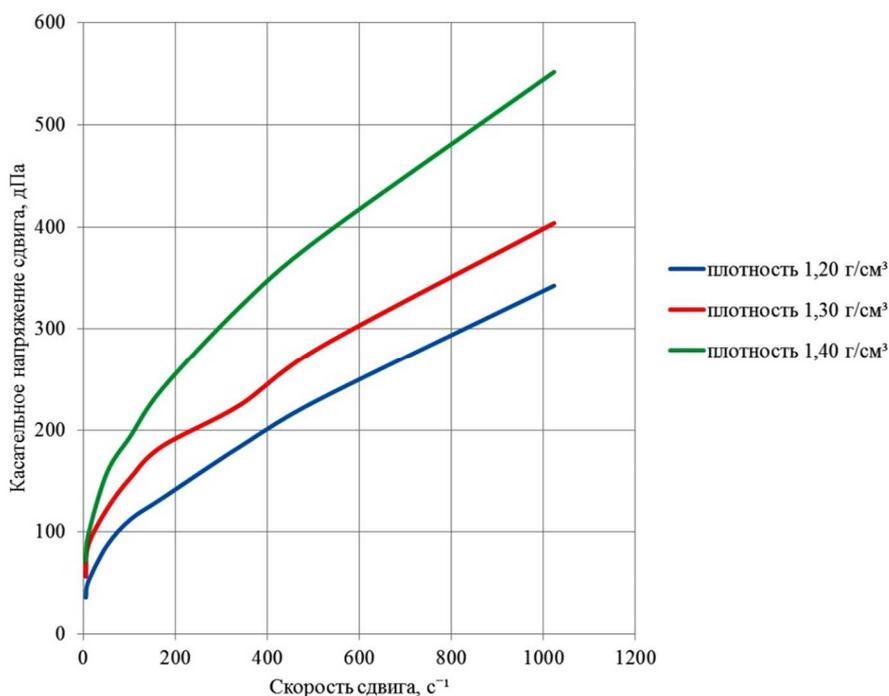
В дальнейшем были проведены исследования по оценке возможности использования добавки комплексной структурообразующей ТД 300.050.ВП в качестве основы для приготовления утяжеленных вязкоупругих буферных жидкостей. С этой целью реагент в сухом виде смешивался с утяжеляющей добавкой (мраморным порошком, кварцем, баритом и др.) и затем смесь затворялась водой по методике затворения, принятой для тампонажных растворов. Но в отличие от стандартной методики, после затворения смеси водой и перемешивания в смесителе при 1500 об/мин в течение трех минут, раствор выдерживался 30 мин и затем осуществлялось повторное перемешивание в течение трех минут. Такая методика приготовления была принята по той причине, что процесс структурообразования, аналогично водным растворам реагента, также происходит с постепенным увеличением консистенции в течение 30–40 мин (рис. 3).

Дозировка структурообразующей добавки подбиралась из расчета обеспечения ее концентрации в воде затворения не менее 1 %.

На рисунке 4 приведены реограммы утяжеленных буферных жидкостей с мраморной крошкой, полученные на основе ТД 300.050.ВП. В данном случае мраморная крошка выполняет роль регулято-

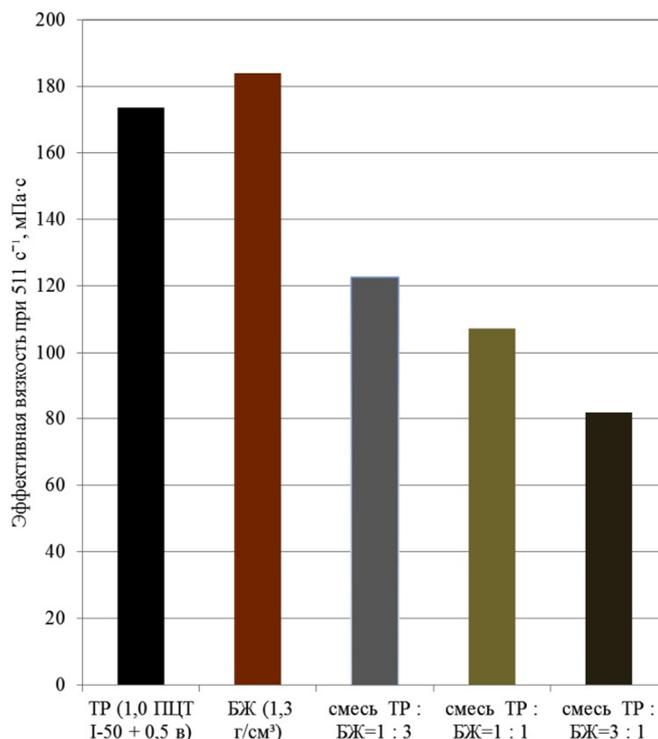


ра плотности и абразивного материала, повышающего «очищающую» способность вязкоупругого состава. Графики течения утяжеленных буферных жидкостей являются также нелинейными и с ростом плотности, достигаемой за счет уменьшения водо-твердого отношения, в большей степени проявляют вязкоупругие свойства.



**Рисунок 4** – Реограмма утяжеленных буферных жидкостей на основе ТД 300.050.Вп (с мраморным порошком)

Системы характеризуются необходимой стабильностью, показателем водоотдачи 8–10 см<sup>3</sup>/30 мин, хорошей совместимостью с тампонажным раствором. На рисунке 5 приведены реограммы стандартного тампонажного раствора с В/С = 0,5, утяжеленной мраморной крошкой буферной жидкостью с плотностью 1,3 г/см<sup>3</sup>, а также их смесей в соотношениях 1 : 3, 1 : 1 и 3 : 1.



**Рисунок 5** – Соотношение значений эффективной вязкости тампонажного раствора, утяжеленной мраморным порошком буферной жидкостью и их смесей в различных соотношениях



Как видно на рисунке, при добавлении вязкоупругого буферного раствора к стандартному тампонажному раствору в указанных соотношениях не происходит повышение вязкости раствора в результате коагулирующего действия одной системы, относительно другой. Более того, отмечается даже снижение вязкости тампонажного раствора при вводе буферного раствора, что является положительным свойством с практической точки зрения.

Испытания, выполненные с другими утяжеляющими добавками (кварцевый песок, барит, КМД-Н) также показали возможность получения технологически пригодных вязкоупругих составов на основе полимерного структурообразователя ТД 300.500.050.ВП и возможность их безопасного промыслового применения при цементировании обсадных колонн в интервалах нормальных и умеренных температур.

#### Литература:

1. Булатов А.И., Уханов Р.Ф. Совершенствование гидравлических методов цементирования скважин. – М. : Недра, 1978. – 240 с.
2. Булатов А.И., Аветисов А.Г. Справочник инженера по бурению. В 2-х томах. Т. 1. – М. : Недра, 1985. – 414 с.
3. Применение полимерных смесей полиакриламида и хлорного железа при проводке скважин / Е.А. Конавалов [и др.] // ЕНТПЖ Нефтяное хозяйство. – 1978. – № 9. – С. 62–63.
4. Разработка и применение унифицированных цементных смесей для приготовления тампонажных растворов пониженной плотности при одноступенчатом цементировании обсадных колонн / И.И. Белей [и др.] // НТЖ Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М. : ОАО «ВНИИОЭНГ», 2015. – № 6. – С. 32–37.

#### References:

1. Bulatov A.I., Ukhanov R.F. Improvement of hydraulic methods of well cementing. – M. : Nedra, 1978. – 240 p.
2. Bulatov A.I.; Avetisov A.G. Handbook of the engineer on drilling. In 2 volumes. V. 1. – M. : Nedra, 1985. – 414 p.
3. Application of the polymeric mixtures of polyacrylamide and chlorine iron for well routing / E.A. Konovalov [et al.] // UNTPZH Oil industry. – 1978. – № 9. – P. 62–63.
4. Development and application of the unified cement mixtures for the preparation of the cement slurries of the lowered density at the single-stage casing cementing // I.I. Belei [et al.] // NTZh Construction of the oil and gas wells on the land and at sea. – M. : JSC «VNIOENG», 2015. – № 6. – P. 32–37.