

Введение Технические жидкости для капитального ремонта скважин выполняют ряд функций, которые определяют успешность проведения ремонта скважин, а также ввод скважины в эксплуатацию с максимальной продуктивностью [1]. Основные причины возможного снижения проницаемости прискважинной зоны продуктивных пластов в процессе капитального ремонта обусловлены кольматацией коллектора частицами твердой фазы, блокированием фильтратов, набуханием глинистой составляющей коллектора и образованием нерастворимых осадков при контакте с пластовыми флюидами. Кроме того, часто ремонтные работы проводятся в условиях дренированного коллектора и падения пластового давления, поэтому одним из основных осложнений является поглощение больших объемов промывочных и задавочных жидкостей. К технологическим свойствам промывочных жидкостей предъявляется комплекс особых физико-химических и технологических требований: плотность раствора должна обеспечивать создание противодействия на продуктивный пласт; раствор должен обладать структурно-механическими свойствами, обеспечивающими эффективную очистку забоя скважин от выбуренной породы, забойного шлама; раствор должен легко извлекаться из пласта при освоении скважины, не снижать продуктивности и не содержать инертной по отношению к кислотам твердой фазы [2]. Однако, основным необходимым свойством технологических жидкостей является высокая удерживающая способность, которая достигается за счет высокого значения вязкости при низких скоростях сдвига. Используемые в настоящее время промывочные жидкости на водной основе не всегда отвечают предъявляемым требованиям. В связи с этим, разработка рецептур новых высокоэффективных промывочных жидкостей на водной основе является актуальной задачей, имеет прикладное значение.

Экспериментальная часть Для повышения вязкости воды и водных рассолов можно применять природные и синтетические полимеры [3, 4]. При исследованиях в качестве загустителей нами были использованы ксантановые полимеры, полимеры на основе полиакриламида, полианионные полимеры, полимеры на основе целлюлозы, полимеры на основе крахмала, загустители на основе глин, полимер на основе кремнезёма. Реологические исследования растворов полимеров проводились на ротационном вискозиметре Brookfield DV-II+ Pro, который предназначен для измерения динамической вязкости жидкостей при заданных скоростях сдвига. Изначально были исследованы растворы полимеров на дистиллированной воде. С целью изучения влияния минерализованной воды на вязкость полимерных растворов были исследованы полимерные растворы на минеральной воде. В качестве минеральной воды была использована модельная вода аналогичная по составу пластовой воде месторождения Луговое ТПП "ТатРИТЭКнефть". Плотность модельной пластовой воды составляет 1100 кг/м³, а pH – 7,23. Таблица 1 – Шестикомпонентный состав используемой минеральной воды

Компоненты	Содержание, г/л
Cl ⁻	154,40
Ca ²⁺	

24,60 Mg²⁺ 5,80 HCO₃⁻ 0,11 SO₄²⁻ 0,98 Na⁺ + K 60,00 Обсуждение результатов

Высокие значения вязкости и тиксотропные свойства водных растворов полимеров определяют их удерживающие свойства. Таким образом, оптимальными являются значения вязкости полимерных растворов, которые обеспечивают необходимое время удерживания частиц породы во взвешенном состоянии. На рис.1 представлена зависимость времени оседания частиц при максимальной динамической вязкости водного раствора полиакриламида марки AN-125 соответствующей минимальной скорости сдвига. Вязкость должна быть такой, чтобы частицы породы в колонне скважины оставались во взвешенном состоянии от 0,5 до 1,5 часов. Из рис. 1 следует, что самая оптимальная вязкость лежит в интервале 10000 - 15000 мПа•с. В дальнейших исследованиях при определении оптимальной концентрации полимера в растворе основывались на полученных результатах. Рис. 1 – Зависимость времени оседания частиц при максимальных значениях динамической вязкости

С целью определения наиболее эффективных полимеров в качестве загустителей в составах технологических жидкостей на водной основе, и определении их оптимальной концентрации были исследованы реологические свойства каждого исследуемого полимера при различных концентрациях. На основании полученных данных были построены зависимости динамической вязкости полимерных растворов от скорости сдвига. В таблице 2 представлены максимальные и минимальные значения вязкости для всех исследуемых полимеров при разных концентрациях.

Таблица 2 – Максимальные и минимальные значения вязкости полимеров при разных концентрациях

Полимеры	Максимальная	Минимальная	вязкость при	концентрациях (% масс.), МПа*с	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	min	max	min	max	min	max	min	max
Гаммаксан	-	-	266	27594	1986	70065	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AN-125	-	-	443	24355	773	48470	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ксантан	102	4079	301	21835	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Duo Vis	288	18236	376	38752	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Unitlate	-	-	220	1980	600	7198	1071	12477	FLODRILL	1090	-	-	299	2939	1622	8158	3723
AN-934	-	-	269	13437	1786	42111	19636	129000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aguaflo HV	-	-	260	839	1051	6479	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Polypack ppr	-	-	175	420	939	3119	11638	37912	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ПАЦ-В	-	-	103	180	747	1800	46370	56148	КМЦ-7С	-	-	-	-	-	-	-	-
VCMC-MV	-	-	113	120	970	3119	5093	53988	VPAC-HV	-	-	-	-	-	-	-	-
VCMC-HV	-	-	90	180	457	1140	7606	17996	-	-	-	-	-	-	-	-	-
КМК-бур 1	-	-	25	156	82	360	156	960	Реамил	-	-	-	-	-	-	-	-
Max Bore	-	-	4	72	13	102	129	2819	HYG-220	-	-	-	-	-	-	-	-
Bentonit M-1	-	-	2	6	5	60	27	1668	Полисил ДФ	-	-	-	-	-	-	-	-
Для ксантанов	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Для ксантанов наибольшая вязкость 70000 мПа•с была отмечена у биополимера ксантанового типа, с высокой молекулярной массой, "Гаммаксан" с концентрацией 1% масс. При последующем увеличении концентрации полимера вязкость раствора резко увеличивается и образуется гелеобразная система, определение динамической вязкости которой не представляется возможной. Самую хорошую тиксотропность имеет водный раствор ксантанового полимера марки Duo Vis. С изменением скорости сдвига его вязкость снижается в 105 раз.

Недостатком технологических жидкостей на основе ксантанов является их биодеструкция с течением времени. Поскольку ксантановая камедь представляет собой полисахарид, полученный путем ферментации с использованием бактерии *Xanthomonas campestris* при длительном хранении, количество микроорганизмов в составе ксантана увеличиваются в росте, и свойства водного раствора со временем меняются. Для предотвращения этого в состав водных растворов ксантана необходимо добавлять биоциды, т.е. химические вещества, основной целью которых является уничтожение и предотвращение роста микробов. Для водных растворов различных полиакриламидов (FLODRILL PAM 1090, Unitlate(ПАА), AN-934, AN-125), при увеличении скоростей сдвига при любой концентрации полимера динамическая вязкость растворов снижается. Это свидетельствует о том, что структурная сетка легко разрушается даже при небольшой скорости сдвига, что будет способствовать облегчению прокачки раствора и обеспечивать стабильность промывочной жидкости и высокую удерживающую способность при прекращении циркуляции в скважине. Среди группы полиакриламидов высокая вязкость наблюдается у водных растворов полимера марки AN-125 и AN-934. Максимальная динамическая вязкость данных растворов при концентрации 1% масс. более 40000 мПа·с. С изменением скорости сдвига вязкость для растворов AN-125 снижается в 60 раз, у AN-934 в 40 раз. Большой интерес в качестве агентов для загущения водных растворов представляют полианионные полимеры, которые являются экологически безопасными полимерами. В группе полианионных полимеров рассматривались полимеры марок: (ПАЦ-В, Aguaflo HV, Polyrack ppr, ПАЦ) (полианионная целлюлоза) широко используются для регулирования вязкости и фильтрации безглинистых растворов и растворов с низким содержанием твердой фазы при разработке буровых растворов. Наилучшие результаты были получены при использовании полианионного полимера марки Aguaflo HV. Динамическая вязкость Aguaflo HV при концентрации 1% масс. достигает 6400 мПа·с. С изменением скорости сдвига вязкость уменьшается всего в 6 раз. Тиксотропные свойства не удовлетворяют требованиям предъявляемым к загущающим агентам. В группе полимеров на основе целлюлозы (КМЦ-7С, VPAC-HV, VCMC-MV, VCMC-HV). самым эффективным является VCMC-MV. Для концентрации 4% масс., максимальная динамическая вязкость при минимальных скоростях сдвига 53000 мПа·с. С изменением скорости сдвига вязкость снижается в 10 раз. Далее рассматривались полимеры на основе крахмала: КМК-бур1, реагент «Реамил». Так же загустители на основе глин: Max Bore, Нуг 220. Небольшая вязкость и плохая тиксотропность полимеров на основе глин и крахмала не удовлетворяют требованиям предъявляемым к загущающим агентам, и рассматривать в дальнейшем эти полимеры не целесообразно. Представлялось интересным исследовать в качестве загустителей в составах промывочных жидкостей широко

распространенный во многих отраслях промышленности (в том числе и пищевой) гуаровую камедь. Гуаровая камедь обладает высокой вязкостью при концентрации 1% масс., однако низкие тиксотропные свойства не позволяют использовать его в составе промывочных жидкостей. Все изученные полимеры, хорошо растворяются в воде в изучаемом диапазоне концентраций. Полученные водные растворы обладают высокой стабильностью. По результатам исследований реологических свойств водных растворов полимеров на дистиллированной воде были проанализированы и выбраны наиболее эффективные полимеры (рис.2). Рис. 2 – Зависимость динамической вязкости от скорости сдвига наиболее оптимальных полимеров при концентрации 0,5% масс. На нефтепромыслах в зависимости от пластового давления могут использоваться растворы различной плотности. Повышение плотности технологических жидкостей на водной основе можно добиться использованием минерализованной воды. Таким образом в зависимости от пластового давления применяются пластовые воды (плотностью 1150-1180 кг/м³), сточные и технические слабоминерализованные воды плотностью 1060-1120 кг/м³ и пресные воды плотностью 1000 кг/м³. Для скважин с высокими пластовыми давлениям применяются водные растворы (рассолы) с высокой плотностью 1250 - 1350 кг/м³, плотность которых достигается за счет дополнительного растворения в воде солей. На рис. 3 и рис. 4 представлены зависимости динамической вязкости от скорости сдвига наиболее эффективных полимеров на основе дистиллированной воды и минерализованной воды. Рис. 3 – Зависимость динамической вязкости от скорости сдвига полимера марки VCMC-MV на минеральной и дистиллированной воде Рис. 4 – Зависимость динамической вязкости от скорости сдвига полимера марки Гаммаксан на дистиллированной и минеральной воде Анализ полученных результатов показал, что с увеличением минерализации воды максимальная вязкость исследуемых полимеров при низких скоростях сдвига меняется незначительно. Однако, ксантановый полимер марки Гаммаксан в отличие от полимера на основе целлюлозы (VCMC-MV) обладает более выраженными псевдопластичными свойствами. Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что для загущения технологических жидкостей на основе пресной слабоминерализованной воды оптимальным является ксантановый полимер марки Duo Vis. Для создания технологических жидкостей на основе сильноминерализованной воды целесообразно применять ксантановый полимер марки Гаммаксан.