

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИНВЕРТНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН В ГЛИНИСТЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Городилов Василий Валерьевич

магистрант института нефти и газа Сибирского Федерального университета, РФ, г. Красноярск

Вороненкова Юлия Олеговна

магистрант института нефти и газа Сибирского Федерального университета, РФ, г. Красноярск

Неверов Александр Леонидович

научный руководитель, доцент, института нефти и газа Сибирского Федерального университета, РФ, г. Красноярск

Лесик Елена Ильинична

научный руководитель, доцент, института нефти и газа Сибирского Федерального университета, РФ, г. Красноярск

Актуальность работы обусловлена необходимостью исследований и разработки инвертных эмульсий для бурения глубоких скважин в сложных горно-геологических условиях, в т. ч. при высоких давлениях и температурах. **Цель работы:** исследование и разработка инвертных эмульсий с добавками силикатов натрия для снижения проницаемости глинистых горных пород, за счет образования гелевых структур.

Методы исследования: определение поверхностного натяжения поверхностно-активного вещества (ПАВ) по максимальному давлению пузырьков [1]; определение растворимости ПАВ по индексу RSN (Relative Solubility Number) [13]; метод Бригса для приготовления обратных эмульсий [11]; определение устойчивости инвертной эмульсии на аппарате Turbiscan LAB Expert (производитель Formulaction, France); метод разбавления для определения типа эмульсии [5]; реологические свойства на ротационном вискозиметре OFITE Модель 1110; гидратация глинистых минералов на тестере продольного набухания.

Результаты. Представлено обоснование состава обратных эмульсий для бурения в гидрофильных глинистых породах, экспериментально обоснован вид и концентрация эмульгатора для приготовления обратной эмульсии и изучены технологические свойства полученных обратных эмульсий. Экспериментальные исследования показали, что наиболее устойчивой и имеющей оптимальные реологические свойства, оказалась инвертная эмульсия следующего состава: минеральное масло 25 %, водная фаза с содержанием силиката натрия (22% об.) – 75%; 3% эмульгатора (по объему). При этом полученная инвертная эмульсия имела невысокую вязкость при температуре 25°C, несмотря на большое содержание дисперсной фазы (75% об.). Кроме этого повышенное содержание дисперсной фазы с активной добавкой в виде силиката натрия позволило существенно снизить процесс гидратации глинистых минералов группы смектитов и соответственно повысить устойчивость стенок скважины.

Ключевые слова: инвертная эмульсия, гидратация, силикат натрия, мицелла, эмульгатор, реология.

Организация экспериментальных исследований.

Для получения инвертных эмульсий использовались следующие химические реагенты: масло гидравлическое МГ-15-В класс I, вода дистиллированная, силикат натрия, эмульгаторы (Tween-80, Neo-Care, ДОН-К 0302-5/75н, олеат кальция).

Экспериментальный подбор эмульгирующих реагентов для получения инвертной эмульсии и исследование основных свойств инвертных эмульсий осуществлялись в учебно-исследовательских лабораториях института нефти и газа СФУ.

Подбор эмульгирующих реагентов осуществляли на основе результатов исследований, проводимых в соответствии со следующими лабораторными методиками:

- определение показателя относительной растворимости RSN [13], позволяющего определить степень лиофильности эмульгатора;
- метод наибольшего давления газовых пузырьков или капель для оценки поверхностно-активных свойств ПАВ на границе раздела фаз жидкость-жидкость [1];

Для приготовления обратных эмульсий использовался метод прерывистого встряхивания (метод Бригса) [11]. В качестве стабилизаторов использовались неионогенные эмульгаторы Neo-Care, Tween 80 и ДОН-К 0302-5/75н в количестве 1,5%, 3% и 4,5% (об.), а также гидрофильный ионогенный олеат натрия, использование которого вызывает практический интерес в силу его способности к инвертированию фаз при взаимодействии с хлоридом кальция [8]. В качестве дисперсной фазы использовался 22 % раствор силиката натрия в дистиллированной воде. Соотношение масляной и водной фазы было принято следующим: 25/75 %, 50/50 % и 75/25 %. Состав полученных эмульсий приведен в таблице 1.

Таблица 1.

Состав эмульсий в процентном содержании компонентов

Номер образца	Эмульсия с содержанием:							
	Neo-Care		Олеат кальция		ДОН-К 0302-5/75н		Tween 80	
	ПАВ, об. %	Соотношение «масло/вода», об. %	ПАВ, об. %	Соотношение «масло/вода», об. %	ПАВ, об. %	Соотношение «масло/вода», об. %	ПАВ, об. %	Соотношение «масло/вода», об. %
1	2,5	25/75	2,5	25/75	1,5	25/75	2,5	25/75
2	5	50/50	5	50/50	3	50/50	5	50/50
3	7,5	75/25	7,5	75/25	4,5	75/25	7,5	75/25
4	2,5	25/75	2,5	25/75	1,5	25/75	2,5	25/75
5	5	50/50	5	50/50	3	50/50	5	50/50
6	7,5	75/25	7,5	75/25	4,5	75/25	7,5	75/25
7	2,5	25/75	2,5	25/75	1,5	50/50	2,5	25/75
8	5	50/50	5	50/50	3	25/75	5	50/50
9	7,5	75/25	7,5	75/25	4,5	75/25	7,5	75/25

Основные свойства полученных инвертных эмульсий оценивали по следующим методикам:

- метод разбавления для определения типа эмульсий [5];
- определение седиментационной стабильности обратных эмульсий, оцениваемой по количеству отделившейся в статических условиях дисперсионной среды из объема эмульсии за 24 часа при комнатной температуре;
- определение индекса дестабилизации (TSI), характеризующего кинетику дестабилизации эмульсии в течение 8-часового и 16-часового сканирования на аппарате Turbiscan;
- измерение структурно-вязкостных свойств эмульсии проводилось на ротационном вискозиметре OFITE Модель 1110;
- метод определения степени гидратации глин на многоканальном тестере линейного набухания компании OFITE.

Результаты исследований и обсуждение

Результаты исследования относительной растворимости [13] показали, что эмульгаторы ДОН-К 0302-5/75н, Neo-Care и олеат кальция представляют собой гидрофобные поверхностно-активные вещества. В свою очередь, Tween 80 по результатам опыта является гидрофильным эмульгатором, и, тем не менее, он представляет особый интерес для получения инвертных буровых растворов благодаря способности к температурной инверсии фаз.

Кроме того, еще одной важнейшей характеристикой при выборе ПАВ является поверхностная активность стабилизирующих эмульгаторов, влияющая на седиментационную и агрегативную устойчивость обратных эмульсий. В таблице 2 представлены основные поверхностно-активные свойства исследуемых эмульгаторов на границе раздела фаз масло/вода.

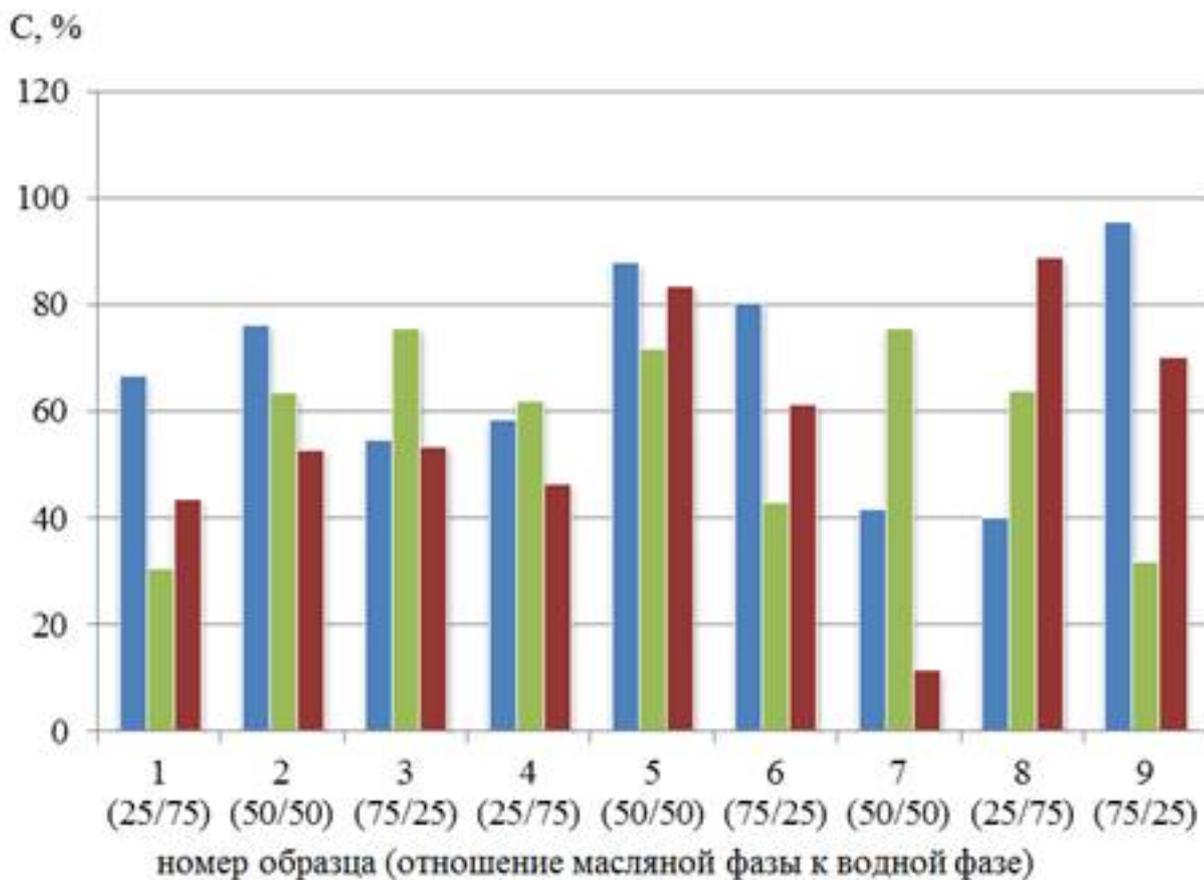
Таблица 2.

Поверхностно-активные свойства исследуемых эмульгаторов на границе раздела фаз масло/вода

Наименование ПАВ	Поверхностная активность, G, мН·м ² ·/·Г	ККМ, г/г
Neo-Care	2,45	0,020
Tween 80	4,13	0,020
ДОН-К 0302-5/75н	13,00	0,010
олеат кальция	1,75	0,015

По результатам исследования наиболее эффективным стабилизатором обратных эмульсий является ДОН-К 0302-5/75н, имеющий самое низкое значение ККМ, что означает более высокую стабилизирующую способность при меньших затратах по сравнению с другими эмульгаторами, в особенности, такими как Neo-Care и Tween 80. Это позволяет предположить, что Tween 80, имеющий гидрофильную природу наряду с высокой ККМ, не будет являться эффективным стабилизатором обратных эмульсий [12]. Так, анализ типа полученных эмульсий методом разбавления [5] показал, что эмульгатор Tween 80 не способен стабилизировать эмульсию инвертного типа.

Результаты измерений седиментационной стабильности для обратных эмульсий, стабилизированных ДОН-К 0302-5/75н, Neo-Care и олеатом кальция приведены на рисунке 1.



Neo-Care,
 Олеат кальция,
 ДОН-К 0302-5/75н

Рисунок 1. Результаты измерения седиментационной стабильности обратных эмульсий

На основе проделанного эксперимента был сделан вывод, что наилучшими для дальнейшей работы являются образцы 5 и 8 с эмульгатором ДОН-К 0302-5/75н, они же и были направлены на исследование стабильности на аппарате Turbiscan. Образцы 6 и 9 с эмульгатором Neo-Care также показали высокую седиментационную устойчивость, но их использование является нерациональным с экономической точки зрения, так как для стабилизации эмульсии требуется большой расход эмульгатора.

Немаловажным показателем стабильности эмульсии является индекс дестабилизации (TSI). При условии восьмичасового и шестнадцатичасового сканирования, индекс дестабилизации 5 образца в 3,44 и 3,48 раза соответственно превышает индекс дестабилизации для 8 образца (см. таблицу 3).

Таблица 3.

Значения показателя индекса дестабилизации TSI образцов №5 и 8 при условии 8-часового и 16-часового сканирования

Номер образца, содержащего ДОН-К 0302-5/75н	TSI	
	8-часовое сканирование	16-часовое ска
Образец №5	2,75	4,00
Образец №8	0,80	1,15

Полученные данные свидетельствуют о том, что наиболее устойчивой к седиментации и коалесценции является эмульсия, содержащая в своем составе 75 % водной фазы и стабилизированная 3 % об. ДОН-К 0302-5/75н, поэтому целесообразно исследовать реологию и способность к набуханию данной эмульсии.

Структурно вязкостные свойства эмульсии измерялись на ротационном вискозиметре OFITE Модель 1110. Результаты приведены на рисунке 2 и 3.

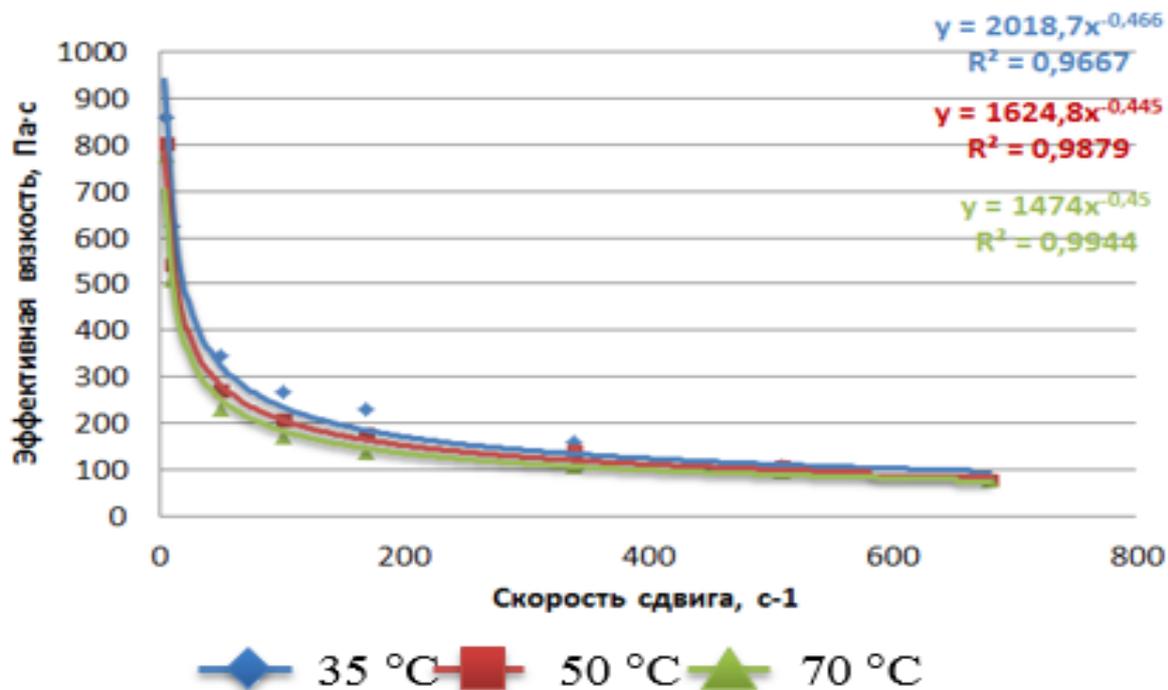


Рисунок 2. Зависимость эффективной вязкости обратной эмульсии на основе 3 % ДОН-К 0302-5/75н от скорости сдвига при скорости сдвига от 5,1 до 680,9 с⁻¹

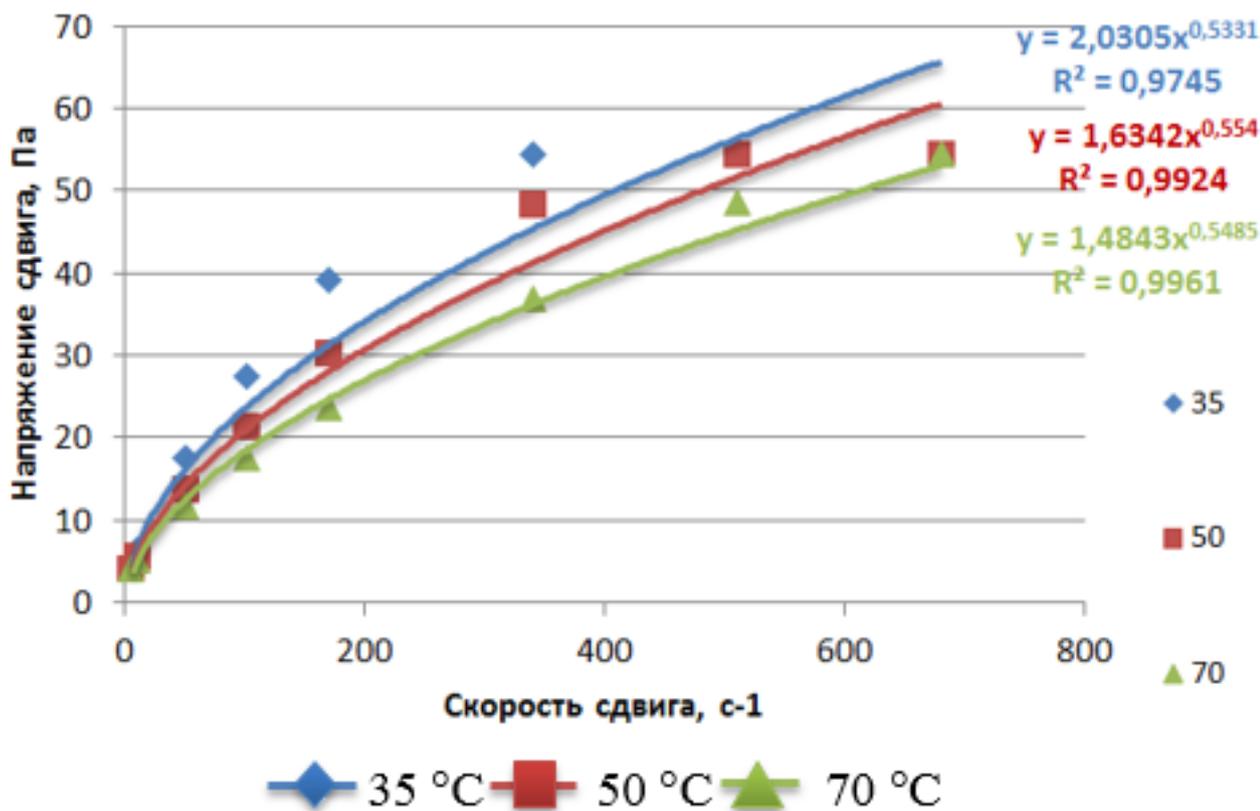


Рисунок 3. Кривые течения эмульсии, полученные на приборе OFITE Модель 1110

На основе полученных данных можно сделать вывод о том, что при увеличении скорости сдвига эффективная вязкость плавно уменьшается, что происходит и при увеличении температуры. При этом полученная обратная эмульсия имеет невысокую вязкость еще при комнатной температуре, несмотря на большое содержание дисперсной фазы (75%). Этот факт может способствовать лучшему проникновению буровой жидкости в трещины породы, снижению гидравлического сопротивления и гидродинамического давления в трубном пространстве при турбулентном течении, повысив тем самым эффективность бурения и уменьшив негативное воздействие на пласт. Так же повышенное содержание дисперсной фазы с активной добавкой в виде силиката натрия позволит снизить расход буровой жидкости при сохранении эффективности коагуляции и увеличения нефтеотдачи горных пород.

Тестирование обратной эмульсии методом степени гидратации глин выявила степень набухания в размере 23,3%. Для сравнения, у воды она составляет 69,2%. Таким образом, результаты исследований подтвердили возможность полученной обратной эмульсии снижать степень набухания глин за счет образования конденсационно-кристаллизационной структуры, гидрофобизирующей поверхность [4]. Изменение степени набухания глинистого образца в течение 115 часов показано на рис. 4.

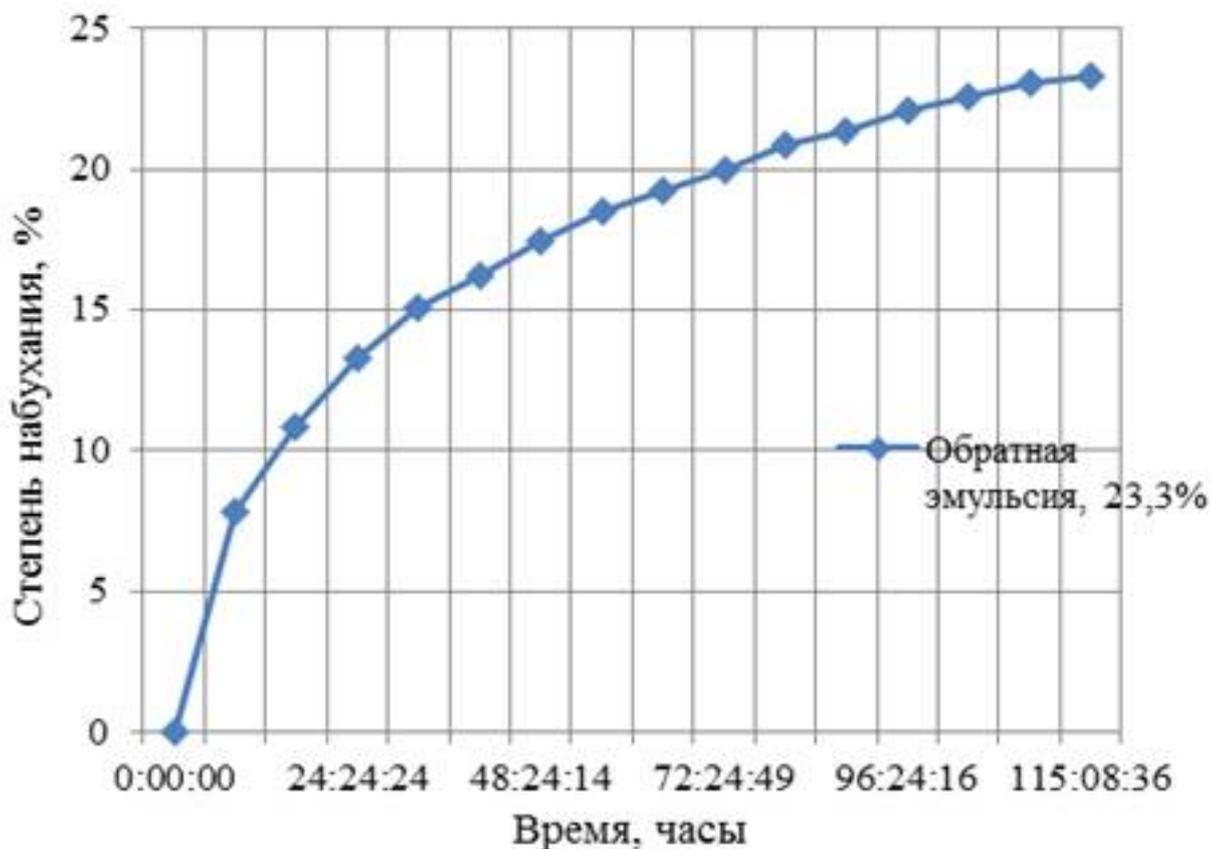


Рисунок 4. Изменение степени набухания глинистого образца в среде обратной эмульсии на основе силиката натрия, стабилизированной 3 % ДОН-К 0302-5/75н

Степень набухания глинистого образца в среде обратной эмульсии на основе силиката натрия составила 23,3 %. Таким образом, результаты исследований подтвердили возможность полученной обратной эмульсии снижать степень набухания глин за счет образования конденсационно-кристаллизационной структуры, гидрофобизирующей поверхность.

Список литературы:

1. Абрамзон, А. А. Поверхностно-активные вещества: Свойства и применение : учебное пособие / А. А. Абрамзон. - Ленинград : Химия, 1981. - 304 с.
2. Айлер, Р. К. Химия кремнезема : учебное пособие / Р. К. Айлер. - Москва : Мир, 1982. - 712 с.
3. Корнеев, В. И. Жидкое и растворимое стекло: учебное пособие для вузов/ В. И. Корнеев, В. В. Данилов - Санкт-Петербург: Стройиздат, 1996. - 216 с.
4. Минибаев, В. В. Разработка и опыт применения кремнегелевых реагентов и буровых растворов [электронный ресурс] / В. В. Минибаев // Бурение и нефть : специализированный журнал. - 2010. - № 02. - Режим доступа: <http://burneft.ru/archive/issues/2010-02/12>.
5. Наговицына, Т. Ю. Прямые наноэмульсии, стабилизированные неионогенными ПАВ, для инкапсулирования лекарственных веществ : дис. ... канд. хим. наук : 02.00.11 / Наговицына Татьяна Юрьевна. - Москва, 2015. - 132
6. Пат. 2112871 Российская Федерация, МПК E21B 43/00. Состав для обработки призабойной зоны пласта / Т. М. Лысенко; заявитель и патентообладатель Научно-производственное товарищество с ограниченной ответственностью "Нафта-С". - № 2000131736/09 ; заявл.

18.12.00 ; опубл. 10.06.98, Бюл. № 16. - 4 с.

7. Пат. 2232878 Российская Федерация, МПК7 E21B43/22. Состав для обработки призабойной зоны пласта / В. А. Волков; заявитель и патенто- обладатель Общество с ограниченной ответственностью "Дельта-пром". - № 2002118580/03 ; заявл. 09.07.02 ; опубл. 20.07.04, Бюл. № 16. - 4 с.

8. Рощупкина, И. Ю. Эмульсии : метод. Указания / И. Ю. Рощупкина, Е. Н. Тупикова. - Самара : Самар. Гос. Аэрокосм. Ун-т, 2011. - с. 16.

9. Хвоцин, П. А. Исследование и разработка инвертного эмульсионного раствора на основе термопластичной композиции для промывки скважин в сложных условиях бурения : дис. ... канд. тех. наук : 25.00.15 / Хвоцин Павел Александрович. - Уфа, 2016. - 222 с.

10. Чудновская, А. В Экологическая безопасность применения инвертно-эмульсионных буровых растворов на базе растительных масел : науч. изд. / А. В. Чудновская, Р. М. Хасанов, Р. Р. Валиев. - Уфа : Уфимский гос. нефтяной технический ун-т, 2016. - 11 с.

11. Шерман, Ф. Эмульсии : науч. издание / Ф. Шерман. - Санкт-Петербург : Химия, 1972. - 448 с.

12. Эмульгатор для растительных масел Твин 80 : исследовательская информация / ООО «ПраймКемикалсГрупп» [сайт]. - Москва, 2016. - Режим доступа: <https://pcgroup.ru/blog/tvin-80-populyarnyj-emulgator>.

13. Jiangying, Wu Development of a method for measurement of relative solubility of nonionic surfactants / Wu Jiangying, Xu Yuming, Dabros Tadeusz, Hassan Hamza // Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects. - 2004. - № 3.