

УДК 622.244

П.А. Хвощин, заведующий лабораторией, e-mail: khvoshchin@permnipineft.com; **И.Л. Некрасова**, к.т.н., ст.н.с., e-mail: nekrasova@permnipineft.com; **О.В. Гаршина**, к.т.н., доцент, начальник отдела, e-mail: garshina@permnipineft.com; **Г.В. Окромелидзе**, начальник управления, филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми, e-mail: okromelidze@permnipineft.com

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНВЕРТНО-ЭМУЛЬСИОННЫХ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

Инвертно-эмульсионный буровой раствор достаточно успешно используется при бурении скважин с горизонтальным окончанием на месторождениях Пермского края. Существующий состав раствора усовершенствован с целью получения низковязких инвертных эмульсий, обладающих оптимальными структурно-реологическими свойствами, высокой емкостью в отношении утяжелителя и стабильностью реологических параметров в зависимости от температуры. Кроме того, усовершенствована технология строительства горизонтальных скважин за счет внедрения дополнительных мероприятий по очистке ствола, использования новых буферных составов, технических средств и расширяющегося тампонажного материала при цементировании, а также многократного повторного использования отработанного ИЭР.

Ключевые слова: инвертно-эмульсионный раствор, растворы на углеводородной основе, реологические свойства, бурение скважин с горизонтальным окончанием, буферные составы для цементирования.

В последние пять лет на месторождениях Пермского края наблюдается значительный рост количества скважин с горизонтальным окончанием. Подавляющее большинство таких скважин успешно пробурено с использованием инвертно-эмульсионных буровых растворов (ИЭР). Применение ИЭР обусловлено их непревзойденной эффективностью и технологичностью, способностью обеспечить высочайший уровень устойчивости ствола скважин в самых сложных горно-геологических условиях, феноменальной стабильностью свойств и устойчивостью ко всем видам загрязнений, сверхнизким коэффициентом трения и возможностью многократного повторного использования. Вместе с тем для ИЭР характе-

рен ряд недостатков, не свойственных растворам на водной основе и вызывающих ряд сложностей при бурении скважин [1].

Одним из таких недостатков являются повышенные структурно-реологические показатели растворов на углеводородной основе и, как следствие, возникновение больших гидравлических сопротивлений в элементах КНБК и в затрубном пространстве, что, в свою очередь, приводит к высоким давлениям прокачки раствора и увеличению его эквивалентной циркуляционной плотности. Повышенные реологические показатели отрицательно сказываются на условиях промывки скважин, ухудшается качество очистки ствола скважин, снижается механи-

ческая скорость бурения, появляется эффект поршневания и свабивования при спуско-подъемных операциях. Неэффективная очистка ствола скважины приводит к накоплению выбуренного шлама в участках интенсивного набора зенитного угла, что служит причиной образования так называемых шламовых подушек и сальников на элементах КНБК. В результате происходит закупоривание кольцевого пространства, сопровождающееся затяжками и посадками, которые могут привести к прихвату буровой колонны с полной потерей циркуляции.

Кроме этого, скопление шлама в скважине приводит к повышению крутящего момента и аксиального трения буровой колонны, что вызывает ее



ЗОРЯ-МАШПРОЕКТ

Государственное предприятие
Научно-производственный
комплекс газотурбостроения



УКРОБОРОНПРОМ
Государственный концерн



- газотурбогенераторы
- приводы ГПА
- морские установки



42А, проспект Октябрьский,
Николаев, 54018

spe@mashproekt.nikolaev.ua
marketing@zorya.com.ua
www.zmturbines.com

«подвисание» и недоход нагрузки на долото. Скопившийся в скважине шлам значительно осложняет проходимость каротажных приборов, что нередко приводит к необходимости дополнительной проработки скважины, а также вызывает проблемы при спуске обсадных колонн, препятствует формированию качественного цементного камня и контакта на границе «горная порода – цементный камень» [2]. В связи с этим необходима оптимизация реологических свойств ИЭР и внедрение дополнительных мероприятий по очистке ствола горизонтальных скважин.

Другим существенным недостатком традиционных ИЭР по сравнению с буровыми растворами на водной основе является сильная зависимость их реологических свойств от температуры. Это свойство буровых растворов на углеводородной основе особенно ощутимо при промывке горизонтальных скважин с высокими забойными температурами, при большой разнице температур на забое и на поверхности. При увеличении температуры происходит резкое снижение вязкости ИЭР, особенно показателей динамического напряжения сдвига и прочности геля, которые характеризуют выносную и удерживающую способности бурового раствора. При этом существенно ухудшается качество очистки ствола скважины, буровой раствор становится седиментационно-нестабильным, неустойчивым к удержанию мелкодисперсной твердой фазы и утяжелителя во взвешенном состоянии. При низких температурах окружающей среды наблюдается загущение ИЭР до очень вязкого состояния, вплоть до нетекучего, что создает сложности при прокачке такого раствора.

Известно, что реологические свойства ИЭР определяются каждым компонентом системы и характером их взаимодействия между собой:

- дисперсионной средой (тип и вязкость);
- дисперсной водной фазой (объемное содержание, степень и тип минерализации);
- ПАВ, обеспечивающих эмульгирование и стабилизацию системы (химический

состав, концентрация, растворимость в фазах);

- твердой фазой (концентрация, степень дисперсности, лиофобность поверхности).

В связи с этим для получения технологически необходимых параметров ИЭР произведен подбор компонентов и их концентраций, определен порядок их ввода и влияние каждого на реологические свойства системы. По результатам лабораторных исследований в качестве углеводородной среды ИЭР выбрано низковязкое минеральное масло, которое имеет минимальную вязкость в широком температурном диапазоне и низкую температуру загустевания, что уменьшает термозависимость раствора, приготовленного на его основе. Кроме того, низковязкое минеральное масло обладает меньшей токсичностью, пожаро- и взрывоопасностью по сравнению с дизельным топливом и нефтью. Выбор эмульгатора-стабилизатора был сделан в пользу реагента на основе амидо-аминных соединений, так как обратные эмульсии, полученные с его помощью, имеют высокий показатель электростабильности, не требуют дополнительного ввода извести и вторичных эмульгаторов.

В настоящее время одним из самых распространенных способов регулирования реологических параметров растворов на углеводородной основе является изменение соотношения углеводородной среды и водной фазы, то есть снижение вязкости достигается разбавлением раствора используемой

дисперсионной средой. Однако в этом случае наряду со снижением пластической вязкости и динамического напряжения сдвига снижается вязкость раствора при низких скоростях сдвига, уменьшается седиментационная стабильность эмульсий, резко возрастают фильтратопотери, такие системы становятся неустойчивыми к удержанию выбуренного шлама и утяжелителя. Для минимизации указанных проблем с целью оперативного регулирования реологических параметров был разработан специальный комплексный реагент «Инжель», состоящий из смеси многоатомных спиртов и коллоидной водной дисперсии термопластичных полимеров. Ввод «Инжеля» в ИЭР приводит к стабилизации реологического профиля бурового раствора и позволяет компенсировать падение вязкости с ростом температуры, сохраняя необходимую реологию раствора на забое скважины. Таким образом, наряду с модификацией реологических характеристик ИЭР данный реагент дополнительно выполняет функцию термостабилизатора инвертно-эмульсионной системы.

С применением разработанного реагента получены приемлемые по реологии и седиментационно-стабильные ИЭР плотностью до 1,75 г/см³ при соотношении УВ:В – 50–60/50–40. Компонентный состав растворов представлен в таблице 1.

Технологические параметры усовершенствованного инвертно-эмульсионного бурового раствора могут регулиро-

Таблица 1. Состав ИЭР на основе реагента «Инжель»

Наименование компонента	Количество компонента
Дисперсионная среда (углеводородная жидкость)	500–600 л/м ³
Эмульгатор-стабилизатор	30–40 л/м ³
Стабилизирующий комплексный реагент – регулятор структурно-реологических свойств, термостабилизатор «Инжель»	30–50 кг/м ³
Водный раствор солей щелочных и/или щелочноземельных металлов	500–400 л/м ³
Понижитель фильтрации	5–10 кг/м ³
Пеногаситель	0,3–0,5 л/м ³
Инертный утяжелитель (барит, мраморная крошка)	по необходимости

Таблица 2. Свойства инвертно-эмульсионного бурового раствора

Показатель	Пределы значений
Плотность, г/см ³	0,87–1,75
• неутяжеленного	0,87–1,18
Пластическая вязкость, мПа*с	
• при t = 20 °С	25–55
• при t = 90 °С	10–20
Динамическое напряжение сдвига, дПа	
• при t = 20 °С	80–220
• при t = 90 °С	80–220
Прочность геля (за 10 с/10 мин.), дел.	
• при t = 20 °С	≥ 7/8
• при t = 90 °С	≥ 20/22
Электростабильность, В	≥ 150
Показатель фильтрации при ΔP=0,7 МПа, см ³ /30 мин.	
• при t = 20 °С	0–3
• при t = 90 °С	1–3
Соотношение масло/вода (OWR), %	50–60/50–40

ваться в достаточно широких пределах (табл. 2).

Полученные растворы характеризуются высокими значениями динамического напряжения сдвига и прочности геля и при этом низкими значениями пластической вязкости, что соответствует требованиям строительства горизонтальных скважин.

Изучение реологического поведения системы при изменении температуры проводили на ротационном вискозиметре НРНТ марки 1100 фирмы OFITE

и программируемом вискозиметре BROOKFIELD DV-II.

Результаты исследования реологических характеристик ИЭР представлены на рисунке 1. При повышении температуры наблюдается резкое снижение пластической вязкости. Значение динамического напряжения сдвига (ДНС) минимально при температуре 50–70 °С (снижается в 1,5 раза), затем происходит увеличение ДНС, при этом значения ДНС при 20 и 90 °С находятся приблизительно на одном уровне. Для

традиционной рецептуры ИЭР динамика изменения ДНС в зависимости от температуры носит противоположный характер. Отличительной особенностью раствора является увеличение вязкости в области низких скоростей сдвига (0,3–3 об./мин.) при повышении температуры.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что усовершенствованная рецептура ИЭР является термоупрочняющейся системой, повышающей свои псевдопластичные и удерживающие свойства с увеличением температуры и поэтому предпочтительна для использования в качестве бурового раствора при бурении горизонтальных скважин с высокими забойными температурами (например, на месторождениях Республики Коми, ХМАО и т.д.).

На данный момент с использованием усовершенствованного бурового раствора пробурено более 15 скважин с горизонтальным окончанием, в том числе боковых стволов и многозабойных скважин. Вследствие оптимальных структурно-реологических параметров ИЭР по результатам авторского надзора отмечено сокращение осложнений, связанных с неполным выносом выбуренного шлама на поверхность, уменьшилось количество проблем с непрохождением каротажных приборов и обсадных колонн.

Однако, как показывает опыт строительства скважин, образование слоя шлама может возникать даже при использовании бурового раствора, имеющего требуемые свойства и подаваемого на оптимальном уровне расхода. Для сокращения проблем, связанных с выносом шлама, разработан и введен на скважинах комплекс дополнительных мероприятий по очистке ствола горизонтальных скважин. В частности, при бурении скважин с горизонтальным окончанием с промывкой ИЭР предусмотрена прокачка по стволу очищающих низковязких пачек точно рассчитанного объема с дополнительным рейсом роторной компоновки для очистки ствола скважины через каждые 150–200 м проходки с обеспечением скорости вращения бурильной колонны не менее

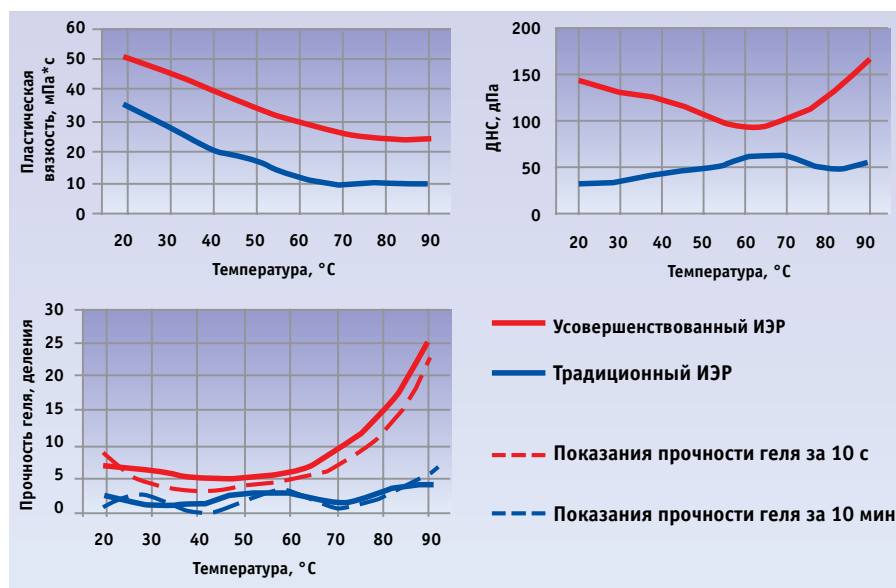


Рис. 1. Влияние температуры на реологические свойства утяжеленного инвертно-эмульсионного бурового раствора



11-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА
ПО ОСВОЕНИЮ РЕСУРСОВ НЕФТИ И ГАЗА РОССИЙСКОЙ
АРКТИКИ И КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА СТРАН СНГ

RAO/CIS OFFSHORE 2013

11TH INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION FOR OIL AND GAS RESOURCES
DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN ARCTIC AND CIS CONTINENTAL SHELF

SEPTEMBER 10–13 СЕНТЯБРЯ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ • ST. PETERSBURG



ЗАРЕГИСТРИРУЙТЕСЬ ЗАРАНЕЕ!

BOOK NOW! www.rao-offshore.ru

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ



HALLIBURTON



СПОНСОРЫ

FMC Technologies

Schlumberger



СПОНСОРЫ КРУГЛЫХ СТОЛОВ



СЕКРЕТАРИАТ

ВЫСТАВОЧНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ Тел.: (812) 320 9660, 303 8863



E-mail: geo@restec.ru, rao2@restec.ru

на правах рекламы

Российский разработчик и производитель противокоррозионных защитных лакокрасочных материалов марки АКРУС®, специального и промышленного назначения.



МЫ ПРОИЗВОДИМ ТОЛЬКО ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Это позволяет нам концентрироваться на особенностях их изготовления и потребления.



ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ:

- Нефтехимическая индустрия
- Нефтегазодобывающая промышленность
- Судостроение
- Машиностроение
- Мостостроение
- Гражданское строительство



на правах рекламы

**117420, г. Москва,
ул. Намёткина, д. 10Б**
Тел./факс: +7 (495) 363-56-69
info@akrus-akz.ru
www.akrus-akz.ru
www.akrus.ru

60–70 об./мин. Для облегчения спуска обсадных колонн начали устанавливать на забой высоковязкие пачки на основе исходного ИЭР и комплексного реагента «Инжель».

Для подготовки ствола скважины к цементированию разработана и успешно начала применяться специальная система буферных составов, состоящая из нескольких буферных жидкостей различного назначения, обеспечивающих:

- разделение несовместимых жидкостей и обеспечение максимального растворения пленки бурового раствора на стенках скважины и на обсадных трубах;
- максимальное вытеснение остатков бурового раствора и отмыв стенок скважины и обсадных труб;
- удаление остатков эмульсионного раствора со стенок скважины и обсадной колонны средствами на водной основе, способными растворять маслянистые остатки бурового раствора;
- вытеснение остатков бурового раствора, кольматирование проницаемых пород, улучшение адгезионных характеристик породы.

Разработанный комплекс буферных жидкостей обеспечивает требуемую степень гидрофилизации ПЗП для качественного сцепления цементного камня с породой. По результатам АКЦ коэффициент качества цементирования эксплуатационных колонн в скважи-

нах с горизонтальным окончанием не менее 0,9.

Растворы на углеводородной основе требуют специального подхода к их утилизации. Разработано и применяется несколько способов утилизации отработанного ИЭР: повторное использование ИЭР на последующих скважинах, использование ИЭР в качестве смазочных добавок к буровым растворам на водной основе, использование ИЭР для приготовления на его основе гидрофобизирующих (закрепляющих) пачек, целенаправленное разрушение ИЭР и повторное использование выделенной углеводородной фазы в новом технологическом цикле.

В настоящее время строительство всех горизонтальных скважин на территории Пермского края ведется с использованием представленного в статье комплекса взаимосвязанных технологий. Опыт показывает, что данный комплексный подход обеспечивает высокое качество строительства скважин и минимизирует потенциальных осложнений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мединцев С.В. Стабилизация реологического профиля буровых растворов на углеводородной основе // Территория НЕФТЕГАЗ. – 2010. – № 10. – С. 28–30.
2. Горпинченко В.А. Применение синтетического полимерного волокна для увеличения эффективности выноса шлама при бурении долотами PDC / В.А. Горпинченко, М.Р. Дильмиев // Бурение и нефть. – 2010. – № 6. – С. 6–8.

Drilling

P. Khvoshchin, Laboratory head, e-mail: khvoshchin@permnipineft.com;
I. Nekrasova, Ph.D., High-order research assistant, e-mail: nekrasova@permnipineft.com;
O. Garshina, Ph.D., docent, Department head, garshina@permnipineft.com; **G. Okromelidze**, Department Manager, «PermNIPIneft», branch of LLC «LUKOIL-Engineering» in Perm, e-mail: okromelidze@permnipineft.com

The improvement of horizontal well construction technology with invert-emulsion drilling fluids

Invert emulsion drilling fluids are quite successfully used in horizontal drilling in the Perm region. The composition of these drilling fluids is improved to produce low-viscosity invert emulsions having optimal structural and rheological properties, with high content of weighting agent and stability of parameters depending on temperature. In addition, the construction horizontal well technology is improved through implementation of additional measures to clean the borehole, using the new spacers, technical tools and expanding material for cementing, multiple re-using of waste mud.

Keywords: invert emulsion drilling fluids, oil-based mud, rheological properties, horizontal drilling, spacers for cementing.

References:

1. Medentsev S.V. Stabilizatsiya reologicheskogo profilya burovyykh rastvorov na uglevodородной основе (Stabilization of hydrocarbon-based drilling fluids rheology profile) // NEFTEGAZ Territory. – 2010. – No. 10. – P. 28–30.
2. Gorpichenko V.A. Primenenie sinteticheskogo polimernogo volokna dlya uvelicheniya effektivnosti vynosa shlama pri burenii dolotami 3BC (Application of synthetic polymer fibre for improving efficiency of cuttings removal when drilling with PDC bits) / V.A. Gorpichenko, M.R. Dilmiev // Drilling and oil. – 2010. – No. 6. – P. 6–8.