

УДК 622.276.43:[622.8+614.8]

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2018

АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ НА НЕВОДНОЙ ОСНОВЕ В ПРОЦЕССАХ СТРОИТЕЛЬСТВА И ОСВОЕНИЯ СКВАЖИН

И.Л. Некрасова

Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми
(614066, Россия, г. Пермь, ул. Советской Армии, 29)

ASPECTS OF ENVIRONMENTAL AND INDUSTRIAL SAFETY OF NON-AQUEOUS PROCESS FLUIDS IN CONSTRUCTION AND COMPLETION OF WELLS

Irina L. Nekrasova

PermNIPIneft branch of LUKOIL-Engineering LLC in Perm
(29 Sovetskoy Armii st., Perm, 614066, Russian Federation)

Получена / Received: 17.04.2018. Принята / Accepted: 01.09.2018. Опубликовано / Published: 28.09.2018

Ключевые слова:

технологические жидкости на неводной основе, инвертно-эмульсионные буровые растворы, олефины, парафины, степень биодegradации, класс опасности, токсическое воздействие на экосистемы, температура вспышки.

В настоящее время в процессах строительства и освоения нефтегазовых скважин в связи с вовлечением в разработку месторождений со сложными геологическими и термобарическими условиями наметилась отчетливая тенденция роста объемов использования технологических жидкостей на неводной основе, в особенности инвертно-эмульсионных буровых растворов. Одной из ключевых проблем, являющихся препятствием для массового внедрения жидкостей на неводной основе в процессы строительства и освоения скважин, является высокая техногенная нагрузка на окружающую природную среду вследствие их экологической опасности, а также необходимость обеспечения повышенных мер промышленной безопасности при их применении в промысловых условиях. Предложена классификация дисперсионных сред, используемых в современных рецептурах технологических жидкостей на неводной основе. Рассмотрены следующие показатели экологичности и промышленной безопасности данного типа жидкостей: токсическое воздействие на экосистемы, способность к деградации в природной среде до безопасных продуктов под воздействием деятельности микроорганизмов, показатели промышленной санитарии и пожаробезопасности. Исследованы факторы, влияющие на значение температуры вспышки технологических жидкостей на неводной основе. Ужесточение требований в отношении экологических показателей дисперсионной среды технологических жидкостей на неводной основе позволит улучшить экологическую ситуацию в районах ведения буровых работ. Знание основ управления пожароопасными свойствами данного типа жидкостей позволит повысить промышленную безопасность их применения в промысловых условиях. Представленные в статье аспекты экологической и промышленной безопасности технологических жидкостей на неводной основе будут полезны специалистам в области бурения и добычи, занимающимся проектированием и разработкой технологических жидкостей, в том числе для сланцевых месторождений нефти и газа.

Key words:

non-aqueous process fluids, invert-emulsion drilling muds, olefins, paraffins, biodegradation degree, hazard class, toxic effects on ecosystems, flash point.

Nowdays, reserves complex in terms of geology, pressure and temperature are involved into production. That is accompanied by the increase in use of non-aqueous process fluids, especially invert-emulsion drilling muds. One of the key problems that are an obstacle for mass application of non-aqueous fluids in construction and completion of wells is a high man-made effect on the environment due to their environmental hazard and need to ensure enhanced industrial safety measures when used in field conditions. The classification of dispersion media used in modern non-aqueous process liquid formulations is proposed. The following indicators of "environmental friendliness" and industrial safety of this type of liquids are considered: toxic effects on ecosystems, ability to degrade in the natural environment to safe products under the influence of microorganisms, indicators of industrial sanitation and fire safety. The factors affecting the flash point temperature of non-aqueous process fluids were analyzed. Stricter requirements for environmental readings of the dispersion medium of process fluids on a non-aqueous basis will improve the environmental situation in areas of drilling operations. Knowing the basics of management of fire-hazardous properties of this type of liquids will increase the industrial safety of their use in field conditions. The aspects of environmental and industrial safety of process fluids on a non-water basis, presented in the paper, will be useful for specialists in the field of drilling and production who are engaged in design and development of process fluids, including shale oil and gas deposits.

Некрасова Ирина Леонидовна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела буровых растворов и технологических жидкостей (тел.: +007 342 233 67 63, e-mail: Irina.Nekrasova@pnn.lukoil.com).

Irina L. Nekrasova (Author ID in Scopus: 56704818100) – PhD in Engineering, Leading Research Fellow at the Department of Drilling Muds and Process Fluids (tel.: +007 342 233 67 63, e-mail: Irina.Nekrasova@pnn.lukoil.com).

Введение

В настоящее время в процессах строительства и освоения нефтегазовых скважин в связи с вовлечением в разработку месторождений со сложными геологическими и термобарическими условиями наметилась отчетливая тенденция роста объемов использования технологических жидкостей на неводной основе, в особенности инвертно-эмульсионных буровых растворов. В настоящее время все ведущие зарубежные и отечественные сервисные компании имеют в своем арсенале данный тип буровых растворов [1]. Технологические жидкости на неводной основе, благодаря способности сохранять естественные фильтрационно-емкостные свойства продуктивных пластов, находят также все более широкое применение и в технологиях глушения, освоения и вторичного вскрытия скважин [2, 3]. Основным преимуществом применения указанного типа жидкостей для глушения и вторичного вскрытия является предотвращение набухания и диспергирования пород пласта, сложенных глинистыми минералами [4].

Одной из ключевых проблем, являющейся препятствием для массового внедрения жидкостей на неводной основе в процессы строительства и освоения скважин, является высокая техногенная нагрузка на окружающую природную среду вследствие их экологической опасности, а также необходимость обеспечения повышенных мер промышленной безопасности при их применении в промысловых условиях.

До недавнего времени наиболее распространенной, проверенной на практике дисперсионной средой эмульсионных буровых растворов на неводной основе (ЭРНО) являлись природные углеводородные жидкости – нефть и газоконденсаты, а также продукты переработки нефти – керосин, газойль, дизельное топливо [5–7]. Их применение в качестве дисперсионной среды технологических жидкостей на неводной основе обусловлено доступностью и относительно низкой стоимостью. В нефти и нефтепродуктах содержатся соединения, по своим свойствам являющиеся дополнительными природными стабилизаторами и эмульгаторами обратных эмульсий, поэтому получить на их основе высокостабильные структурированные растворы – достаточно простая технологическая задача. Эти соединения преимущественно относятся к группе

ароматических, кислородсодержащих и сернистых соединений (смолы, асфальтены). В то же время именно ароматические соединения определяют высокую токсичность растворов на углеводородной основе [8]. По степени вредного влияния на экосистемы нефть и нефтепродукты занимают второе место после радиоактивного загрязнения [9].

Классификация дисперсионных сред технологических жидкостей

В последние годы в результате ужесточившихся требований по охране окружающей среды возникла необходимость замены традиционных углеводородных жидкостей (нефти, дизельного топлива) на более экологически чистые пожаробезопасные биоразлагаемые гидрофобные жидкости с сохранением всех достоинств эмульсионных буровых растворов. В настоящее время разработка пожаро- и экологически малоопасных модификаций ЭРНО идет в нескольких направлениях, и в качестве основы инвертных эмульсий используют следующие продукты [10–15]:

- очищенные и менее токсичные минеральные масла, в составе которых отсутствуют высокие концентрации токсичных для биоты моно- и полиароматических углеводородов;

- выделенные из смеси углеводородов отдельные фракции (преимущественно парафинонафтенные), подверженные биodeградации;

- продукты на основе растительного сырья.

Классификация дисперсионных сред, используемых в современных рецептурах ЭРНО [16], приведена на рис. 1.



Рис. 1. Классификация дисперсионных сред ЭРНО

Таблица 1

Синтетические масла, используемые для приготовления технологических жидкостей на неводной основе [22–24]

Торговое название	Синтетическая основа раствора	Компания-производитель
ISO-TEQ	Олефины (смесь C ₁₄ –C ₂₀)	Baker Hughes INTEQ
NX-3500	Сложный эфир	Baker Hughes INTEQ
BG-550	Сложный эфир	Baker Hughes INTEQ
PT-3500	Изопарафин	Baker Hughes INTEQ
ALPHA-TEQ	Линейные альфа-олефины (смесь C ₁₄ –C ₁₆)	Baker Hughes INTEQ
NOVAPLUS	Олефины (смесь C ₁₆ –C ₁₈)	Schlumberger
ECOGREEN	Сложный эфир	Schlumberger
NOVATEC	Линейные альфа-олефины (смесь C ₁₄ –C ₁₈)	Schlumberger
PARADRIL	Парафин	Schlumberger
PETROFREE SF	Олефины (смесь C ₁₆ –C ₁₈)	Baroid
PETROFREE	Сложный эфир	Baroid
PETROFREE LE	Линейные альфа-олефины (смесь C ₁₄ –C ₁₈)	Baroid
XP-07	Линейный парафин	Baroid

Во многих рецептурах технологических жидкостей последнего поколения предусмотрено использование синтетических биоразлагаемых органических жидкостей: эфиров, полиорганосилоксанов, полиалкиленгликолей, полиальфаолефинов [17–21]. Фирмы-операторы, осуществляющие морское бурение, еще в 80-х гг. прошлого века начали научные исследования с целью создания буровых растворов на синтетической основе, сводящих к минимуму ущерб морской окружающей среде. В 1993 г. была пробурена скважина в Северном море с использованием бурового раствора фирмы M-I Drilling Fluids на основе полиальфаолефинов, представляющих собой углеводороды с длиной цепочки порядка 10–12 атомов [18]. Виды синтетических жидкостей, используемых в рецептурах ведущих зарубежных компаний, приведены в табл. 1. Применение синтетических масел уменьшает нагрузку на экологию, расширяет возможности использования масел, в том числе в качестве основы эмульсионных буровых растворов, в условиях как отрицательных, так и высоких температур. Однако высокая стоимость и узость отечественного ассортимента синтетических масел ограничивают их применение в буровых технологиях.

Одними из наиболее экологически безопасных органических веществ являются растительные масла (арахисовое, соевое, льняное, кукурузное, касторовое и др.) и продукты их переработки [25–29]. Основа растительного масла – сложные эфиры

(триглицериды) высокомолекулярных насыщенных и ненасыщенных карбоновых кислот. Преимуществом растительных масел является их практически полная биodeградация в аэробных и анаэробных условиях. Недостаток инвертных растворов на основе органических жидкостей растительного происхождения – сложность их приготовления и регулирования технологических параметров, что обусловлено непостоянством состава и свойств растительного сырья для производства масел, высокой вязкостью и температурой застывания исходных масел.

Показатели экологической безопасности технологических жидкостей на неводной основе

Степень экологичности и промышленной безопасности технологических жидкостей на неводной основе можно оценивать по следующим показателям:

- токсическое воздействие на экосистемы,
- способность к деградации в природной среде до безопасных продуктов под воздействием деятельности микроорганизмов,
- показатели промышленной санитарии и пожаробезопасности.

По стандарту ASTM токсичность органических жидкостей оценивается по токсичности их водных вытяжек различными методами биотестирования, по одному из которых показатель токсичности дизельного топлива составляет 25, ацеталя – 11,5, альфа-олефина – 4, метилового эфира кориандрового

масла – 1,6, полиальфаолефинов – нулевая [30]. Результаты большого числа экспериментов, проведенных Европейским центром по экотоксикологии и токсикологии химических веществ, показали, что действие анаэробных бактерий в различных жидкостях неодинаково. Биodeградация оказалась очень высокой в жирных кислотах и эфирных маслах. В то же время в минеральных маслах, диэтиловом эфире, полиальфаолефинах и ряде других соединений биodeградация отсутствовала или имела место только частично [31]. В нашей стране в соответствии с «Критериями отнесения отходов к классу опасности для окружающей природной среды» [32] для жидких отходов, в том числе ЭРНО, водных вытяжек не делается, а проверяется жизнеспособность гидробионтов в среде самого отхода (т.е. в среде масла). Расчетный способ определения класса опасности для окружающей природной среды применим только для отходов I–IV классов, т.к. для V класса обязательным является проведение биотестирования исследуемого отхода. В связи с тем что гидробионты не могут нормально развиваться в масляной среде без доступа растворенного кислорода, отнесение любой органической жидкости к V классу опасности методом биотестирования невозможно.

Многими разработчиками технологических жидкостей на неводной основе экологическая безопасность масел оценивается по степени их биodeградации. В специальных обзорах [33–36] приводятся данные о том, что практически все углеводороды в той или иной степени подвергаются микробиологическому окислению. К примеру, легкие нефтепродукты типа дизельного топлива при первоначальной концентрации в почве 0,5 % за 1,5 месяца деградируют на 10–80 % от исходного количества в зависимости от содержания летучих углеводородов. Степень биodeградации ненасыщенных алифатических углеводородов (олефинов и альфа-олефинов) в аэробных условиях превышает 70 %, в анаэробных условиях – 53 % [37]. Наибольшей устойчивостью к микробиологическому окислению характеризуются ароматические углеводороды. Таким образом, использование наиболее подверженных микробному окислению парафинов, а также парафинафтоновых

фракций нефти и масел в качестве основы технологических жидкостей в большей степени отвечает требованиям экологической безопасности, чем использование нефтепродуктов с высоким содержанием ароматики [10].

При оценке способности жидкости к биodeградации необходимо учитывать, что микробиологическое окисление осуществляется в интервале 18–40 °С при оптимуме 28–32 °С, что исключает протекание процесса деградации любой углеводородной жидкости при попадании ее в объекты окружающей среды (в составе бурового шлама, утечек раствора) в зимний период и в зонах с холодным климатом [38]. В связи с практическим отсутствием биodeградации в холодных климатических условиях в настоящее время законодательными органами большинства развитых стран, в частности в Великобритании и Канаде, при проведении буровых работ на море запрещен сброс отработанных буровых растворов не только на углеводородной, но и на синтетической основе. В США Агентство по охране окружающей среды (EPA) запрещает сброс бурового раствора и шлама на расстоянии трех миль от берега [39]. В Норвегии растворы на синтетической основе проходят испытания на возможность биоаккумуляции и биodeградации, и только в случае благоприятных результатов этих испытаний выдается разрешение на сброс отходов в море, при этом сброс растворов на синтетической основе к северу от 62-й параллели запрещен [40].

В настоящее время органы Росприроднадзора отходы с содержанием нефтепродуктов более 15 % относят к веществам III класса опасности (вещества умеренно опасные). Основным методом определения нефтепродуктов при расчете класса опасности отходов является ПНД Ф 16.1:2.2.2:2.3:3.64-10 [41]. Согласно данной методике за показатель «нефтепродукты» принимается содержащаяся в отходе смесь неполярных органических веществ, растворимых в гексане. В указанный показатель, помимо традиционных нефтепродуктов, включаются растворимые в гексане синтетические жидкости, в частности полиальфаолефины и даже растительные масла. Таким образом, на основе принятого в нашей стране ранжирования отходов все технологические жидкости на неводной

основе будут относиться к III классу опасности. Это приводит к отсутствию стимула в замене традиционных углеводородных жидкостей на их экологически безопасные аналоги и свидетельствует о необходимости пересмотра используемых методик определения нефтепродуктов для исключения из данного показателя экологически чистых органических жидкостей.

Еще одной существенной проблемой, ограничивающей использование технологических жидкостей на неводной основе, особенно нефти, в промысловых условиях, является их высокая пожаробезопасность, испаряемость и токсическое воздействие на организм человека при поступлении через дыхательные пути и кожу. Риск для жизни и здоровья значительно возрастает при наличии в нефти и нефтепродуктах сероводорода. Негативное влияние минеральных масел на организм человека проявляется при попадании на открытые кожные покровы или при работе в одежде, пропитанной ими, а также при вдыхании масляных паров или тумана. Синтетические масла последнего поколения на основе парафинов не вредны при проглатывании и не оказывают раздражающее действие на кожу и слизистые человека, поэтому предпочтительны с точки зрения обеспечения требований промышленной безопасности [42]. В связи с преимущественным применением при строительстве скважин традиционных углеводородных продуктов остро встает вопрос внедрения широкого спектра организационно-технических мероприятий с целью обеспечения безопасности персонала, непосредственно работающего с данным типом жидкостей.

Исследование факторов, влияющих на значение температуры вспышки технологических жидкостей на неводной основе

Большинство органических жидкостей, используемых в качестве дисперсионной среды ЭРНО, относится к группе горючих веществ, способных вспыхивать при контакте с открытым источником огня. Пожароопасные и взрывоопасные свойства органических жидкостей, характеризующие их способность к воспламенению при нагреве и последующему распространению пламени, определяет температура вспышки. Температура вспышки

(flashpoint) представляет собой наименьшую температуру, при которой пары над поверхностью горючего вещества вспыхивают при контакте с открытым источником огня [43]. В настоящее время стандартизованы два метода определения температуры вспышки нефтепродуктов в открытом (ГОСТ 4333–87) и закрытом (ГОСТ 6356–75) тиглях. В.Н. Глуценко отмечает, что при контроле температуры вспышки ЭРНО следует отдавать предпочтение открытому тиглю. Связано это с моделированием реальных условий использования буровых растворов на скважинах [44].

Наибольшую опасность в промысловых условиях имеют жидкости, относящиеся к категории легковоспламеняющихся, т.е. способных вспыхивать при температуре ниже 61 °С в закрытом тигле и ниже 66 °С в открытом [43]. При этом основная опасность использования легковоспламеняющихся жидкостей связана с так называемым человеческим фактором: несоблюдением требований безопасности буровой бригадой при проведении работ с такого рода жидкостями. В частности, при использовании ЭРНО на месторождениях Пермского края был отмечен ряд случаев возникновения пламени над поверхностью углеводородной основы ЭРНО на стадии приготовления раствора при одновременном проведении сварочных работ и курении персонала.

Работ, посвященных корреляции температуры вспышки органических жидкостей в зависимости от их состава, в литературных источниках имеется достаточно немного. При этом исследование факторов, влияющих на значение температуры вспышки технологических жидкостей на неводной основе, в литературе практически нет.

Очевидно, что температура вспышки безводных технологических жидкостей соответствует температуре вспышки их дисперсионной среды. Значение температуры вспышки эмульсионных технологических жидкостей, в том числе ЭРНО, по нашему предположению, определяется температурой вспышки ее дисперсионной среды и водосодержанием. Кроме того, вызывает интерес изучение влияния на температуру вспышки растворов количественного содержания в них нерастворимой твердой фазы – утяжелителей (карбоната кальция и барита).

Для определенных классов углеводородов выведены эмпирические коэффициенты a и b , связывающие температуру вспышки с их температурой кипения по следующему уравнению [45]:

$$T_{\text{всп}} = a + b \cdot t_{\text{кип}}.$$

Используя данные коэффициенты, получаем следующую зависимость:

– для предельных углеводородов

$$T_{\text{всп}} = 0,693 \cdot T_{\text{кип}} - 73,22;$$

– для ароматических углеводородов

$$T_{\text{всп}} = 0,665 \cdot T_{\text{кип}} - 67,83.$$

Таким образом, исходя из представленных данных для приготовления ЭРНО рекомендуется использовать дизельные топлива, минеральные, синтетические и маловязкие низкозастывающие базовые масла (основа товарных масел без дополнительных присадок), содержащие фракции углеводородов с $T_{\text{кип}}$ не ниже 194 °С (согласно расчетам температура вспышки более 61 °С). Для выдачи рекомендаций по высокотемпературным скважинам необходимы данные по максимальной расчетной температуре раствора на устье скважины.

В связи с тем что низковязкие углеводородные жидкости, в том числе дизельное (судовое) топливо, являются наиболее приемлемыми для приготовления ЭРНО с экономической точки зрения, весьма актуальным становится вопрос повышения их температуры вспышки. Результаты исследований по возможности повышения температуры вспышки легко воспламеняющихся путем введения высококипящих фракций углеводородов представлены в табл. 2.

Приведенные в табл. 2 данные свидетельствуют о том, что добавка минерального масла в концентрации 15 % способна лишь на 4 °С повысить $T_{\text{всп}}$ дизельного топлива, при этом кинематическая вязкость смеси увеличивается в 1,3 раза, что приводит к нежелательному увеличению реологических свойств ЭРНО, в особенности пластической вязкости. Фактическое значение температуры вспышки смеси углеводородов всегда ниже рассчитанного по правилам аддитивности среднеарифметического значения температур вспышек компонентов, входящих в состав смеси. Это объясняется тем, что температура вспышки зависит главным

образом от давления пара низкокипящего компонента, а высококипящий компонент служит лишь передатчиком теплоты.

Таблица 2

Температура вспышки углеводородных жидкостей различного состава

Состав жидкости	$T_{\text{всп}}$, °С	Кинематическая вязкость при 20 °С
Дизельное топливо	53	2,73
Дизельное топливо – 95 %, базовое масло – 5 %	52	2,90
Дизельное топливо – 90 %, базовое масло – 10 %	53	3,21
Дизельное топливо – 85 %, базовое масло – 15 %	57	3,43
Дизельное топливо – 95 %, масло И-8 – 5 %	53	3,03
Дизельное топливо – 90 %, масло И-8 – 10 %	53	3,49
Дизельное топливо – 85 %, масло И-8 – 15 %	55	3,83

Примечание: $T_{\text{всп}}$ базового масла – 163 °С, $T_{\text{всп}}$ масла И-8 – 152 °С, температура вспышки определялась в закрытом тигле. В качестве базового масла использовалась основа минерального гидравлического масла без дополнительных присадок.

Вторым фактором, определяющим температуру вспышки ЭРНО, является соотношение в растворе углеводородной и водной фаз. Априори чем выше содержание в растворе водной фазы, тем выше его температура вспышки. На рис. 2 представлены данные по влиянию водосодержания на значение температуры вспышки ЭРНО на основе дизельного топлива.

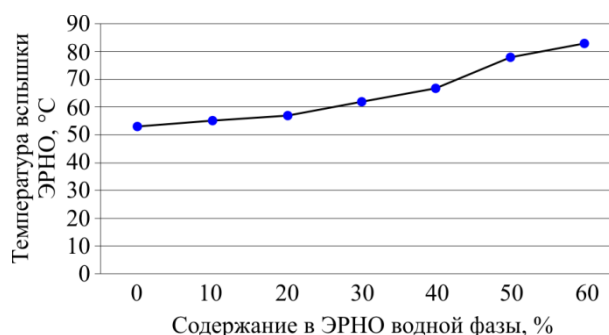


Рис. 2. Влияние содержания в ЭРНО водной фазы на температуру вспышки раствора

В большинстве рецептов ЭРНО ведущих зарубежных компаний водомасляное соотношение углеводороды:вода составляет 80:20 и 70:30, столь незначительное водосодержание

позволяет лишь на 15–20 % повысить значение температуры вспышки раствора по сравнению с температурой вспышки используемого для его приготовления топлива. Это свидетельствует о том, что для приготовления ЭРНО с пониженным водосодержанием рекомендуется использовать минеральные масла, имеющие высокое значение температуры вспышки.

Согласно «Правилам безопасности в нефтяной и газовой промышленности» (ПБНГП) температура вспышки бурового раствора на углеводородной основе должна на 50 °С превышать максимальную температуру на устье скважины [46]. В этом плане на этапе проектирования бурового раствора весьма актуальной становится возможность прогнозирования конечной температуры вспышки ЭРНО в зависимости от водосодержания и паспортного значения температуры вспышки масла или топлива, используемого для приготовления раствора. С целью выявления статистической зависимости нами были проведены лабораторные исследования по определению температуры вспышки ЭРНО с использованием дизельного топлива различных производителей. При этом рецептура раствора не изменялась: содержание водной фазы (раствора хлористого кальция) составляло 50 об. %. Всего было приготовлено 30 проб ЭРНО, в результате исследования и статистической обработки данных получили следующую зависимость (рис. 3). Таким образом, зная паспортное значение температуры вспышки топлива или масла, можно рассчитать ориентировочное значение температуры вспышки ЭРНО, приготовленного на основе данной жидкости.

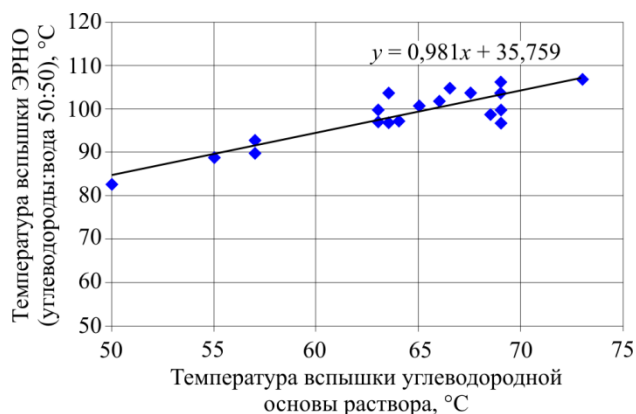


Рис. 3. Зависимость температуры вспышки ЭРНО от температуры вспышки дизельного топлива

Второй целью исследования явилось построение аналогичных зависимостей для ЭРНО, приготовленных на основе минеральных и синтетических масел с температурой вспышки более 100 °С. Результаты исследований показали, что разница между температурой вспышки ЭРНО и температурой вспышки масла находится в пределах погрешности измерений, при этом присутствие водной фазы не оказывает влияния на температуру вспышки растворов (табл. 3).

Таблица 3

Температура вспышки ЭРНО, приготовленных на основе минеральных масел с температурой вспышки более 100 °С

Дисперсионная среда ЭРНО	$T_{всп}$ дисперсионной среды, °С	$T_{всп}$ ЭРНО, °С
Индустриальное масло И-8	152	150
Трансформаторное масло Т-1500 У	135	137
Базовое минеральное масло	163	170
Полиальфаолефины ПАОМ-2	155	157

Примечание: соотношение фаз в ЭРНО углеводороды:вода = 50:50.

Из теоретических выкладок известно, что температура вспышки ЭРНО зависит от свойств дисперсионной среды (масла), но значительно выше температуры вспышки последней [47]. Поэтому, получив столь неоднозначные данные, нами были проведены повторные опыты, в ходе которых были получены аналогичные результаты. Только с анализом методики определения температуры вспышки ЭРНО, связанной с нагревом раствора методом электрообогрева в открытом тигле до температур, значительно превышающих температуру кипения воды, пришло понимание того, что при нагреве растворов выше 120–130 °С водная фаза полностью выкипает и при достижении температуры нагрева, соответствующей температуре вспышки масла, в растворе остается только углеводородная среда с твердыми наполнителями. Этот вывод очень важен при проектировании растворов для высокотемпературных скважин, так как позволяет прогнозировать температуру вспышки ЭРНО и выбирать в качестве основы раствора минеральное и синтетическое масло, температура вспышки которых соответствует ПБНГП.

Как правило, ЭРНО представляют собой трехфазную систему, содержащую в качестве твердой фазы утяжелители и

структурообразователи. Содержание утяжелителя в ЭРНО (барита и CaCO_3) может достигать достаточно высокого значения – до 50–70 мас. %, что обусловлено необходимостью получения растворов с требуемой плотностью. Соответственно, встает вопрос о влиянии концентрации твердой фазы в растворе на его температуру вспышки. Проведенные нами исследования показали, что регулирование температуры вспышки ЭРНО путем изменения содержания в системе твердой фазы не представляется возможным (табл. 4).

Таблица 4
Влияние содержания барита на температуру вспышки ЭРНО

Содержание в ЭРНО барита, мас. %	Содержание в растворе водной фазы, об. %	$T_{\text{всп}}$ дисперсионной среды, °С	$T_{\text{всп}}$ ЭРНО, °С
Отсутствуют	50	63,0	97,0
5	50	63,5	98,0
10	45	67,0	100,5
15	45	69,5	109,0
20	40	73,0	101,0
50	35	72,0	86,0

Присутствие в растворе утяжелителя даже в высоких концентрациях не способно увеличить значение его температуры вспышки. Как уже было отмечено выше, это обусловлено тем, что температура вспышки раствора определяется в первую очередь температурой вспышки содержащихся в углеводородной основе раствора летучих горючих компонентов, объемное содержание которых в газопаровоздушной смеси над поверхностью раствора в процессе его

нагрева не зависит от присутствия или отсутствия в системе твердой фазы.

Заключение

В связи с наметившейся динамикой усложнения горно-геологических условий строительства скважин объемы применения технологических жидкостей на неводной основе в буровых технологиях будут неизбежно увеличиваться. Знание основ управления пожароопасными свойствами данного типа жидкостей позволит повысить промышленную безопасность их применения в промышленных условиях. Ужесточение требований в отношении экологических показателей дисперсионной среды технологических жидкостей на неводной основе позволит улучшить экологическую ситуацию в районах ведения буровых работ. Проведенный анализ экологических показателей различных органических гидрофобных жидкостей свидетельствует лишь об относительной безопасности и малоопасности синтетических и растительных продуктов, так как безопасность данных соединений можно рассматривать и сравнивать только по отношению к нефти и токсичным продуктам ее переработки. Данные жидкости являются более пожаробезопасными, характеризуются меньшей испаряемостью и токсичностью влияния на организм человека при поступлении через дыхательные пути и кожу. Вместе с тем при работе с органическими жидкостями недопустим их сброс в объекты природной среды, а при попадании на почву и в водные объекты необходимо проводить их сбор и обезвреживание специальными методами.

Библиографический список

1. Некрасова И.Л., Гаршина О.В., Хвошин П.А. Теория и практика использования инвертно-эмульсионных растворов в процессе строительства скважин: моногр. – Пермь: Астер, 2016. – 148 с.
2. Петров Н.А. Повышение качества заканчивания скважин с полимиктовыми коллекторами нефти: учеб. пособие. – Уфа: Уфимский гос. нефтяной техн. ун-т, 2010. – 68 с.
3. Жидкость для глушения скважин: пат. 2260112 Рос. Федерация. № 2004115031 / Исмаков Р.А. и др.; заявл. 18.05.2004; опубл. 10.09.05, Бюл. № 25.
4. Labenski F., Reid P., Santos H. Drilling fluids approaches for control of wellbore instability in fractured formations // SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition, 20–22 October. – Abu Dhabi, 2003. DOI: 10.2118/85304-MS
5. Буровые растворы на неводной основе. Проблемы, перспективы развития и область применения / С.Н. Шишков [и др.] // Бурение и нефть. – 2008. – № 3. – С. 26–29.
6. Эмульсионные буровые растворы на неводной основе для качественного вскрытия продуктивных пластов с АНПД / С.Н. Шишков [и др.] // Техника и технология заканчивания и ремонта скважин в условиях АНПД: сб. науч. тр. ОАО НПО «Бурение». – Краснодар, 2002. – Вып. 8. – С. 27–35.
7. Эмульсионные растворы на углеводородной основе и их экологически малоопасные модификации / С.Н. Шишков [и др.] // Импортзамещающие технические средства и материалы: сб. науч. тр. ОАО НПО «Бурение». – Краснодар, 2003. – Вып. 9. – С. 13–26.
8. Разработка и исследование рецептур эмульсионных растворов на основе минеральных масел / В.Л. Заворотный [и др.] // НТЖ. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2010. – № 1. – С. 34–38.

9. Вишняков Д.Я. Экономический анализ методов ликвидации последствий аварийных разливов нефти // Экология и промышленность России. – 2005. – № 6. – С. 42–45
10. Экологические аспекты применения буровых растворов на углеводородной основе / В.Л. Заворотный [и др.] // Геоэкология и современная геодинамика нефтегазоносных регионов: междунар. науч.-практ. конф. – М., 2000.
11. Галян Д.А., Швец Т.С., Корнеева В.П. Экологически чистые составы буровых растворов на неводной основе // НТЖ. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2006. – № 6. – С. 47–49
12. Экологические и технологические аспекты применения эмульсионных буровых растворов на углеводородной основе / С.Н. Шишков [и др.] // Новые технологии, технические средства и материалы в области промывки при бурении и ремонте нефтяных и газовых скважин: сб. науч. тр. ОАО НПО «Бурение». – Краснодар, 2001. – Вып. 6. – С. 29–40.
13. Исследование влияния дисперсионной среды и ПАВ на сольватацию твердой фазы и реологические свойства углеводородных суспензий / С.Н. Шишков [и др.] // Сервисное обеспечение бурения и ремонта скважин: сб. науч. тр. ОАО НПО «Бурение». – Краснодар, 2004. – Вып. 11. – С. 80–93.
14. McKee J.D.A., Dowrick K., Astleford S.J. A new development towards improved synthetic based mud performance // Paper SPE-29405-MS presented at the SPE/IADC Drilling Conference, 28 February – 2 March. – Amsterdam, 1998. DOI: 10.2118/29405-MS
15. Yassin Abu Azam M., Kamis A. Palm oil derivative as a based fluid in formulating oil based drilling mud // Paper SPE-21167-MS presented at the SPE Latin America Petroleum Engineering Conference, 14–19 October. – Rio de Janeiro, 1990. DOI: 10.2118/21167-MS
16. Буровые растворы на неводной основе для бурения скважин с большим приложением / Ю.В. Фефелов [и др.] // НТЖ. Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2007. – № 9. – С. 47–49.
17. Гидрофобная эмульсия: пат. 2263700 Рос. Федерация № 2004116854/03 / Токунов В.И. и др.; заявл. 03.06.2004; опубл. 10.11.2005, Бюл. №31
18. Применение нового экологически чистого бурового раствора в акватории Северного моря // НТЖ. Защита от коррозии и охрана окружающей среды. – 1996. – № 1. – С. 25.
19. Towards zero fluid loss oil based muds / M. Aston, P. Mihalik, J. Tunbridge, S. Clarke // Paper SPE 77446 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 29 September – 2 October. – San Antonio, 2002. DOI: 10.2118/77446-MS
20. Буровой раствор, способствующий биодegradации бактерий // НТЖ. Защита от коррозии и охрана окружающей среды. – 1994. – № 10. – С. 33–34.
21. Способ получения обращенного бурового раствора, содержащего смеси вторичных сложных эфиров, полученных в результате конверсии олефинов: пат. 2215017 Рос. Федерация № 2000120198/03 / Джи Джеффри С.; заявл. 09.12.1998; опубл. 27.10.2003, Бюл. № 30 (2 ч).
22. Candler J.E., Rushing J.H., Leuterman A.J.J. Synthetic-based mud systems offer environmental benefits over traditional mud systems // Paper SPE-25993-MS presented at the SPE/EPA Exploration and Production Environmental Conference, 7–10 March. – San Antonio, 1993. DOI: 10.2118/25993-MS
23. New low viscosity ester is suitable for drilling fluids in deepwater applications / K. Burrows, J. Evans, J. Hall, J. Kirsner // Paper SPE- 66553-MS presented at the SPE/EPA/DOE Exploration and Production Environmental Conference, 26–28 February. – San Antonio, 2001. DOI: 10.2118/66553-MS
24. New flat-rheology synthetic-based mud for improved deepwater drilling / E. van Oort, J. Lee, J. Friedheim, B. Toups // Paper SPE-90987-MS presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 26–29 September. – Houston, 2004. DOI: 10.2118/90987-MS
25. Реагент, улучшающий текучесть инвертных растворов: пат. 2013436 Рос. Федерация № 5001483/03 / Мюллер Х., Херольд К.-П., Тапавица С.; заявл. 08.08.1991; опубл. 30.05.1994, Бюл. № 10.
26. Жидкая фаза инвертного бурового раствора типа вода в масле для освоения геологических месторождений: пат. 2044025 Рос. Федерация, № 4895872/03 / Мюллер Х. [и др.]; заявл. 17.06.1991; опубл. 20.09.1995, Бюл. № 26.
27. Гидрофобно-эмульсионные растворы на основе биологически активной дисперсионной среды / А.З. Саушин [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2000. – № 7. – С. 16–18.
28. Федосеев Р.И., Кошелев В.Н., Татаринев А.В. Загущенное касторовое масло и эмульсии на его основе – новый вид экологически безопасных буровых растворов для морского бурения // Заканчивание и ремонт скважин в условиях депрессии на продуктивные пласты: сб. науч. тр. ОАО НПО «Бурение». – Краснодар, 2004 – Вып. 12. – С. 109–116.
29. 50/50 oil-water ratio invert emulsion drilling mud using vegetable oil as continuous phase / P.C. Ihenacho [et al.] // World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering. – 2016. – Vol. 10, № 3. – P. 256–259. DOI: 10.1999/1307-6892/10003725
30. ASTM Standard on environmental site characterization [Электронный ресурс]. – 3rd ed. – 2006. URL: <https://www.astm.org/BOOKSTORE/COMPS/PDfS/SITECD06.pdf> (дата обращения: 06.03.2018).
31. Изучение биодegradации использованных буровых растворов, загрязняющих выбуренную породу // НТЖ. Защита от коррозии и охрана окружающей среды. – 1996. – № 1. – С. 25–26.
32. Об утверждении Критериев отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду: приказ Минприроды России от 04.12.2014 № 536 [Электронный ресурс]. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293757/4293757351.htm> (дата обращения: 06.03.2018).

33. Ojo O.A. Petroleum hydrocarbon utilization by native bacterial population from a waste water canal Southwest Nigeria // *African Journal of Biotechnology*. – 2006. – Vol. 5 (4). – P. 333–337.

34. Nilanjana D., Preethy C. Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview // *Biotechnology Research International*. – 2011. – P. 1–13. DOI: 10.4061/2011/941810

35. Biodegradation of crude oil in contaminated soils by free and immobilized microorganisms / Z.-Y. Wang [et al.] // *Pedosphere*. – 2012. – Vol. 22, iss. 5. – P. 717–725. DOI: 10.1016/S1002-0160(12)60057-5

36. Van H., Singh A, Ward O.P. Physiological aspects. Part 1 in series of papers devoted to biosurfactants in microbiology and biotechnology // *Biotechnology Advance*. – 2006. – Vol. 24. – P. 604–620. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2006.08.001

37. Robbins J.A., Levy R. A review of the microbiological degradation of fuel // *Directory of Microbicides for the Protection of Materials. Part One*. – 2nd ed. – Springer Verlag, Berlin, 2004. – P. 177–201. DOI: 10.1007/1-4020-2818-0_11

38. Biodegradation of diesel by mixed bacteria 94 immobilized onto a hybrid support of peat moss and additives: A batch experiment / Y.C. Lee, H.J. Shin, Y. Ahn, M.C. Shin, M. Lee, J.W. Yang // *Journal of Hazardous Materials*. – 2010. – Vol. 183. – P. 940–944. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.07.028

39. Исследование буровых растворов, используемых на морских месторождениях нефти, и технологий их удаления, снижающих воздействие на морскую среду сбросов в море [Электронный ресурс]. URL: file:///C:/Users/Dmitriy/Downloads/106_Doklad_Dzhonatanana_Uillsa_1.pdf (дата обращения: 06.03.2018).

40. Таргулян О.Ю. Темные страницы «черного золота»: экологические аспекты деятельности нефтяных компаний в России. – М.: Совет «Гринпис», 2002.

41. ПНД Ф 16.1:2.2.2.3:3.64-10. Методика измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, отходов производства и потребления гравиметрическим методом. 2010. [Электронный ресурс]. – URL: <http://gostrf.com/normadata/1/4293807/4293807051.htm> (дата обращения: 06.03.2018).

42. Базовые синтетические масла IV группы. Полиальфаолефины (Synfluid PAO). «Тяжелые» PAO (Luvodur) [Электронный ресурс]. – URL: <http://fineximou.com/images/user/4%20-4gr.pdf> (дата обращения: 06.03.2018).

43. ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84). Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Стандартинформ, 2006. – 100 с.

44. Глущенко В.Н., Орлов Г.А., Силян М.А. Технологические процессы вскрытия пластов и добычи нефти с использованием обратных эмульсий. – М.: Интерконтакт Наука, 2008. – 360 с.

45. Проскуряков В.А., Драбкин А.Е. Химия нефти и газа. – СПб.: Химия, 1995. – 448 с.

46. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности: Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. – М.: Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности, 2013. – Сер. 08, вып. 19. – 288 с.

47. Токунов В.И. Хейфец И.Б. Гидрофобно-эмульсионные буровые растворы. – М.: Недра, 1983. – 167 с.

References

1. Nekrasova I.L., Garshina O.V., Khvoshchin P.A. Teoriya i praktika ispolzovaniya invertno-emulsionnykh rastvorov v protsesse stroitelstva skvazhin [Theory and practice of using invert-emulsion solutions in well construction]. Perm, Aster, 2016, 148 p.

2. Petrov N.A. Povyshenie kachestva zakanchivaniya skvazhin s polimiktovymi kollektorami nefti [Improving the quality of completion of wells with polymictic oil reservoirs]. Ufa, Ufimskiy gosudarstvennyy neftyanoy tekhnicheskoy universitet, 2010, 68 p.

3. Ismakov R.A. et al. Zhidkost dlya glusheniya skvazhin [Killing fluid]. Patent 2260112 Russian Federation no.2004115031 (2005).

4. Labenski F., Reid P., Santos H. Drilling fluids approaches for control of wellbore instability in fractured formations. *SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition*. Abu Dhabi, 2003. DOI: 10.2118/85304-MS

5. Shishkov S.N. et al. Burovye rastvory na nevodnoy osnove. Problemy, perspektivy razvitiya i oblast primeneniya [Non-aqueous drilling fluids. Problems, development prospects and scope]. *Burenie i neft*, 2008, no.3, pp.26-29.

6. Shishkov S.N. et al. Emulsionnye burovye rastvory na nevodnoy osnove dlya kachestvennogo vskrytiya produktivnykh plastov s ANPD [Non-aqueous emulsion drilling muds for high-quality opening of productive formations with abnormally low formation pressure]. *Tekhnika i tekhnologiya zakanchivaniya i remonta skvazhin v usloviyakh anpd. Sbornik nauchnykh trudov OAO NPO "Burenie"*. Krasnodar, 2002, iss.8, pp.27-35.

7. Shishkov S.N. et al. Emulsionnye rastvory na uglevodorodnoy osnove i ikh ekologicheski maloopasnye modifikatsii [Hydrocarbon-based emulsion solutions and their environmentally hazardous modifications]. *Importozameshchayushchie tekhnicheskie sredstva i materialy. Sbornik nauchnykh trudov OAO NPO "Burenie"*. Krasnodar, 2003, iss.9, pp.13-26.

8. Zavorotnyy V.L. et al. Razrabotka i issledovanie retseptur emulsionnykh rastvorov na osnove mineralnykh masel [Development and research of mineral oil-base emulsive solutions compositions]. *NTZh. Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse*, 2010, no.1, pp.34-38.

9. Vishnyakov D.Ya. Ekonomicheskoy analiz metodov likvidatsii po-sledstviy avariynykh razlivov nefti

[Economic analysis of oil spill response mitigation techniques]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii*, 2005, no.6, pp.42-45

10. Zavorotnyy V.L. et al. Ekologicheskie aspekty primeneniya burovyykh rastvorov na uglevodorodnoy osnove [Environmental aspects of the use of hydrocarbon-based drilling fluids]. *Geoekologiya i sovremennaya geodinamika neftegazonosnykh regionov. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. Moscow, 2000.

11. Galyan D.A., Shvets T.S., Korneeva V.P. Ekologicheski chistye sostavy burovyykh rastvorov na nevodnoy osnove [Environmentally friendly non-aqueous drilling fluid formulations]. *NTZh. Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse*, 2006, no.6, pp.47-49

12. Shishkov S.N. et al. Ekologicheskie i tekhnologicheskie aspekty primeneniya emulsiyonnykh burovyykh rastvorov na uglevodorodnoy osnove [Ecological and technological aspects of use of emulsion drilling fluids on a hydrocarbon basis]. *Novye tekhnologii, tekhnicheskie sredstva i materialy v oblasti promyvki pri burenii i remonte neftyanykh i gazovykh skvazhin. Sbornik nauchnykh trudov OAO NPO "Burenie"*. Krasnodar, 2001, iss.6, pp.29-40.

13. Shishkov S.N. et al. Issledovanie vliyaniya dispersionnoy sredy i PAV na solvatatsiyu tverдой fazy i reologicheskie svoystva uglevodorodnykh suspenziy [Study of the influence of the dispersion medium and surfactant on the solvation of the solid phase and the rheological properties of hydrocarbon suspensions]. *Servisnoe obespechenie bureniya i remonta skvazhin. Sbornik nauchnykh trudov OAO NPO "Burenie"*. Krasnodar, 2004, iss.11, pp.80-93.

14. McKee J.D.A., Dowrick K., Astleford S.J. A new development towards improved synthetic based mud performance. *Paper SPE-29405-MS presented at the SPE/IADC Drilling Conference, 28 February – 2 March. Amsterdam*, 1998. DOI: 10.2118/29405-MS

15. Yassin Abu Azam M., Kamis A. Palm oil derivative as a based fluid in formulating oil based drilling mud. *Paper SPE-21167-MS presented at the SPE Latin America Petroleum Engineering Conference*, 14-19 October. Rio de Janeiro, 1990. DOI: 10.2118/21167-MS

16. Fefelov Yu.V. et al. Burovye rastvory na nevodnoy osnove dlya bureniya skvazhin s bolshim prilozheniem [Non-water based drilling fluids for drilling wells with large application]. *NTZh. Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2007, no.9, pp.47-49.

17. Tokunov V.I. et al. Gidrofobnaya emulsiya [Hydrophobic emulsion]. Patent 2263700 Russian Federation no.2004116854/03 (2005).

18. Primenenie novogo ekologicheski chistogo burovogo rastvora v akvatorii Severnogo morya [Use of new environmentally friendly drilling mud in the waters of the North Sea]. *NTZh. Zashchita ot korrozii i okhrana okruzhayushchey sredy*, 1996, no.1, pp.25.

19. Aston M., Mihalik P., Tunbridge J., Clarke S. Towards zero fluid loss oil based muds. *Paper SPE 77446 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 29 September – 2 October*. San Antonio, 2002. DOI: 10.2118/77446-MS

20. Burovoy rastvor, sposobstvuyushchiy biodegradatsii bakteriy [Drilling mud that promotes biodegradation of bacteria]. *NTZh. Zashchita ot korrozii i okhrana okruzhayushchey sredy*, 1994, no.10, pp.33-34.

21. Dzhi Dzheffri S. Spособ polucheniya obrashchennogo burovogo rastvora, sodержashchego smesi vtorychnykh slozhnykh efirov, poluchennykh v rezultate konversii olefinov [A method of obtaining a reversed drilling fluid containing mixtures of secondary esters obtained from the conversion of olefins]. Patent 2215017 Russian Federation no.2000120198/03 (2003).

22. Candler J.E., Rushing J.H., Leuteran A.J.J. Synthetic-based mud systems offer environmental benefits over traditional mud systems. *Paper SPE-25993-MS presented at the SPE/EPA Exploration and Production Environmental Conference, 7-10 March*. San Antonio, 1993. DOI: 10.2118/25993-MS

23. Burrows K., Evans J., Hall J., Kirsner J. New low viscosity ester is suitable for drilling fluids in deepwater applications. *Paper SPE- 66553-MS presented at the SPE/EPA/DOE Exploration and Production Environmental Conference, 26-28 February*, San Antonio, 2001. DOI: 10.2118/66553-MS

24. van Oort E., Lee J., Friedheim J., Toups B. New flat-rheology synthetic-based mud for improved deepwater drilling. *Paper SPE-90987-MS presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 26-29 September*. Houston, 2004. DOI: 10.2118/90987-MS

25. Myuller Kh., Kherold K.-P., Tapavitsa S. Reagent, uluchshayushchiy tekuchest invertnykh rastvorov [Reagent that improves the fluidity of invert solutions]. Patent 2013436 Russian Federation no.5001483/03 (1994).

26. Myuller Kh. et al. Zhidkaya faza invertnogo burovogo rastvora tipa voda v masle dlya osvoeniya geologicheskikh mestorozhdeniy [Water-in-oil liquid phase invert mud for development of geological deposits]. Patent 2044025 Russian Federation no.4895872/03 (1995).

27. Saushin A.Z. et al. Gidrofobno-emulsiyonnye rastvory na osnove biologicheski aktivnoy dispersionnoy sredy [Hydrophobic emulsion solutions based on biologically active dispersion medium]. *Oil industry*, 2000, no.7, pp.16-18.

28. Fedoseev R.I., Koshelev V.N., Tatarinov A.V. Zagushchennoe kastorovoe maslo i emulsii na ego osnove – novyy vid ekologicheski bezopasnykh burovyykh rastvorov dlya morskogo bureniya [Thickened castor oil and emulsions based on it – a new kind of environmentally friendly drilling mud for offshore drilling]. *Zakanchivanie i remont skvazhin v usloviyakh depressii na produktivnye plasty. Sbornik nauchnykh trudov OAO NPO "Burenie"*. Krasnodar, 2004, iss.12, pp.109-116.

29. Ihenacho P.C. et al. 50/50 oil-water ratio invert emulsion drilling mud using vegetable oil as continuous phase. *Engineering and Technology International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, 2016, vol.10, no.3, pp.256-259. DOI: 10.1999/1307-6892/10003725

30. ASTM standard son environmental site Characterization, 3rd ed., 2006, available at:

<https://www.astm.org/BOOKSTORE/COMPS/PDFS/SIT ECD06.pdf> (accessed 06 March 2018).

31. Izuchenie biodegradatsii ispolzovannykh burovnykh rastvorov, zagryaznyayushchikh vyburennuyu porodu [Study of the biodegradation of used drilling muds that pollute drilling]. *NTZh. Zashchita ot korrozii i okhrana okruzhayushchey sredy*, 1996, no.1, pp.25-26.

32. Ob utverzhdenii Kriteriev otneseniya otkhodov k I-V klassam opasnosti po stepeni negativnogo vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu [On approval of criteria for classification of waste to the I-V hazard classes according to the degree of negative impact on the environment]. Prikaz Minprirody Rossii ot 04.12.2014 no.536, available at: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293757/4293757351.htm> (accessed 06 March 2018).

33. Ojo O.A. Petroleum hydrocarbon utilization by native bacterial population from a waste water canal Southwest Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 2006, vol.5 (4), pp.333-337.

34. Nilanjana D., Preethy C. Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview. *Biotechnology Research International*, 2011, pp.1-13. DOI: 10.4061/2011/941810

35. Wang Z.-Y. et al. Biodegradation of crude oil in contaminated soils by free and immobilized microorganisms. *Pedosphere*, 2012, vol.22, iss.5, pp.717-725. DOI: 10.1016/S1002-0160(12)60057-5

36. Van H., Singh A, Ward O.P. Physiological aspects. Part 1 in series of papers devoted to biosurfactants in microbiology and biotechnology. *Biotechnology Advance*, 2006, vol.24, pp.604-620. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2006.08.001

37. Robbins J.A., Levy R. A review of the microbiological degradation of fuel. *Directory of Microbicides for the Protection of Materials*. Part One. 2nd ed. Springer Verlag, Berlin, 2004, pp.177-201. DOI: 10.1007/1-4020-2818-0_11

38. Lee Y.C., Shin H.J., Ahn Y., Shin M.C., Lee M., Yang J.W. Biodegradation of diesel by mixed bacteria 94 immobilized onto a hybrid support of peat moss and additives: A batch experiment. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, vol.183, pp.940-944. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.07.028

39. Issledovanie burovnykh rastvorov, ispolzuemykh na morskikh mesto-rozhdeniyakh nefti, i tekhnologiy ikh udaleniya, snizhayushchikh vozdeystvie na morskuyu sredu sbrosov v more [Study of drilling muds used in offshore oil fields and technologies for their removal, reducing the impact on the marine environment of discharges into the sea], available at:

file:///C:/Users/Dmitriy/Downloads/106_Doklad_Dzhonatan_Uillsa_1.pdf (accessed 06 March 2018).

40. Targulyan O.Yu. Temnye stranitsy “chernogo zolota”: Ekologicheskie aspekty deyatelnosti neftyanykh kompaniy v rossii [Dark pages of “black gold”: Environmental aspects of the activities of oil companies in Russia]. Moscow, Sovet “Gripis”, 2002.

41. PND F 16.1:2.2.2.2.3:3.64-10. Metodika izmereniy massovoy doli nefteproduktov v probakh pochv, gruntov, donnykh otlozheniy, ilov, osadkov stochnykh vod, otkhodov proizvodstva i potrebleniya gravimetricheskim metodom, 2010 [Methods of measuring the mass fraction of petroleum products in samples of soil, ground, sediment, silt, sewage sludge, production and consumption waste by the gravimetric method], available: <http://gostrf.com/normadata/1/4293807/4293807051.htm> (accessed 06 March 2018).

42. Bazovye sinteticheskie masla IV gruppy. Polialfaolefyny (Synfluid PAO). “Tyazhelye” PAO (Luvodur) [Base synthetic oils of the IV group. Polyalphaolefins (Synfluid PAO). “Heavy” PAO (Luvodur)], available at: <http://fineximou.com/images/user/4%20-4gr.pdf> (accessed 06 March 2018).

43. GOST 12.1.044-89 (ISO 4589-84). Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov. Nomenklatura pokazateley i metody ikh opredeleniya [Occupational safety standards system. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods for their determination]. Moscow, Standartinform, 2006, 100 p.

44. Glushchenko V.N., Orlov G.A., Silin M.A. Tekhnologicheskie protsessy vskrytiya plastov i dobychi nefti s ispolzovaniem obratnykh emulsiy [Technological processes of reservoir penetration and oil production using inverse emulsions]. Moscow, Interkontakt Nauka, 2008, 360 p.

45. Proskuryakov V.A., Drabkin A.E. Khimiya nefti i gaza [Chemistry of oil and gas]. Saint Petersburg, Khimiya, 1995, 448 p.

46. Pravila bezopasnosti v neftyanoy i gazovoy promyshlennosti. Federalnye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti [Safety rules in oil and gas industry. Federal rules and regulations in the field of industrial safety]. Moscow, Nauchno-tekhnicheskiy tsentr issledovaniy problem promyshlennoy bezopasnosti, 2013, seriya 08, iss.19, 288 p.

47. Tokunov V.I., Kheyfets I.B. Gidrofobno-emulsiyonnye burovye rastvory [Hydrophobic emulsion drilling mud]. Moscow, Nedra, 1983, 167 p.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Некрасова И.Л. Аспекты экологической и промышленной безопасности применения технологических жидкостей на неводной основе в процессах строительства и освоения скважин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2018. – Т.18, №1. – С.41–52. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.3.4

Please cite this article in English as:

Nekrasova I.L. Aspects of environmental and industrial safety of non-aqueous process fluids in construction and completion of wells. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2018, vol.18, no.1, pp.41-52. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.3.4