

*Третьяков Иван Андреевич,  
студент 3 курса магистратуры,  
кафедра Бурения нефтяных и газовых скважин  
Тюменский индустриальный университет,  
Россия, г. Тюмень  
e-mail: oreon5@mail.ru*

*Научный руководитель: Ваганов Юрий Владимирович  
кандидат технических наук,  
Тюменский индустриальный университет,  
Россия, г. Тюмень*

## **КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА РАСТВОРОВ НА УГЛЕВОДОРОДНОЙ ОСНОВЕ**

*Аннотация:* Статья посвящена рассмотрению критериев качества растворов на углеводородной основе. Рассмотрен алгоритм выбора критериев качества буровых растворов на углеводородной основе при бурении нефтяных и газовых скважин. Изучены критерии качества РУО при бурении скважин с большим отходом от вертикали, а также в сложных условиях бурения.

**Ключевые слова:** буровые растворы, углеводородная основа, бурение скважин.

*Tretyakov Ivan Andreevich,  
3rd year master student,  
Department of Oil and Gas Well Drilling  
Tyumen Industrial University,  
Russia, Tyumen*

*Scientific adviser: Vaganov Yuri Vladimirovich  
Candidate of technical sciences  
Tyumen Industrial University,  
Russia, Tyumen*

## **QUALITY CRITERIA FOR HYDROCARBON-BASED SOLUTIONS**

*Abstract:* The article is devoted to the consideration of the quality criteria for hydrocarbon-based solutions. An algorithm for selection of quality criteria for oil-based drilling fluids when drilling oil and gas wells is considered. The quality criteria for OBM have been studied when drilling extended reach wells, as well as in difficult drilling conditions.

**Key words:** drilling fluids, hydrocarbon base, well drilling.

На сегодняшний день значительно расширяется в отечественной и

зарубежной практике строительства скважин сфера возможного использования РУО – буровых растворов на основе углеводорода.

Прежде всего это можно объяснить возникновением прорывных технологий в области вскрытия пластов в процессе бурения скважин, которые дают возможность работать на таких месторождениях, которые расположены в труднодоступных местах, или территориях, где разработка полезных ископаемых осложнена геологическими условиями, например, на континентальном шельфе.

Согласно современным исследованиям, в настоящее время подавляющее количество горизонтальных скважин, для которых свойственно сверхдальнее отклонение от вертикали, пробурено именно с применением РУО [1].

Основываясь на международном промысловом опыте использования растворов на основе углеводородов, представляется целесообразным классифицировать их на следующие виды, в соответствии с областью их применения:

- для глушения скважин и для их повторного вскрытия, в качестве технологической жидкости;
- в целях сбора керна, чтобы сохранить его свойства;
- для гидрофобизации неустойчивых интервалов, ликвидации прихватов, в качестве технологических жидкостей;
- в целях вскрытия пластов, которым свойственен низкий уровень коллекторских показателей, в таких условиях, когда при применении водяных систем, реальные дебиты скважин в значительной мере ниже возможных;
- в целях бурения в интервалах терригенных неустойчивых отложений;
- для бурения горизонтальных и пологих скважин, для которых характерно значительное отклонение от вертикали.

Те рецептуры растворов на основе углеводорода, которые в настоящее время применяют в международной практике, по своему составу представляют собой эмульсией полярной жидкости, своего рода «водой в масле».

Необходимо отметить, что под «маслом» подразумеваются олеофильные органические вещества, которые фактически не растворяются в воде, однако, в

неполярных средах они растворяются достаточно хорошо. Базовыми характеристиками растворов на углеводородной основе являются показатели эмульгирования двух жидкостей: дисперсной фазы – солевых водных растворов, чаще всего в качестве соли используют хлорид кальция и дисперсионной среды органической жидкости. Эти две жидкости являются практически взаимно нерастворимыми.

Далее рассмотрим алгоритм выбора критериев качества буровых растворов на углеводородной основе при бурении нефтяных и газовых скважин.

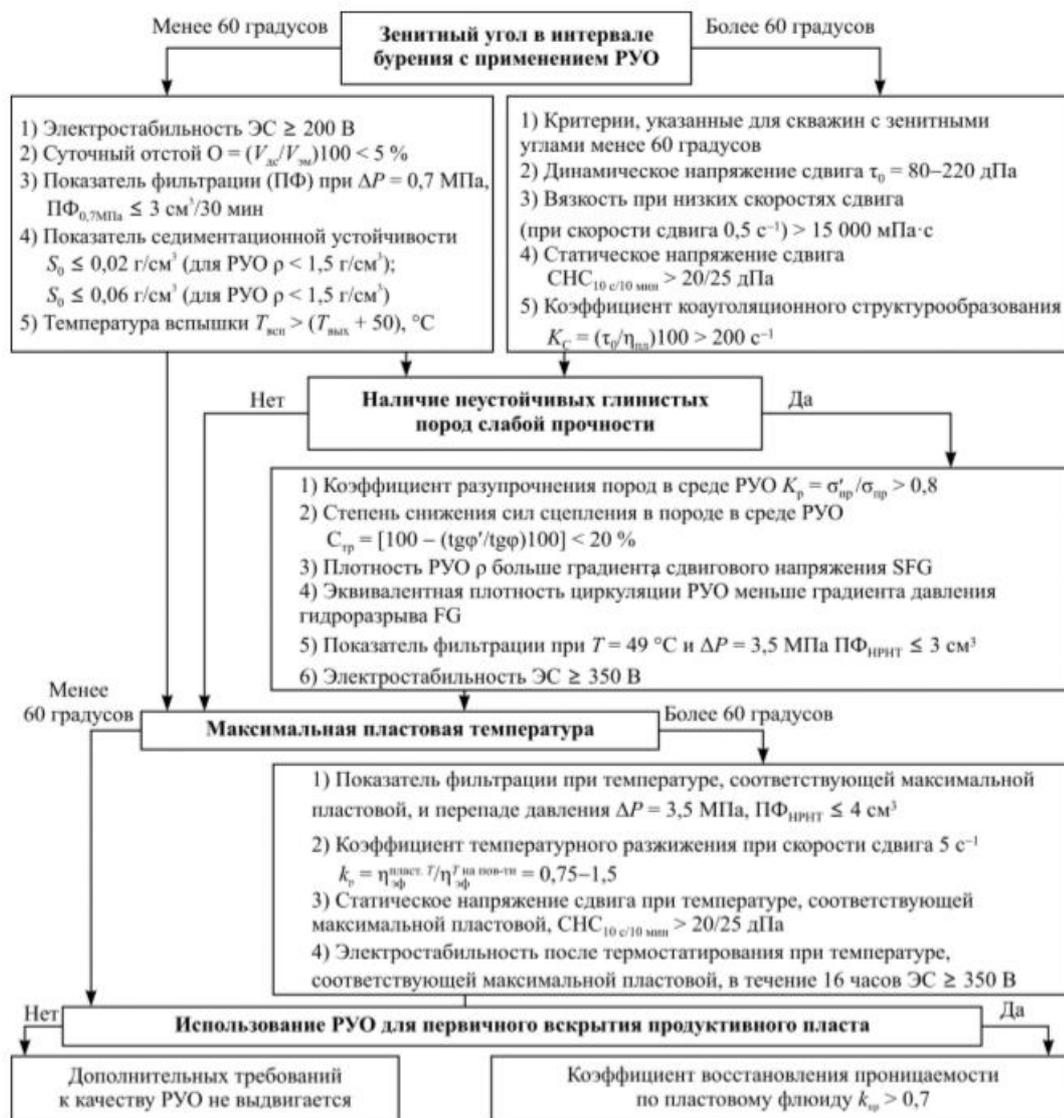
В научной литературе, которая существует в настоящее время, описано множество случаев, когда в различных сложных геологических условиях в процессе бурения скважин успешно применялись растворы на углеводородной основе.

Однако, в мировой практике также известен и негативный опыт применения таких растворов, который показал, что для определенных геологических условий необходимо подбирать такой состав РУО, который будет в полной мере подходить к конкретной обстановке. Например, известны случаи, когда по причине плохого качества первичного вскрытия не произошло достижение запланированного дебита, а также случаи недостижения необходимого уровня устойчивости ствола скважины.

Для того, чтобы провести объективный анализ уровня эффективности использования растворов на основе углеводородов, необходимо сформировать комплекс основных показателей для оценки степени их качества. Такой комплекс характеристик должен быть составлен с учетом различных сложных геологических условиями. Кроме того, при помощи него должен осуществляться мониторинг качества раствора на углеводородной основе непосредственно на месте разработки.

На основе того огромного опыта, который за время промышленной деятельности в сфере добычи полезных ископаемых был получен во множестве регионах нашей страны, рассмотрен алгоритм, который дает возможность выбрать конкретные показатели оценки качества растворов на углеводородной основе для

каждого определенного промысла. Суть данного алгоритма отражена в форме схемы на рисунке 1.



**Рис. 1. Критерии качества растворов на основе углеводов**

В данном алгоритме применяются следующие обозначения:  $V_{дс}$  – объем дисперсионной среды, который в течении одних суток после отстоя отделился от раствора;  $V_{эм}$  – объем раствора;  $T_{вых}$  –наивысшая температура раствора, которая прогнозируется на устье скважины;  $\tau_0$  – динамическое напряжение сдвига;  $\eta_{пл}$  – пластическая вязкость;  $\sigma_{пр}$  и  $\sigma_{пр}'$  – прочность образца породы на одноосное сжатие, которая получена до и после взаимодействия с раствором;  $tg\phi$  и  $tg\phi'$  – тангенс угла внутреннего трения в образце породы до и после

взаимодействия с раствором; пласт. эф  $\Gamma$  – эффективная вязкость раствора при скорости сдвига  $5 \text{ с}^{-1}$  при пластовой температуре и температуре на поверхности.

Растворы на основе углеводородов, не зависимо от сложившихся геологических условий, должны характеризоваться нормальным уровнем кинетической и агрегативной стабильности, другими словами – седиментационной устойчивостью, нормальными показателями суточного отстоя и хорошей электростабильностью. Объем суточного отстоя в растворе на углеводородной основе показывает его способность, при нахождении на протяжении продолжительного времени в состоянии покоя не выделять большое количество углеводородной фазы. Для того, чтобы такой раствор можно было использовать, допускается только небольшое отклонение – не более 5 %. Седиментационная устойчивость раствора на углеводородной основе не должна превышать  $0,06 \text{ г/см}^3$  для плотных растворов и  $0,02 \text{ г/см}^3$  – для растворов, которые не утяжелены.

Чаще всего для определения способности раствора на углеводородной основе удерживать утяжелитель в мировой практике используется фактор оседания, который вычисляется по следующей формуле (1):

$$SF = \left( \frac{MW_{bottom}}{MW_{bottom} + MW_{top}} \right), \quad (1)$$

где  $MW_{top}$  и  $MW_{bottom}$  – плотность раствора в верхней части и на дне цилиндра соответственно. Если фактор оседания ( $SF$ )  $\leq 0,50$ , то считается, что раствор может эффективно удерживать утяжелитель. В случае, когда фактор оседания выше, это значит, что в ходе применения такого РУО могут появиться сложности, вызванные баритовыми и шламовыми «подушками», которые формируются на стволе скважины.

Главной характеристикой для состава раствора на углеводородной основе, как уже отмечалось выше, является высокий уровень стабильности эмульсионной

системы. На данный показатель в первую очередь влияют уровень дисперсности водной фазы и процесс эмульгирования. Процесс эмульгирования, который протекает на этапе заготовки раствора на основе углеводов, включает два этапа. На первом одновременно образуется, как вода в масле, так и эмульсия, в ходе механического воздействия. На втором – стабилизация при помощи эмульгатора какого-либо вида эмульсии. Показатель электростабильности является главной характеристикой, которая отражает уровень агрегативной устойчивости раствора на углеродной основе к коалесценции глобул.

Он измеряется следующим образом. Масло (неполярная жидкость), которое не проводит электрический ток представляет собой внешнюю среду раствора на основе углеводов. В эмульсии начинают наблюдаться процессы инверсии (разрушения), если в раствор погрузить два пластинчатых электрода и пустить по ним электрическое напряжение.

Вода, которая характеризуется высокой электропроводностью, становится в общем объеме эмульсии, располагающемся между двумя электродами, внешней средой. Она начинает пропускать ток. Агрегативная стабильность раствора на углеродной основе тем выше, чем больше ток необходимо пропустить через него, для того чтобы начались процессы разрушения. Показатель электростабильности находится в прямой корреляции с расстоянием вокруг глобул и прочностью адсорбционных межфазных слоев.

По мимо этого, согласно имеющимся на сегодняшний день исследованиям, на электростабильность раствора на углеводородной основе также влияет целый комплекс различных аспектов, которые никак не связаны с эмульсией. Например, электростабильность РУО уменьшается:

- по причине роста концентрации утяжелителей в системе твердой фазы (появления частичек остаточной воды на поверхности раствора);
- вследствие повышения полярных характеристик (показателей гидрофильнолиофильного баланса), которые важны в системе эмульгаторов;
- при росте показателей минерализации (по причине увеличения уровня удельной электропроводности);

– при росте концентрации водной фазы в растворе, по причине сокращения расстояние между ее глобулами.

На базе проведенного анализа, автор считает рациональным применять этот показатель для любой рецептуры раствора на углеводородной основе в качестве оценочного.

Помимо этого, в международном стандарте ISO 10414-2:2011 также отмечено, что анализ гидрофобных показателей растворов, которые применяются в процессе бурения скважин исключительно на базе характеристики их электростабильности, не является в полной мере объективной. Если решение о необходимости обработки применения раствора принимается только на базе его показателей электростабильности, то во внимание принимается только его изменение в течении времени. Минимально допустимым показателем, по мнению специалистов международных компаний, является 350 В.

Во времена существования Советского Союза ученые Б. И. Хейфец и В. И. Токунов на основании своего многолетнего опыта работы с растворами на углеводородной основе определили, что при показателе электростабильности в 150 В, РУО нет необходимости обрабатывать какими-либо стабилизаторами, поскольку в нем не наблюдается стремления к фазовому обращению, раствор остается стабильным.

В случае изменения условий производства (попадание в раствор на углеводородной основе бурового шлама, цемента, пластовой воды) возможна инверсия ваз при более низких значениях электростабильности. По мере получения опыта работы с растворами на углеводородной основе и множества проведенных лабораторных исследований в данной области, удалось выяснить, что с учетом потенциального отрицательного воздействия на систему загрязнителей (пластовой воды и вырубного шлама), показатели электростабильности РУО должны превышать 200 В, для того, чтобы не допустить фазовое обращение эмульсии, поскольку даже при показателе электростабильности, равному 100-200 В, раствор на углеродной основе содержит

углеводородную жидкость, не включающую водную фазу, он остается достаточно стабильным.

Для того, чтобы максимально снизить наличие осмотических процессов при вскрытии терригенных водочувствительных коллекторов, по мнению автора, необходимо добиться показателя электростабильности раствора на углеводородной основе не менее 350 В.

Главный отрицательный фактор применения растворов на базе углеводородов при бурении состоит в их достаточно большой цене. Автор данного исследования, основываясь на проведенном выше анализе и полученных в результате него выводов, предполагает, что использование растворов на базе углеводородов, рецептура которых включает дорогостоящие вещества, приводит к значительным финансовым расходам и не является целесообразным. Исключением являются случаи, когда промыслы характеризуются тяжелой геологической спецификой.

Далее рассмотрим критерии качества РУО при бурении скважин с большим отходом от вертикали. Рассмотрим процесс бурения скважин с показателями зенитного угла, превышающими 60 градусов. К скважинам такого сложного профиля в отношении растворов на углеводородной основе предъявляются дополнительные требования к их структурно-механическим и реологическим свойствам. Такие свойства характеризуют удерживающую способность РУО (к утяжелителям), а также выносную способность (к выбуренному шламу). В соответствии с тем опытом, который был получен в ходе работы в Тимано-Печерской и Уральской нефтегазовых провинциях, при низких скоростях сдвига, показатель статично напряжения сдвига должен составлять не менее 20-25 дПа, показатель вязкости должен удерживаться в области 15000 мПа-с, а показатель динамического напряжения сдвига раствора на углеводородной основе должен находиться в границах 80-220 дПа [1].

Если в процессе бурения скважины наблюдается вскрытие терригенных неустойчивых отложений, в частности глиняных пород, которые по своей контактной прочности относятся к группе «слабых», для понижения риска

возникновения различных сложностей, главное внимание акцентируют на ингибирующие свойства растворов на основе углеводородов, поскольку именно они влияют на устойчивость ствола скважины. Практически все международные исследователи утверждают, что в отношении различных неустойчивых пород, по ингибирующим параметрам растворы на углеводородной основе фактически не отличаются от остальных технических растворов.

Ввиду чего, автор настоящего исследования предполагает, что есть возможность снижать уровень взаимодействия растворов на углеводородной основе с глиняными породами за счет изменения концентрации фильтрации. Это позволит достичь стабильного состояния скважины. Одновременно с этим, становится возможным полностью предотвратить потенциальные процессы гидратации, используя только озвученный подход в проблеме выбора состава раствора на углеводородной основе.

Автор исследования предлагает анализировать ингибирующие свойства РУО в отношении неустойчивых пород, таких как глинистые сланцы следующим образом. Так, для примера можно проанализировать те результаты, которые были получены в результате исследования на одном из месторождений Пермского края - динамики прочности терригенного тиманского горизонта, после выдержки в растворах на углеводородной основе, для которых были характерны различные составы водной фазы.

Согласно мнению большинства специалистов, породы можно считать высокопрочными, в случае если коэффициент размягчения, который рассчитывается как отношение их прочности после контакта с РУО к их первоначальной прочности, не понижается меньше 0,8. Согласно тому же правилу, рассчитывается коэффициент прочности проблемных интервалов в глиняных породах. Согласно исследованиям, которые были проведены ранее, ученые определили, что значение  $Стр = 20\%$  находится в корреляции с  $Кр = 0,8$ .

В целом ряде различных нефтегазовых районов можно встретить терригенные породы, которые в случае контакта с водной фазой моментально адсорбируют воду. Подобные породы относятся к группе «геомеханически

слабых», для них характерна крайне низкая прочность. Яркими примерами таких пород являются породы ванденской свиты, а также отложения кыновского горизонта девонской системы.

Эти породы в основном представлены глинистыми сланцами и аргиллитами. Зачастую для них характерно большое количество микротрещин, которые образуют целую систему с субпараллельной ориентацией.

Низкая устойчивость таких пород объясняется воздействием двух аспектов. Первый из них непосредственно связан с уменьшением устойчивости, по причине разгрузки при вскрытии скважиной массива пород тектонического напряжения. Он обладает исключительно физической природой. Второй аспект обладает химической природой и состоит в образовании микротрещин по причине воздействия фильтрата РУО.

Безаварийного бурения скважин, для которых характерна пониженная прочность и глинистый состав, можно добиться только при условии ликвидации этих аспектов.

Для того, чтобы несколько компенсировать изменения радиального и тангенциального напряжения, в процессе бурения скважины через низкопрочные породы, плотность раствора на углеводородной основе должна быть выше, чем градиент сдвигового напряжения, расчет которого осуществляется при помощи геомеханической модели. При этом необходимо учесть, что плотность циркуляции раствора на основе углеводорода, вычисленная на базе реологических характеристик конкретной рецептуры, должна быть ниже, чем градиент давления гидроразрыва, чтобы избежать избыточного давления и развития трещин.

Далее рассмотрим критерии качества РУО в сложных условиях бурения. Если растворы на углеводородной основе используются в условиях бурения скважин с повышенной температурой пласта, они также должны характеризоваться высоким уровнем стабильности рабочих структурно-механических, реологических и фильтрационных показателей, а также термостойкостью.

При пониженных скоростях сдвига изменение вязкости раствора на углеводородной основе более чем в 2 раза негативно сказывается на уровне очистки ствола скважин, приводит к возникновению прихватов, посадок инструмента, возникновению затяжек, повышению коэффициента трения, осаждению утяжелителей и шлама.

В случае, когда температура раствора понижается, а вязкость РУО увеличивается, что довольно часто наблюдается после продолжительной паузы в процессе циркуляции на поверхности скважины, наблюдаются процессы загущения, которые ведут к формированию не текучего состояния раствора на углеродной основе, что вызывает определенные проблемы при его прокачке.

Специалисты считают пластовую температуру в 60 °С как критическую, поскольку при бурении скважин средняя температура циркуляции раствора должна быть не выше 49 °С (в соответствии с ГОСТ 33697-2015).

Для оценки термостойкости раствора на углеводородной основе для работы на скважинах, пластовая температура которых составляет выше 60 °С, автор данного исследования предлагает применять коэффициент температурного разжижения, который вычисляется по формуле (2):

$$k_p = \eta_{\text{эф}}^{\text{пласт. } T} / \eta_{\text{эф}}^{T_{\text{на пов-ти}}}, \quad (2)$$

где пласт. эф  $T$  – эффективная вязкость раствора на углеродной основе при пластовой температуре; на пов-ти эф  $T$  – эффективная вязкость раствора на углеродной основе при температуре раствора на поверхности.

Несущие способности в пристенной области раствора на углеродной основе характеризуется показателем эффективной вязкости при низких скоростях сдвига.

Низкими скоростями сдвига считается 3 об/мин. Такая скорость чаще всего используется международными сервисными компаниями для измерения эффективной вязкости растворов на углеродной основе.

Прослеживаемая тенденция роста эффективной вязкости раствора на углеродной основе по мере увеличения температуры в указанном скоростном диапазоне сдвига показывает, что при повышении температуры несущая способность РУО также увеличивается, что является крайне важным фактором при бурении скважин, для которых характерен сложный профиль.

Если использовать коэффициент разжижения, формула расчета которого представлена автором данного исследования выше, появляется возможность избежать применения дополнительного сложного оборудования и контролировать качество раствора на углеродной основе в условиях бурения только по показателю его термостабильности и при помощи применения стандартного оборудования.

По итогам исследований, которые провели в настоящее время, удалось установить, что на реологические свойства раствора на углеродной основе избыточное давление имеет незначительно влияние. Реологические показатели раствора на углеродной основе повышаются всего на 10-15% в случае роста давления до 1,4 Мпа. По этой причине введение показателя, который отражает при изменениях барических условий сохранения качества раствора на углеродной основе, не представляется целесообразным.

Еще одной характеристикой, которая отражает качество раствора на углеродной основе и непосредственно влияет на безопасность буровой деятельности, является температура вспышки раствора. Особенно данный показатель важен для скважин с повышенными пластовыми температурами.

Пункт 220 «Правил безопасности в нефтяной и газовой промышленности» определяет соответствующие требования к температуре вспышки раствора на углеродной основе, которая вычисляется по стандартным формулам и должна быть выше максимально прогнозируемой температуры РУО на 50 °С.

На данный момент в международной практике известно достаточно большое количество положительного опыта использования раствора на углеводородной основе в процессе бурения в тяжелых геологических условиях и характеризующиеся сложным профилем. Однако, также существуют примеры

негативного опыта, который показывал, что технологические свойства и рецептура раствора на углеводородной основе не всегда в полной мере отвечали сложившимся геологическим условиям. Например, из-за плохого качества вскрытия продуктивного пласта планового дебита не всегда удавалось достичь, также были случаи, когда ствол скважины терял необходимый уровень устойчивости.

Для того, чтобы повысить уровень эффективности использования растворов на углеводородной основе важно сформировать комплекс критериев для анализа их качества, который мог бы позволить осуществлять мониторинг качества раствора непосредственно на территории промысла.

На базе имеющегося международного опыта использования растворов на углеводородной основе автором данного исследования был рассмотрен алгоритм, который позволяет определить такие критерии оценки качества РУО, которые целесообразно применять именно в конкретных геологических условиях.

В данном исследовании были проанализированы требования, которые применяются по отношению к растворам на углеводородной основе в ходе бурения скважин, для которых характерны значительные отходы по вертикали. Автором были предложены показатели, в соответствии с которыми представляется возможным дать оценку качества первичного вскрытия.

Сфера потенциально возможного применения растворов на углеводородной основе определяет целый комплекс специфичных дополнительных требований.

Те показатели оценки качества растворов на углеводородной основе, которые были представлены в данном исследовании, дают возможность увеличить их эффективность применения, частности в процессе строительства скважин в тяжелых геологических условиях.

Мониторинг всех главных показателей растворов на углеводородной основе, которые имеют значение для качества процесса бурения скважины, реализуется непосредственно на территории промысла. Отдельные показатели, такие как коэффициент восстановления проницаемости и коэффициент

разупрочнения пород в условиях буровой деятельности не представляется возможным проконтролировать.

Допуск определенных технологий к использованию на каждой отдельной скважине должен предоставляться только после глубокого лабораторного предварительного исследования. В особенности это относится к выбору состава растворов на углеводородной основе, которые планируют использовать на скважинах для промышленных работ.

### **Список литературы:**

1. Нефтегаз.ру: электронный портал [Электронный ресурс] // Режим доступа: URL: <https://neftegaz.ru/> (дата обращения: 10.11.2020 г.).