**УДК 622.24.063**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ**

***Вафин Айрат Шамилевич***

*Студент, кафедра нефтегазовых технологий,*

*Образовательный Центр город Когалым филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета,*

*РФ, г. Когалым*

*Email: [vafin\_ajrat06@mail.ru](mailto:vafin_ajrat06@mail.ru)*

***Нигматов Ленар Гамирович***

*Научный руководитель, доцент*

*Образовательный Центр город Когалым филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета,*

*РФ, г. Когалым*

**IVESTIGATION OF WASHING LIQUIDS**

***Vafin Airat Shamilevich***

*Student, Department of Oil and Gas Technologies,*

*Educational Center of the Kogalym City Branch of the Perm National Research Polytechnic University*

*Russia, Kogalym*

***Nigmatov Lenar Gamirovich***

*Academic Advisor, Assiciate Professor*

*Educational Center of the Kogalym City Branch of the Perm National Research Polytechnic University*

*Russia, Kogalym*

**АННОТАЦИЯ**

В статье представлены исследования промывочных жидкостей, применяемых при бурении нефтяных и газовых скважин, с акцентом на сравнительный анализ трёх основных типов буровых растворов: на водной основе, на углеводородной основе и на синтетической основе. Проведена оценка термостабильности систем, экологическим и технологическим ограничениям, а также экономическим аспектам применения каждого типа растворов. Полученные результаты позволяют определить оптимальные области использования водных, углеводородных и синтетических буровых растворов в зависимости от условий бурения.

**ABSTRACT**

The article presents research on drilling fluids used in the drilling of oil and gas wells, with a focus on a comparative analysis of three main types of drilling fluids: water-based, hydrocarbon-based, and synthetic-based. The article evaluates the thermal stability of the systems, as well as the environmental and technological limitations, as well as the economic aspects of using each type of drilling fluid. The results obtained allow for the determination of the optimal areas for using water-based, hydrocarbon-based, and synthetic drilling fluids, depending on the drilling conditions.

**Ключевые слова:** буровые растворы, исследование, термостабильность, экологические ограничения, растворы на синтетической основе.

**Keywords:** drilling fluids, research, thermal stability, environmental restrictions, synthetic-based solutions.

Буровая скважина – это инженерно-техническое сооружение в виде цилиндрического канала, создаваемого с помощью бурового оборудования в земной коре для достижения определённой глубины с целью извлечения полезных ископаемых. Первая нефтяная скважина была пробурена на **Биби-Эйбатском нефтегазоконденсатном месторождении** в Азербайджане 14 июля 1848 года. Добыча осуществлялась ударным способ, метод заключался в обрушении тяжёлого бурового снаряда на забой скважины, своим весом снаряд разрушал горные породы до тех пор пока не доберётся до залежи нефти. Незадолго до этого в 1846 г. французский инженер Фовель предложил способ непрерывной очистки скважин - их **промывку.**Сущность метода заключалась в том, что с поверхности земли по полым трубам в скважину насосами закачивалась вода, выносящая элементы породы наверх. Этот метод очень быстро получил признание, т.к. не требовал остановки бурения [1]. Следующим этапом в бурении скважин стало применение вращательного бурения с промывкой скважин глинистым раствором для добычи нефтепродукта. В первые этот метод был использован **в конце 80-х годов XIX века** **близ города Новый Орлеан (штат Луизиана, США)**. С тех времён промывочные жидкости стали неотъемлемой частью бурения нефтегазовых скважин. На данный момент актуальными являются буровые растворы на водной основе и растворы на углеводородной основе. Стоит отметить, перспективным направлением на текущее время является развитие буровых промывочных растворов на синтетической основе.

Фактически первыми буровыми растворами являлась смесь воды и измельчённой породы в процессе бурения, но данный раствор хоть и выполнял главную роль промывочных жидкостей тех времён – вынос выбуренной породы на поверхность, имел свойство быстрого самосгущения, что влекло за собой снижения скорости бурения, а иногда и полное прекращения работы. Самыми простыми растворами были глинистые растворы, состоящие из качественных местных комовых глин или товарного (бентонитовый, каолинитовый, палыгорскитовый) глинопорошка (до 15–35%), технической воды (пресная или морская), химических реагентов [2]. Использование растворов происходит и современное время, при бурении без серьёзных осложнений. Следующим этапом стали растворы специального назначения, которые имели целенаправленное назначение в зависимости от условий бурения. Растворы на углеводородной были разработаны в 1937 году для бурения при высоких температурах и во льдах.

Также с 1937 года для снижения водоотдачи растворов начали применять органические вещества, такие, как крахмал. Крахмал на буровой установке предварительно подвергался пептизации раствором каустика и только после этого добавлялся в глинистый раствор. Довольно быстро были созданы различные сорта модифицированного крахмала, которые широко применяются и в настоящее время [1]. Следующим крупным открытием стали поверхностно-активные вещества (ПАВ). ПАВ улучшали подвижность нефти и вытеснение её водой. В 1945 году впервые были использованы нефтеэмульсионные растворы, основой которых все также оставалась вода, содержание углеводородов было от 10 до 15 процентов.

**Промывочные жидкости делятся на две крупные группы - истинные и дисперсные буровые растворы.**

**Истинные буровые растворы** – это однофазные системы, состоящие из растворителя и растворённого вещества, между которыми отсутствуют границы. В бурении нефтяных и газовых скважин такие растворы могут использоваться для обработки промывочных жидкостей (растворы щелочей, солей) или в качестве самостоятельной промывочной среды (при бурении в зонах многолетнемерзлых горных пород) [3].

Дисперсные буровые растворы - **это системы из двух или нескольких фаз**, одна из которых состоит из отдельных мелких частиц (дисперсная фаза), распределённых в другой фазе (дисперсионной среде) или в «растворителе»[4].

Более подробная классификация промывочных жидкостей представлена на Рисунке 1.

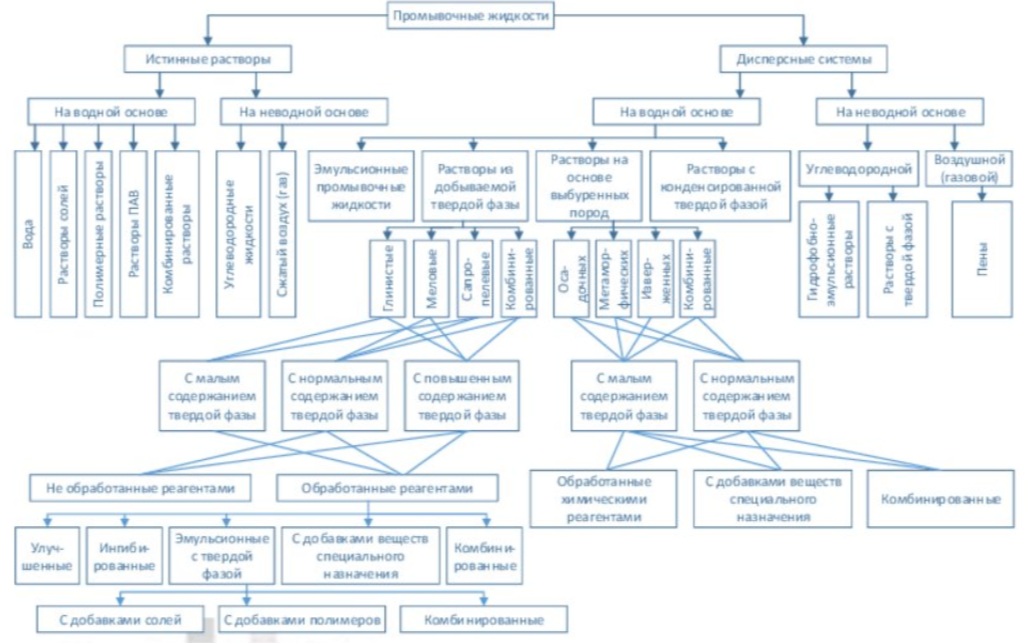


Рисунок 1 – Классификация промывочных жидкостей

## На данный момент промывочные жидкости, которые применяются при бурении чаще всего делятся на промывочные жидкости на водной основе, на углеводородной основе и на синтетической основе. Самыми передовыми буровыми растворами на водной основе являются полимерные промывочные жидкости и прямые эмульсионные промывочные жидкости. В полимерных растворах главную роль выполняют различные полимеры, к примеру Карбоксиметилцеллюлоза и органосиликат натрия ГКЖ-10, 11 для гидрофобизации выбуренной породы и понижения вязкости глинистых растворов, что позволило улучшить состояние стенок скважин, ограничить содержание нефти в растворе и, соответственно, повысить качество цементирования скважин [5].

Прямые эмульсионные растворы в качестве дисперсной фазы содержат углеводородную жидкость, а в качестве дисперсионной среды – воду или раствор неорганической соли, стабилизированный водорастворимыми полимерами [6]. Простыми словами прямой эмульсионный раствор представляет собой системы “нефть в воде”.

Также в состав входят поверхностно-активные вещества (ПАВ) и эмульгаторы которые поддерживают состояние эмульсии, предотвращая смешивание её компонентов.

Растворы на углеводородной основе (РУО) применяют в сложных горно-геологических условиях, когда промывочные жидкости на водной основе могут привести к аварийной ситуации. РУО оптимальны для бурения скважин с зенитным углом более 70°. В качестве дисперсионной среды используют минеральное масло, нефть, дизтопливо, газовый конденсат, а дисперсной фазой чаще всего служит вода или водный раствор неорганической соли [7].

Но при использовании РУО становится важным влияния раствора на экологию. Поэтому для защиты окружающей среды были разработаны растворы на синтетической основе. В этих системах в качестве углеводородной фазы используются синтетические продукты, получаемые либо из растительного сырья, либо из синтетических углеводородов [8]. Важной частью растворов на углеводородной основе являются ПАВ и эмульгаторы. Эти добавки обеспечивают устойчивость эмульсии “вода в нефти” и “вода в синтетике”. Также стоит отметить, что во все вышеупомянутые промывочные жидкости добавляют утяжелители, данные компоненты часто называют твёрдой фазой. В основном их используют для повышения плотности, но утяжелители еще и поддерживают устойчивость суспензии. Чаще всего в качестве твёрдой фазы используют барит (BaSO₄), гематит (Fe₂O₃), кальцит (CaCO₃).

Каждая промывочная жидкость обладает своими уникальными свойствами и используется в тех условиях, где её характеристики обеспечивают наилучшую эффективность при бурении. Из этого вытекают преимущества и недостатки каждой из систем жидкостей.

Преимущества растворов на водной основе:

Низкая себестоимость. По сравнению с своими конкурентами, основу которых составляет органические соединения, имеют более низкую стоимость. Однако стоит отметить, что цена водного раствора остаётся дешёвой до появления первых проблем, которые могут быть предпосылками остановки процесса бурения. Если принимать во внимание общие затраты, к примеру при кустовом бурении, то затраты на использование РУО могут быть сравнимы, либо же окажутся ниже стоимости использования растворов на водной основе, особенно в тех случаях, когда устраняется большинство проблем, что позволяет в значительной степени сократить продолжительность работ [8].

Экологичность. Причиняют минимальный ущерб окружающей среде. Легко утилизируются.

Регулирование свойств**.** Полимерные добавки улучшают реологические свойства и устойчивость к фильтрации. Добавки позволяют контролировать оседание частиц, стабилизировать суспензии. Водные системы легче поддаются мониторингу pH, электропроводности и других параметров.

Недостатки РВО (Растворы на водной основе):

Ограничение по пластовым условиям. В пористых и меловых породах может быстро терять специфическую кислотность/щёлочность и разрушать стенки скважины. В высокотепловых и высоконапорных условиях вязкость может падать или изменяться непредсказуемо.

Фильтрация и потеря флюида.Химический износ оборудования. Как известно в раствор на водной основе (РВО) часто добавляют полимеры и другие химически активные вещества. Из-за этого некоторые полимеры и добавки могут вызывать коррозионное воздействие на трубопроводы и буровое оборудование.

Механические ограничения. Неспособность удерживать шлам во взвешенном состоянии при остановке циркуляции, что может привести к его осаждению на забой и прихватам инструмента. Также раствор может не обеспечивать достаточной поддержки стенок в условиях обводнения и тем самым увеличивается риск обвала в слабых пластах без дополнительных стабилизаторов.

Преимущества РУО:

Термостабильность. Растворы на углеводородной основе обладают высокой термостабильностью и сохраняют стабильные реологические свойства при температурах до 250-260 °C. Это связано с низкой полярностью углеводородов и отсутствием водной фазы, которая в водных системах при нагреве вызывает дегидратацию глин и разрушение структурных связей.

Интенсивная смазка и низкое трение. Высокая смазывающая способность РУО обеспечивает значительное снижение трения между бурильной колонной и стенками скважины. применение углеводородных систем снижает коэффициент трения до 0.1-0.15, что на 40-60 % ниже, чем у водных растворов. Это особенно важно при бурении наклонно-направленных и горизонтальных стволов. Риск прихвата колонны также снижается благодаря сочетанию высокой смазывающей способности с хрупкой фильтрационной коркой, образуемой буровыми растворами на нефтяной основе [9].

Низкая водопоглощаемость пласта. Поскольку внешняя фаза РУО представляет собой углеводород, контакт воды с глинистыми минералами в стенках скважины минимален. Это предотвращает набухание глинистых пород, которые характерны для водных систем.

Недостатки РУО:

Экологические риски. Растворы на углеводородной основе обладают повышенной экологической опасностью из-за содержания нефтеуглеводородов, ароматических соединений и присадок, плохо поддающихся биологическому разложению. Утилизация и переработка отходов с РУО требуют специализированных установок, что значительно повышает стоимость и сложность логистики. Например, Offshore Norge Environmental Report (2023) указывает, что содержание углеводородов в выбросах на морских платформах строго ограничено (< 1 % по массе) [10].

Коррозия и агрессивная химия.Некоторые компоненты РУО (ингибиторы, эмульгаторы) способны вызывать химическую коррозию металлических поверхностей оборудования. В системах с высокой щёлочностью (pH > 10) или добавлением сильных ингибиторов также возможны коррозионные повреждения труб, особенно при повышенных температурах. Для предотвращения требуется применение дорогостоящих ингибиторов.

Воспламеняемость. РУО относятся к пожароопасным веществам, так как многие из них имеют низкую температуру вспышки. При нагреве выше 60-80 °C пары углеводородов, являющиеся частью нефтяной или масляной фазы в растворе, могут воспламениться от искры.

Стоимость и логистика. РУО являются одними из самых дорогих буровых систем. Согласно Offshore Magazine (2023), цена 1 м³ РУО на континентальном шельфе Норвегии достигает $1300, а утилизация буровых отходов стоит $1500-1700 за тонну [11]. Дополнительными затратами является также логистика растворов на углеводородной основе, так как для них необходимы специальные ёмкости для хранения и перевозки, также ёмкости должны обладать защитой от перегрева.

Преимущества РСО(растворы на синтетической основе):

Термостабильность. РСО демонстрируют хорошую термостабильность благодаря стабильной синтетической молекулярной структуре (поли-альфа-олефины, сложные эфиры), они устойчивее к окислению и крекингу, чем многие биополимерные и водные рецептуры [12]. Благодаря термостабильности промывочные жидкости на синтетической основе могут быть применены в зоне высоких температур, в отличии от водных растворов, однако предел температуры всё же присутствует.

Смазывание и снижение износа. Синтетическая внешняя фаза формирует смазывающую плёнку на металле оборудования. В результате снижается износ бурильной колонны, долота и инструментов, уменьшается риск прихватов и повышается механическая скорость бурения на наклонных и горизонтальных стволах.

Недостатки РСО:

Стоимость и логистика**.** Синтетические растворы являются дорогостоящими как по стоимости базового масла, так и по расходам на реагенты, очистку и транспортировку. 1 м³ РСО может обходиться в 2-3 раза дороже водных растворов, а транспортировка и хранение, также как и РУО, требуют специальных ёмкостей и соблюдения температурного режима.

Экологические ограничения. Несмотря на меньшую токсичность по сравнению с традиционными углеводородными растворами, синтетические буровые жидкости всё ещё содержат труднобиоразлагаемые компоненты и синтетические полимеры, которые также оказывают влияние на экологию.

Ограничения по термостойкости. РСО обычно термостабильны, но при экстремально высоких температурах (>~250-300 °C) или при взаимодействии с агрессивными средами некоторые синтетические основы и полимеры могут деградировать.

Краткая сравнительная таблица буровых растворов представлена ниже.

Таблица 1 - Сравнение характеристик РВО, РУО, РСО

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | РВО | РСО | РУО |
| Стоимость (без учета логистики и без учета доп. компонентов) | 220$/м3 | 1200-1570$/м3 | 470-630$/м3 |
| Термостабильность | Низкая | Высокая | Очень высокая (зависит от дисперсной фазы) |
| Смазка/трение | Плохая (необходимы дополнительные присадки) | Хорошая | Лучшие смазочные свойства |
| Контроль фильтрации | При высоких температурах ухудшается | Хорошая, за счёт образования фильтрационной корки | Хорошая, за счёт образования фильтрационной корки |
| Влияние на пласт | Риск набухания глин | Минимальное отрицательное влияние | Экологическая вредность |
| Экологичность | Лучшая | Хуже чем у РВО, но лучше чем у РУО | Худшая |

Одним из наиболее перспективных направлений, которое можно развивать в области буровых растворов, является создание промывочных жидкостей на биоразлагаемой синтетической основе, в первую очередь на базе сложных эфиров жирных кислот, получаемых из растительных или технических масел. Такие эфиры могут стать хорошей альтернативой традиционным углеводородным основам, потому что они дают смазку практически не хуже минеральных масел, но при этом разлагаются в природных условиях гораздо быстрее. Чтобы такие биоосновы могли работать в реальных условиях бурения, особенно на высоких температурах, их можно модифицировать антиокислителями, стабилизаторами и подходящим набором эмульгаторов. Такая разработка может дать заметный вклад: во-первых, снизить экологические риски за счёт высокой биодеградации и меньшей токсичности; во-вторых, упростить утилизацию бурового шлама; и в-третьих, позволить использовать синтетические системы даже в районах со строгими экологическими требованиями, что сейчас особенно актуально.

Проведённое исследование промывочных жидкостей на водной, углеводородной и синтетической основе позволило комплексно оценить их эксплуатационные, экологические и экономические характеристики и выявить оптимальные области применения каждой системы. Анализ показал, что водные растворы остаются наиболее доступными и экологически безопасными, хотя их использование ограничено высокими температурами и сложными разрезами. Углеводородные растворы демонстрируют высокую термостабильность, отличные смазывающие свойства и минимальное набухание глин, что делает их эффективными при бурении высокотемпературных и нестабильных пород, но при этом они сопровождаются повышенными экологическими и экономическими рисками. Синтетические растворы занимают промежуточное положение, сочетая высокие технологические показатели с более низкими экологическими воздействиями по сравнению с углеводородными системами, что делает их перспективными для ответственных районов бурения. Сравнительный анализ подтверждает, что универсальной буровой жидкости не существует, а выбор оптимальной системы зависит от геолого-технических условий, требований к устойчивости стенок скважины, уровня экологических ограничений и доступного бюджета проекта. Перспективным направлением дальнейших исследований является совершенствование синтетических растворов за счёт повышения их биоразлагаемости и термостойкости, а также разработка новых добавок, обеспечивающих стабильность, сниженное трение и минимальное воздействие на окружающую среду.

**Список литературы:**

1. Четвертнева И.А., Тептерева Г.А, Шавшукова С.Ю., Конесев В.Г. Появление, развитие и совершенствование различных типов буровых растворов в мировой и отечественной практике // История и педагогика естествознания. 2019. Nº 2. С. 25- 29.
2. Буровые промывочные жидкости: методическое пособие для студентов специальности 1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых» специализации 1-51 02 01-04 «Буровые работы» / М. А. Бабец, Т. И. Саноцкая. – Минск : БНТУ, 2012. – 75 с.
3. Эмульсионный буровой раствор [Электронный ресурс]. – URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/burenie/147814-emulsionnyy-burovoy-rastvor/> (Дата посещения 15.11.2025)
4. Буровые растворы; дисперсные системы, основные понятие [Электронный ресурс]. – URL: <https://spravochnick.ru/lektoriy/burovye-rastvory-dispersnye-sistemy-osnovnye-ponyatiya/> (Дата посещения 15.11.2025)
5. [Федоровская В. А.](https://burneft.ru/archive/authors/?ELEMENT_ID=101162), [Каменский Л. А.](https://burneft.ru/archive/authors/?ELEMENT_ID=100980), [Аксенова Н. А.](https://burneft.ru/archive/authors/?ELEMENT_ID=100978), [Овчинников В. П.](https://burneft.ru/archive/authors/?ELEMENT_ID=99573) Полимерные буровые растворы. Эволюция «из грязи в князи». 2014. [Электронный ресурс]. – URL: <https://burneft.ru/archive/issues/detail.php?ELEMENT_ID=61852> (Дата посещения 16.11.2025)
6. Промывочные растворы в бурении: учеб. пособие / Л.В. Ермолаева. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2020. – 51 с.
7. Эмульсионные буровые растворы - тенденции развития технологии / С. Е. Ильясов, С. Г. Попов, О. В. Окромелидзе [и др.] // Территория Нефтегаз. – 2011. – № 11. – С. 14-17. – EDN OOBNEX.
8. Совершенствование технологии эмульсионных растворов для бурения скважин в условиях повышенных забойных температур : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 25.00.15 / Тирон Денис Вячеславович; [Место защиты: С.-Петерб. гос. гор. ун-т]. – Санкт-Петербург, 2017. – 20 с.
9. Oil-Based Mud Vs. Water-Based Mud [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.drillingmanual.com/oil-based-drilling-mud-applications](https://www.drillingmanual.com/oil-based-drilling-mud-applications/)/ (Дата посещения 17.11.2025)
10. Environmental Report 2023 [Электронный ресурс]. – <https://info.offshorenorge.no/environmental-report-2023/sec/4> (Дата посещения 17.11.2025)
11. Enclosed solids control system lowers mud consumption, boosts drilling efficiency [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.offshore-mag.com/drilling-completion/article/16754808/enclosed-solids-control-system-lowers-mud-consumption-boosts-drilling-efficiency> (Дата посещения 19.11.2025)
12. Shadfar Davoodi, Mohammed Al-Shargabi, David A. Wood, Valeriy S. Rukavishnikov, Konstantin M. Minaev. Synthetic polymers: A review of applications in drilling fluid. 2023. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/373253127_Synthetic_polymers_A_review_of_applications_in_drilling_fluids> (Дата посещения 20.11.2025)
13. Буровые растворы для бурения, заканчивания и капитального ремонта скважин [Электронный ресурс]. – URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/burenie/142386-burovye-rastvory-dlya-bureniya-zakanchivaniya-i-kapitalnogo-remonta-skvazhin/> (Дата посещения 20.11.2025)