



Бурение скважин

Типы буровых растворов и циркуляционных систем

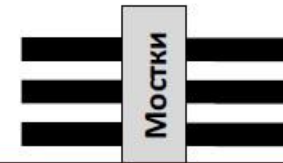
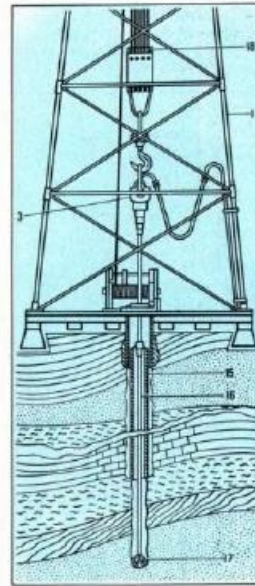
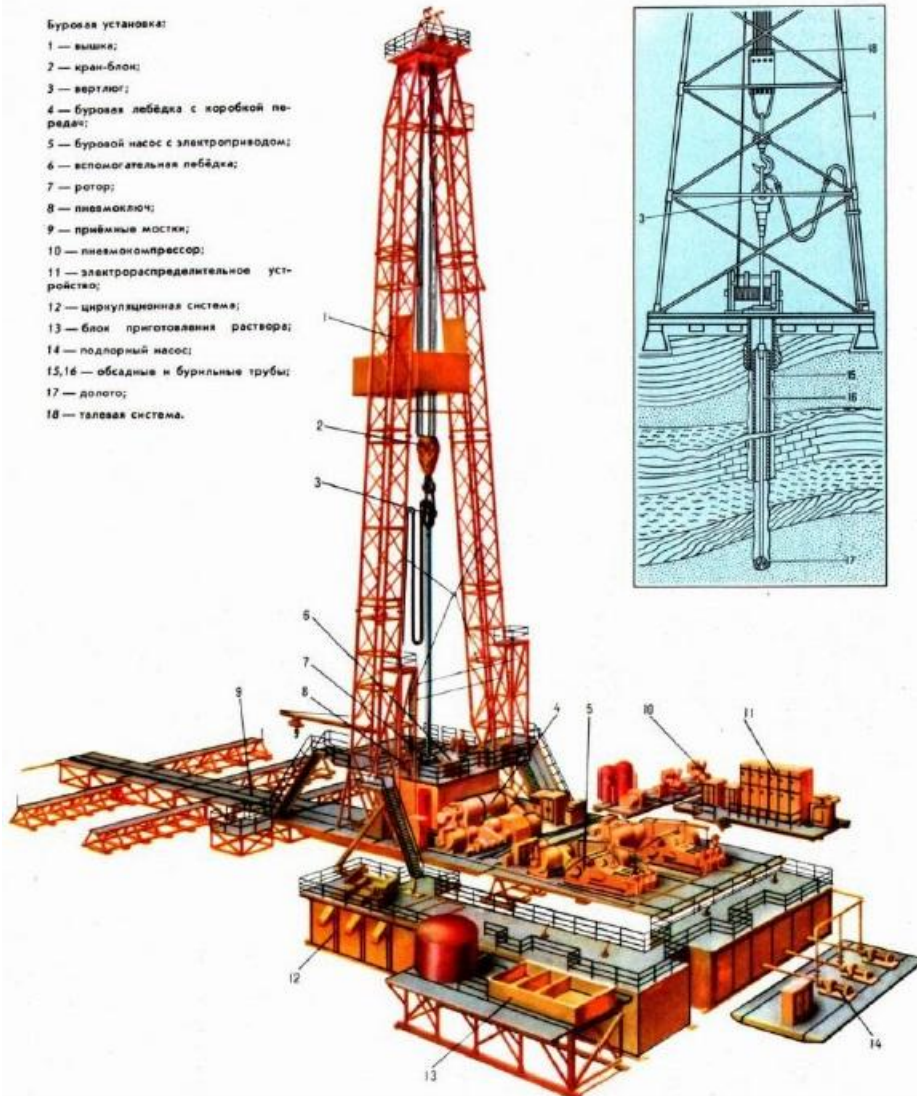
Селезнев Денис Сергеевич



Принципиальная схема БУ

Буровая установка:

- 1 — вышка;
- 2 — кран-блок;
- 3 — вертлюг;
- 4 — буровая лебёдка с коробкой передач;
- 5 — буровой насос с электроприводом;
- 6 — вспомогательная лебёдка;
- 7 — ротор;
- 8 — пневмоключ;
- 9 — приёмные мостки;
- 10 — пневмокомпрессор;
- 11 — электрораспределительное устройство;
- 12 — циркуляционная система;
- 13 — блок приготовления раствора;
- 14 — подлорный насос;
- 15,16 — обсадные и буровые трубы;
- 17 — долото;
- 18 — талевая система.



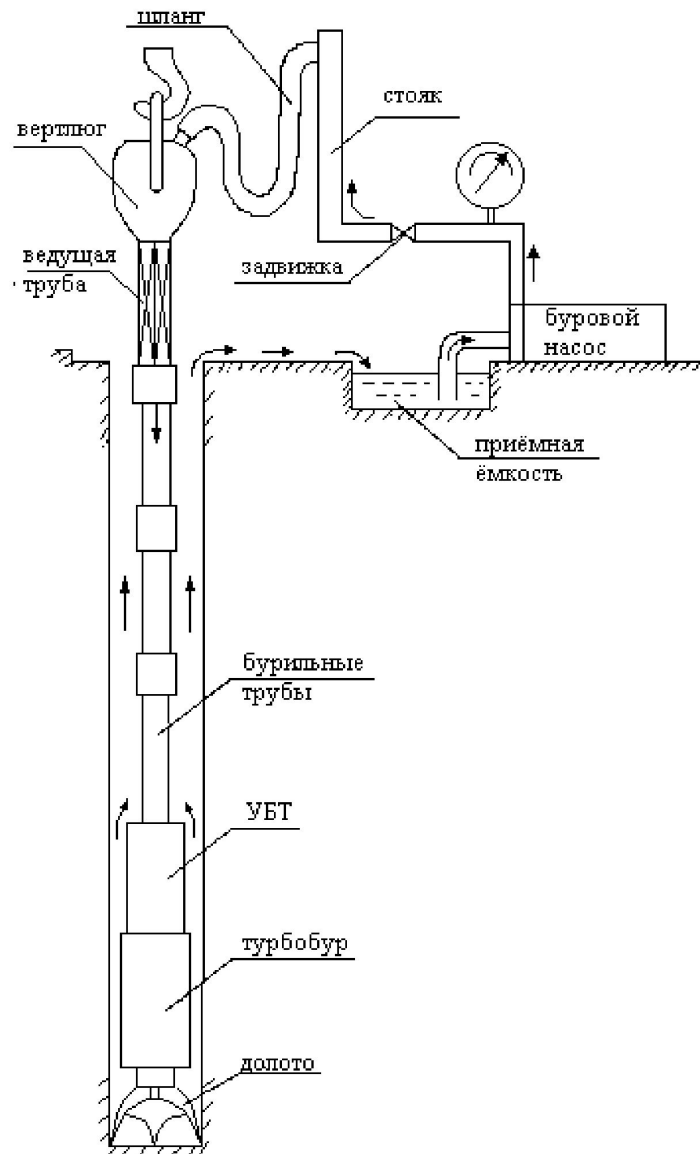


Принципиальная схема процесса промывки скважины

Для удаления выбуренной породы с забоя скважины и транспортировки ее на поверхность создают замкнутую циркуляцию через скважину технологического (циркуляционного) агента – жидкости или газа.

При использовании жидкости технологический процесс ее циркуляции через скважину называется **промывкой**, а при использовании газа – **продувкой**. Как правило, применяется промывка скважин. Технологическую жидкость, прокачиваемую через скважину, называют **промывочной (ПЖ)** или **буровым раствором (БР)**.

Циркуляционная система скважины





Пример графика эквивалентных давлений

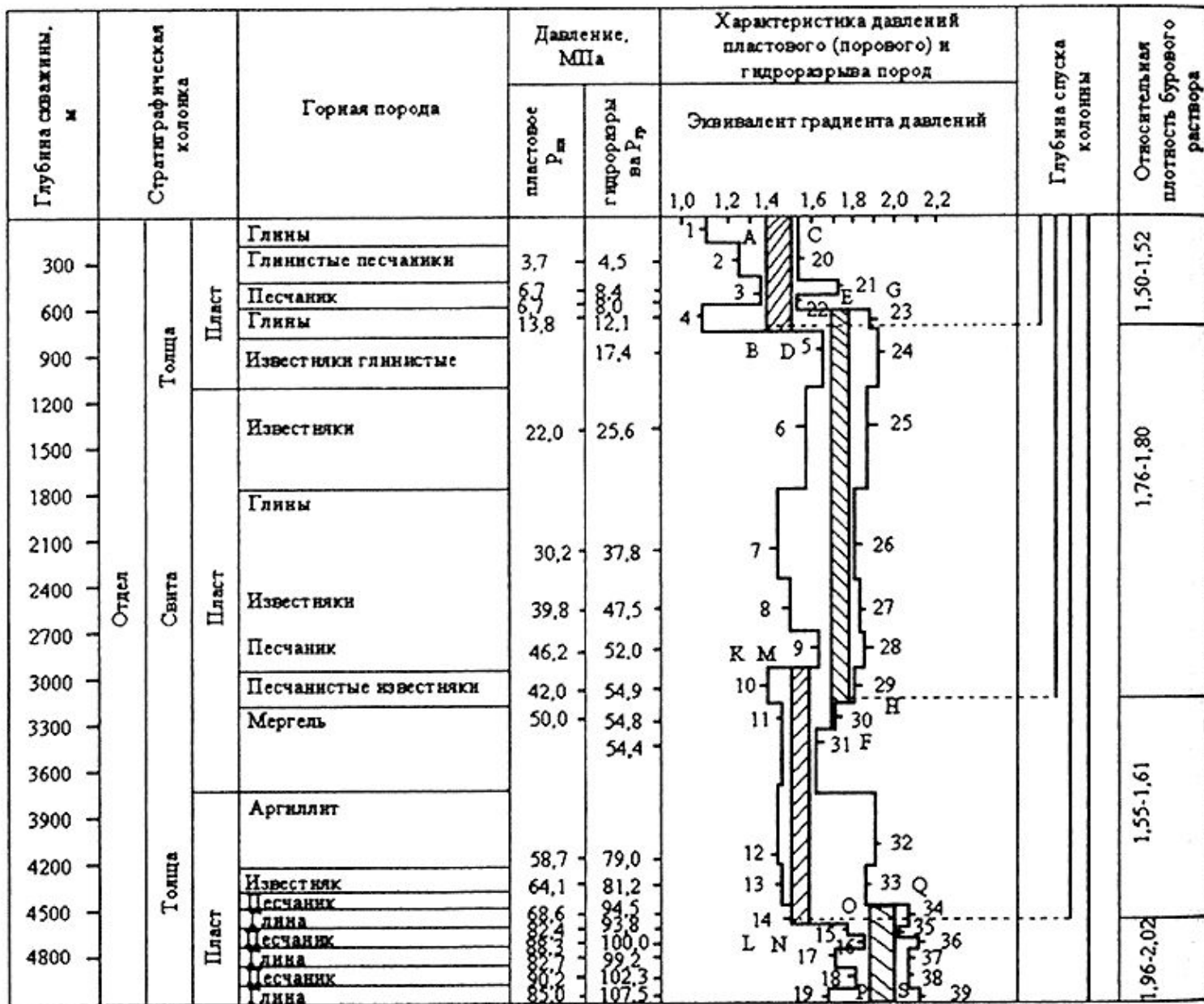
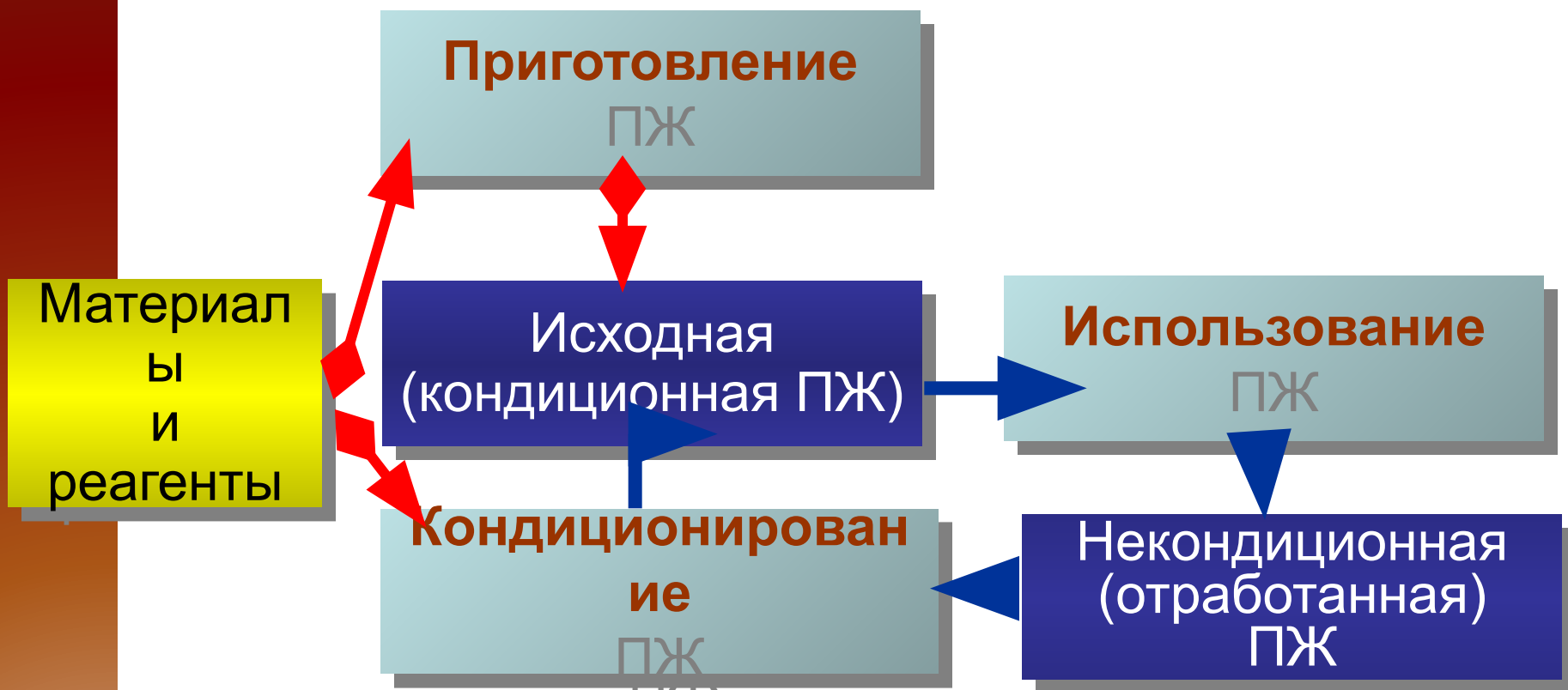


Схема процесса применения промывочной жидкости при бурении скважины





Функции буровых промывочных жидкостей (БПЖ)

Основные функции:

- 1. удалять выбуренную породу с забоя скважины;**
- 2. транспортировать выбуренную породу (буровой шлам) на поверхность;**
- 3. охлаждать долото.**
- 4. передавать гидравлическую энергию забойному двигателю.**



Функции буровых промывочных жидкостей (БПЖ)

Дополнительные функции:

- 1. создавать достаточное давление на вскрытые скважиной пласты, чтобы исключить газонефтеводопроявление;**
- 2. образовывать на стенках скважины тонкую, но прочную и малопроницаемую фильтрационную корку, предотвращающую проникновение ПЖ или ее фильтрата в породы;**
- 3. удерживать во взвешенном состоянии твердую фазу при временном прекращении циркуляции;**



Функции буровых промывочных жидкостей (БПЖ)

Дополнительные функции:

- 4.** снижать трение между породой и долотом, между стенками скважины и БК;
- 5.** снижать вес БК или ОК, находящейся в скважине за счет выталкивающей силы, уменьшая нагрузку, действующую на подъемный механизм БУ.



Требования к БПЖ

- 1.** облегчать разрушение породы долотом или, по крайней мере, не затруднять процесс разрушения и удаления обломков с поверхности забоя;
- 2.** не ухудшать коллекторские свойства продуктивных пластов;
- 3.** не вызывать коррозию и износ бурильного инструмента и бурового оборудования;
- 4.** обеспечивать получение достоверной геолого-геофизической информации при бурении скважины;



Требования к БПЖ

- 5.** не растворять и не разупрочнять породы в стенках скважины, сохраняя ее номинальный диаметр;
- 6.** обладать устойчивостью к действию электролитов, температуры и давления;
- 7.** обладать низкими пожаровзрыво-опасностью и токсичностью, высокими гигиеническими свойствами;
- 8.** быть экономичной, обеспечивая низкую стоимость метра проходки.

Ни одна из известных ПЖ не является универсальной !



Единой, общепринятой классификации буровых растворов не существует!

Большинство БПЖ представляет собой сложные многокомпонентные дисперсные системы.

Дисперсная система - раздробленная система, в которой одно вещество раздроблено (диспергировано) и распределено в другом веществе.

Вещество, которое диспергировано, называется **дисперсной фазой**,

а среда, в которой это вещество распределено, – **дисперсионной средой**.

Системы, состоящие из одной фазы, называются **гомогенными**,

системы, состоящие из двух и более фаз и имеющие поверхность раздела между фазами, – **гетерогенными**.



Дисперсная фаза и дисперсионная среда

К **гомогенным** относятся истинные (молекулярные) растворы веществ.

К **гетерогенным** – **коллоидные растворы, суспензии, эмульсии, пены**.

БПЖ – это многокомпонентные двух- или трехфазные гетерогенные системы.

У гетерогенных систем **дисперсионная среда** представлена жидкостью (**вода, нефть, дизельное топливо, синтетическая жидкость**), а **дисперсная фаза**:

- **твердыми частицами** глины, утяжелителей, наполнителей (**суспензии**);
- **жидкостью**, нерастворимой в дисперсионной среде, например нефтью, дизельным топливом (**эмульсии**);
- **газом** (**пены и аэрированные жидкости**).



Классификация типов дисперсных систем (БПЖ)

Дисперсные системы классифицируют по:

- *фазовому состоянию дисперсионной среды;*
- *природе дисперсионной среды;*
- *степени дисперсности;*
- *фазовому состоянию дисперсной фазы;*
- *методу получения дисперсной фазы;*
- *природе дисперсной фазы.*



Классификация БПЖ по числу фаз и составу дисперсной среды





Классификация БПЖ по количеству твёрдой фазы

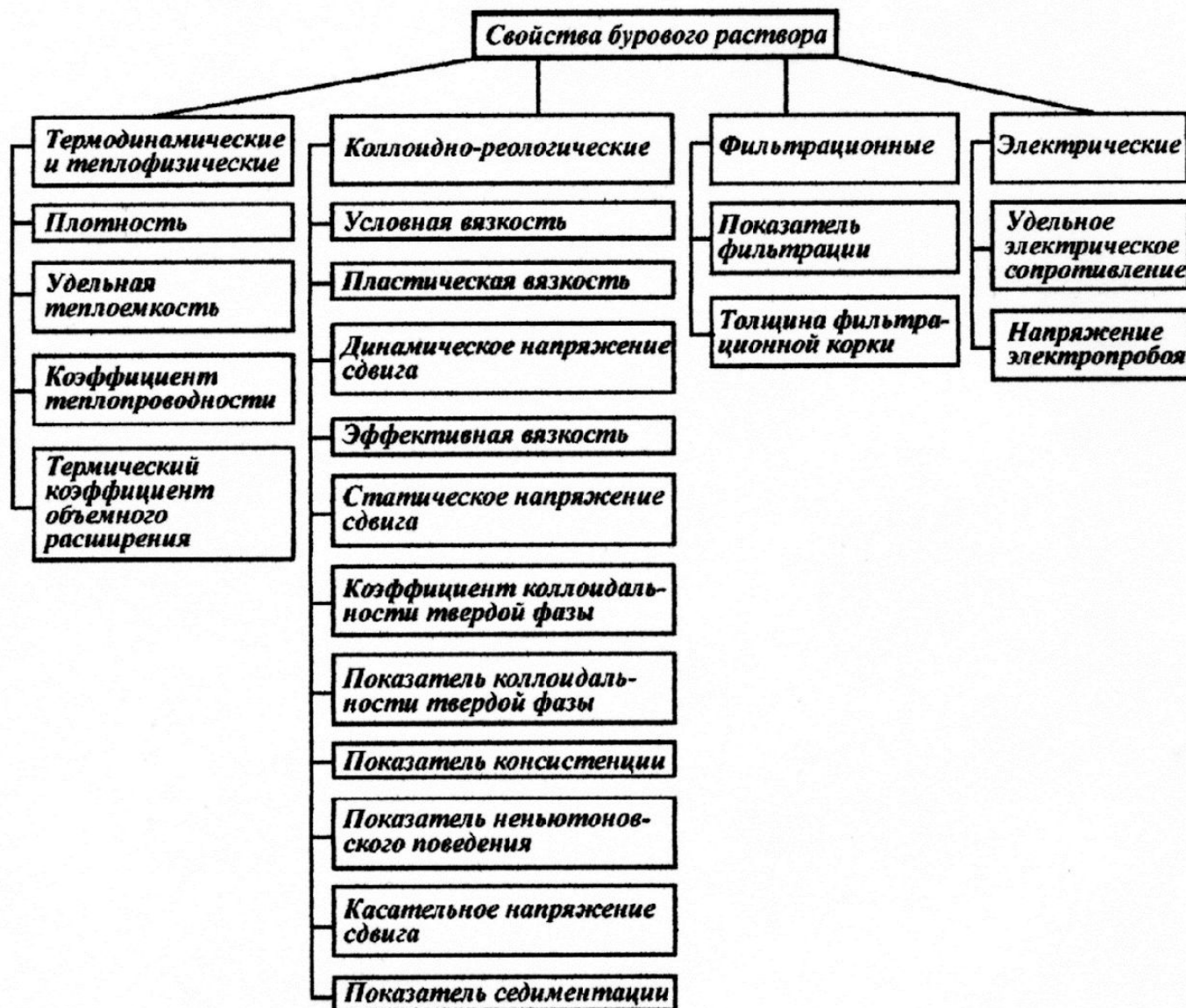
- 1. С малым содержанием твердой фазы 5-7%,**
- 2. С нормальным содержанием твердой фазы до 15%,**
- 3. С повышенным содержанием твердой фазы более 15%.**



Классификация буровых растворов по природе дисперсионной среды

1. Буровые растворы на водной основе;
2. Буровые растворы на углеводородной (нефтяной) основе;
3. Газообразные растворы (промывочные агенты).

Основные свойства буровых растворов





Свойства БПЖ

Свойства	Показатели
Физические	Плотность, относительная плотность
Реологические	Условная, динамическая и пластическая вязкость вязкости; Динамическое напряжение сдвига; Коэффициент пластичности; Показатель неньютоновского поведения; Показатель консистенции; Эффективная вязкость при скорости сдвига 100 с^{-1} , полностью разрушенной структуре и др. При
Структурно-механические	Статическое напряжение сдвига (через 1 мин через 10 мин); Коэффициент тиксотропии
Фильтрационно-коркообразующие	Фильтратоотдача (показатель фильтрации статической, динамической, мгновенной); Толщина фильтрационной корки; Прихватоопасность фильтрационной корки (напряжение сдвига, липкость, коэффициент трения и коэффициент сдвига корки и др).



Свойства	Показатели
Электрохимические	Удельное электрическое сопротивление; Электростабильность; Водородный показатель
Теплофизические свойства	Температура; Коэффициенты температуропроводности, теплопроводности; Удельная теплоемкость и др.
Устойчивость к внешним воздействиям	Термостойкость; Солестойкость; Недиспергирующая способность; Флокулирующая способность; Микробиологическая устойчивость; Агрегативная устойчивость
Триботехнические	Коэффициенты трения скольжения и трения качения; Интенсивность износа материала; Продолжительность работы пары трения без заедания; Диаметр пятна износа; Нагрузка заедания и др.

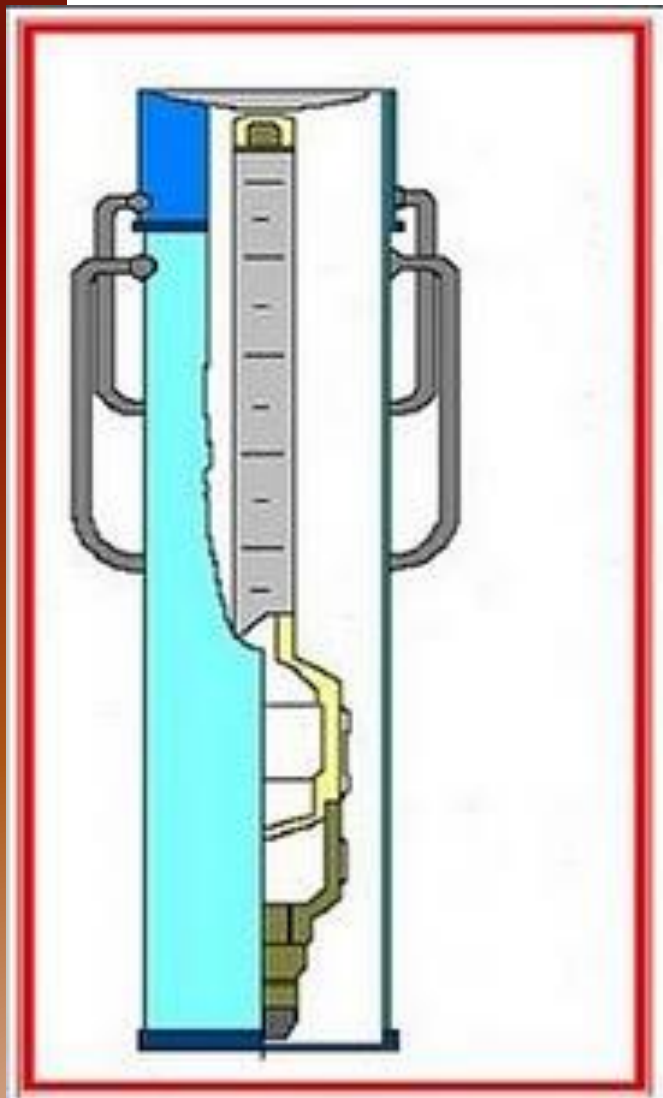


Свойства	Показатели
Седиментационная устойчивость	Стабильность; Суточный отстой (показатель седиментации)
Коррозионная активность	Коэффициент коррозии
Поверхностное натяжение фильтрата ПЖ	Поверхностное натяжение на границе с газом, на границе с углеводородной жидкостью
Консолидирующая способность	Коэффициент консолидации
Ингибирующая способность	Обобщенный показатель устойчивости; Показатель увлажняющей способности; Коэффициент устойчивости, Коэффициент разупрочнения, Коэффициент набухания и др.

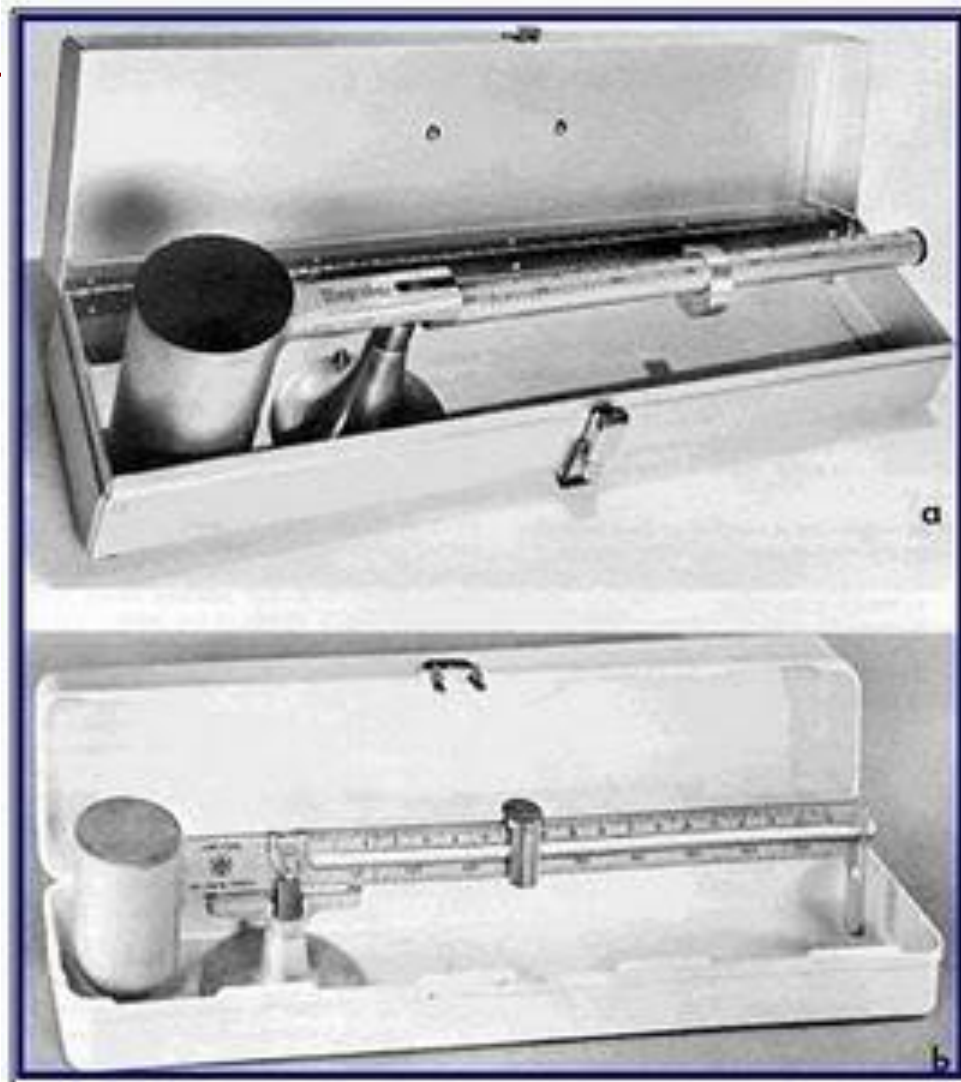


1. Плотность ρ , кг/м³

Масса вещества (БПЖ) в единице объема



Ареометр



Весы



2. Условная вязкость $УВ, с$

Косвенно характеризует гидравлическое сопротивление течению.

Определяется временем истечения заданного объема ПЖ через вертикальную трубку.

**Воронка МАРША
(вискозиметр ВБР - 1)**





3. Показатель фильтрации Φ , см^3

Для ПЖ на водной основе - водоотдача.

Косвенно характеризует способность ПЖ отфильтровываться через стенки ствола скважины. Определяется количеством дисперсионной среды, отфильтрованной через проницаемую перегородку.

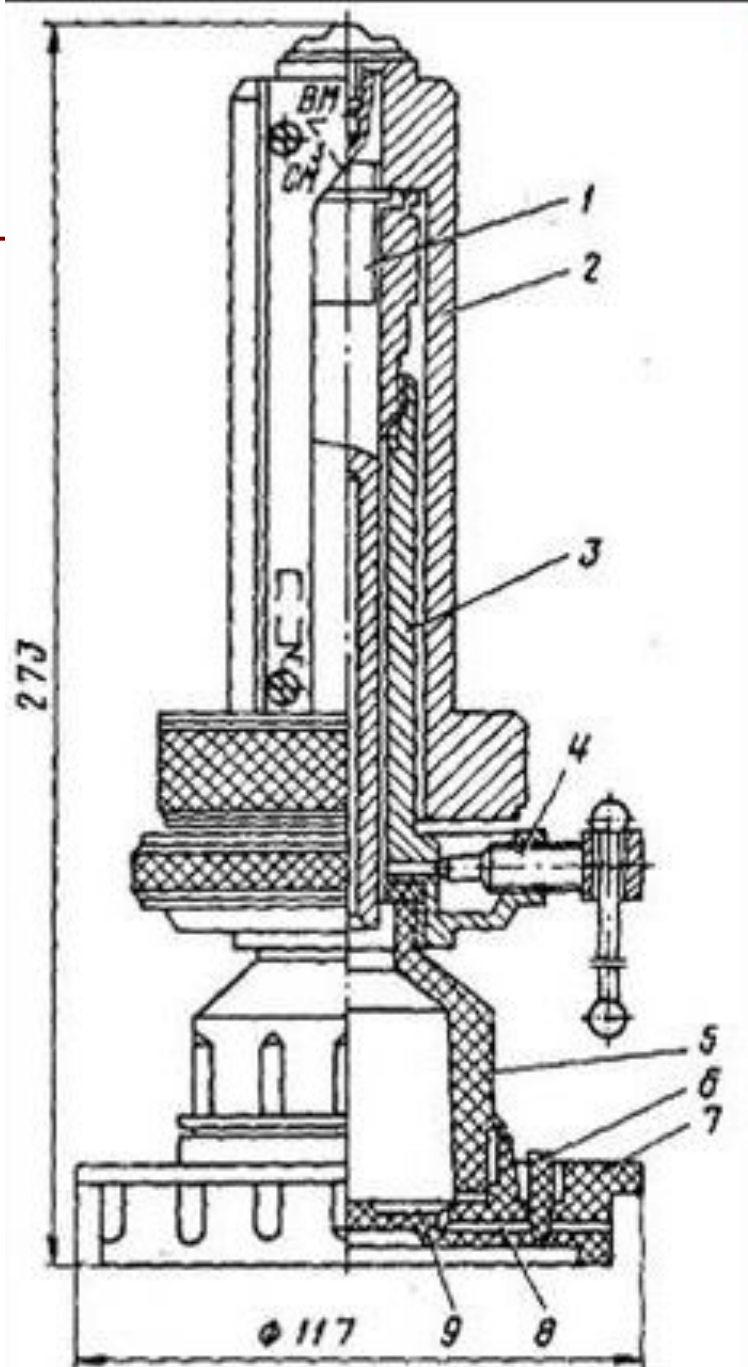
Регламентируют (площадь, перепад давления, время)

$\text{см}^3/30\text{мин}$



ВМ-6

- 1 – плунжер;
- 2 – груз-шкала;
- 3 – цилиндр;
- 4 – игольчатый клапан;
- 5 – фильтрационный стакан;
- 6 – поддон;
- 7 – поддон;
- 8 – диск клапана;
- 9 – решётка.





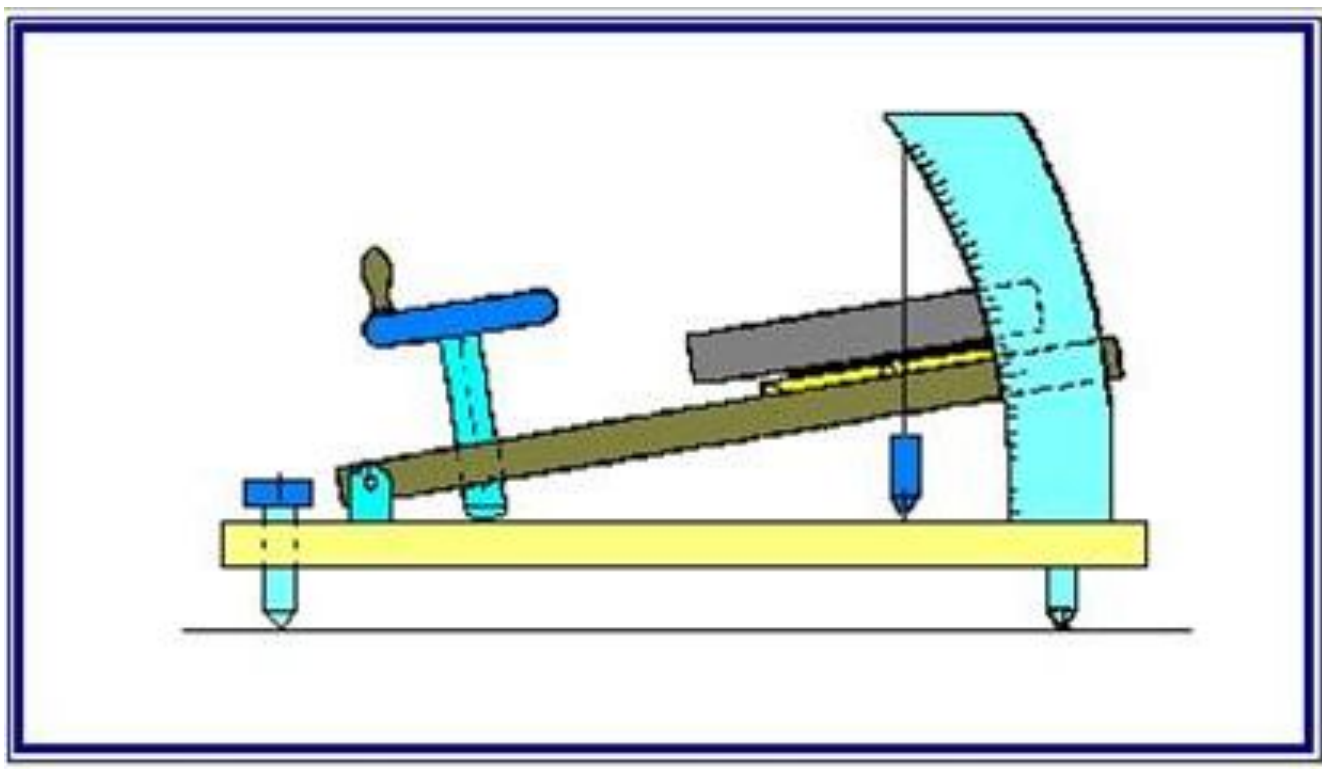
BM - 6





4. Толщина и липкость фильтрационной корки K , мм

Косвенно характеризует способность ПЖ к образованию фильтрационной корки на стенках скважины. Определяется толщиной и липкостью корки, полученной при измерении показателя фильтрации.



Прибор для определения липкости глинистой корки



5. Пластическая вязкость

η , Па·с

Характеризует темп роста касательных напряжений сдвига при увеличении скорости сдвига в случае, когда зависимость касательного напряжения сдвига от градиента скорости сдвига представлена в виде прямой (не проходящей через начало координат), определяемая углом наклона этой прямой.



6. *Динамическое напряжение сдвига*

τ_o , Па

- Косвенно характеризует прочностное сопротивление ПЖ течению. Определяется отрезком на оси касательного напряжения сдвига, отсекаемым прямой, отображающей зависимость касательной напряжения сдвига от градиента скорости сдвига при течении ПЖ.

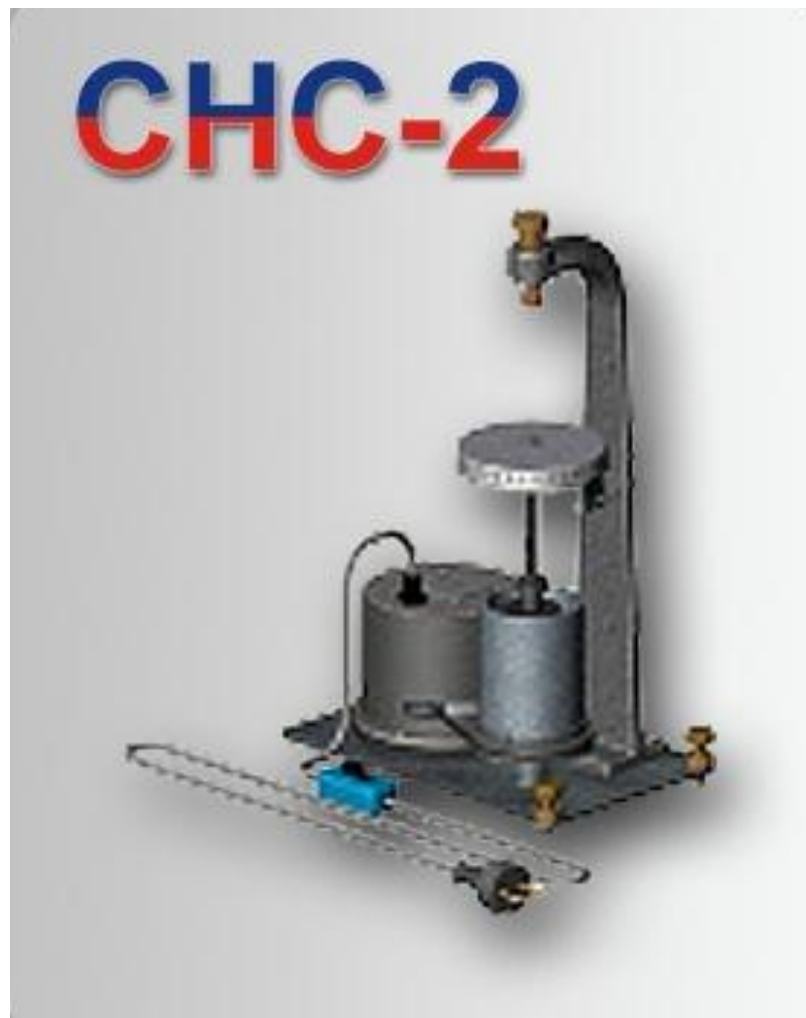


Ротационный вискозиметр



7. Статическое напряжение сдвига СНС, Па

Характеризует прочностное сопротивление ПЖ, находящейся в покое заданное время (1 и 10 мин).
Определяется касательным напряжением сдвига, соответствующим началу разрушения ее структуры.





8. Водородный показатель

pH

Характеризует активность или концентрацию ионов водорода в ПЖ.

Равен отрицательному десятичному логарифму активности или концентрации ионов водорода.

Обзор Различных Типов Систем Буровых Растворов и Продуктов

Типы систем бурового раствора	Применение
<u>Воздух / Чистая Вода</u> Воздух Пена Нефтяная пыль (туман) Чистая вода	Используется в специальных, очень редких случаях, например при бурении кавернозных известняков и твердых горных пород.
<u>Бентонитовые Буровые Растворы</u> Диспергированный гель Предварительно гидратированный Бентонит / Морская вода Известковые буровые растворы Гипсовые буровые растворы Высокотемпературные бентонитовые буровые растворы Экстендерные бентонитовые	Универсальное применение в пресной и морской воде (с предварительным гидратированием). Общие полимерные добавки.
<u>Глинистые Буровые Растворы На Основе Соленой Воды</u> Аттапульгитовые буровые растворы Сепиолитовые буровые растворы Пресная вода, морская вода или соленасыщенная вода.	Сепиолитовые буровые растворы применяются в геотермальных скважинах (высокая температура).
<u>Полимерные Буровые Растворы</u> Недиспергирующий полимер КС1 / Полиакриламид Высокотемпературный полимер Соленасыщенный полимер Буровой раствор на основе смешанных солей	Универсальное применение в пресной воде, морской воде или минерализованной воде.
<u>Буровые Растворы На Углеводородной Основе</u> Буровые растворы на углеводородной основе Инвертные эмульсионные буровые растворы (Дизель или низкотоксичная сырая нефть)	Специальное применение, например для участка сланцев или участка солей. Скважины с большим углом отклонения. Очень дорогостоящие скважины (Лучшая скорость проходки).

Преимущества Полимерных Буровых Растворов Перед Бентонитовыми Буровыми Растворами

- Многосторонность

Нет причины для флокуляции

Пресная вода, морская вода или минерализованная вода

Быстрые смешивание и выход бурового раствора.

- Обеспечение

Меньшие количества для транспортировки и хранения на буровой (действительно подходящие только для буровых растворов с низкой плотностью).

- Лучшая Реология

Большее сдвигообразование

Можно уменьшить потери давления в турбулентном потоке.

- Стабилизация Сланцев

Полиакриламидные / полиакрилатные сополимеры.

- Более Низкое Содержание Твердой Фазы

Скорость проходки Более низкие плотности.

Преимущества Буровых Растворов на Углеводородной Основе Перед Буровыми Растворами на Водной Основе

- Хорошие скорости проходки и более продолжительная работоспособность долота (при долотах PDC).
- Уменьшение времени на СПО и меньше времени расходуется на расширение ствола.
- Превосходное ингибирование активных сланцев и глин.
- Термостойкость.
- Меньше факторов, способных нарушить коллекторские свойства нефтя- пластов.
- Высокая смазывающая способность, низкий крутящий момент.
- Хорошая коррозионная защита, особенно от H_2S .
- Ствол номинального диаметра, (дающий лучшую информацию при каротаже).
- Хороший контроль за водоотдачей (статической и динамической). Меньше шансов для прихвата трубы.
- Допустимо высокое избыточное содержание твердой фазы (важно в скважинах с высоким давлением).
- Интервалы соли нерастворимы.
- Хороший раствор для отбора керна.
- Более широкий диапазон плотностей, чем у буровых растворов на водной основе.

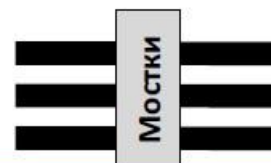
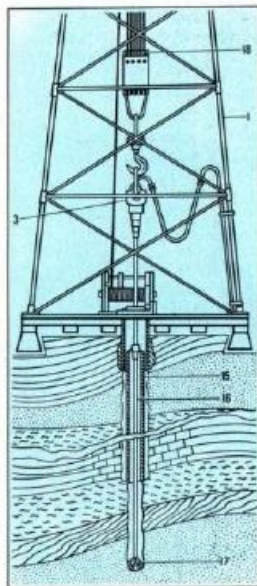
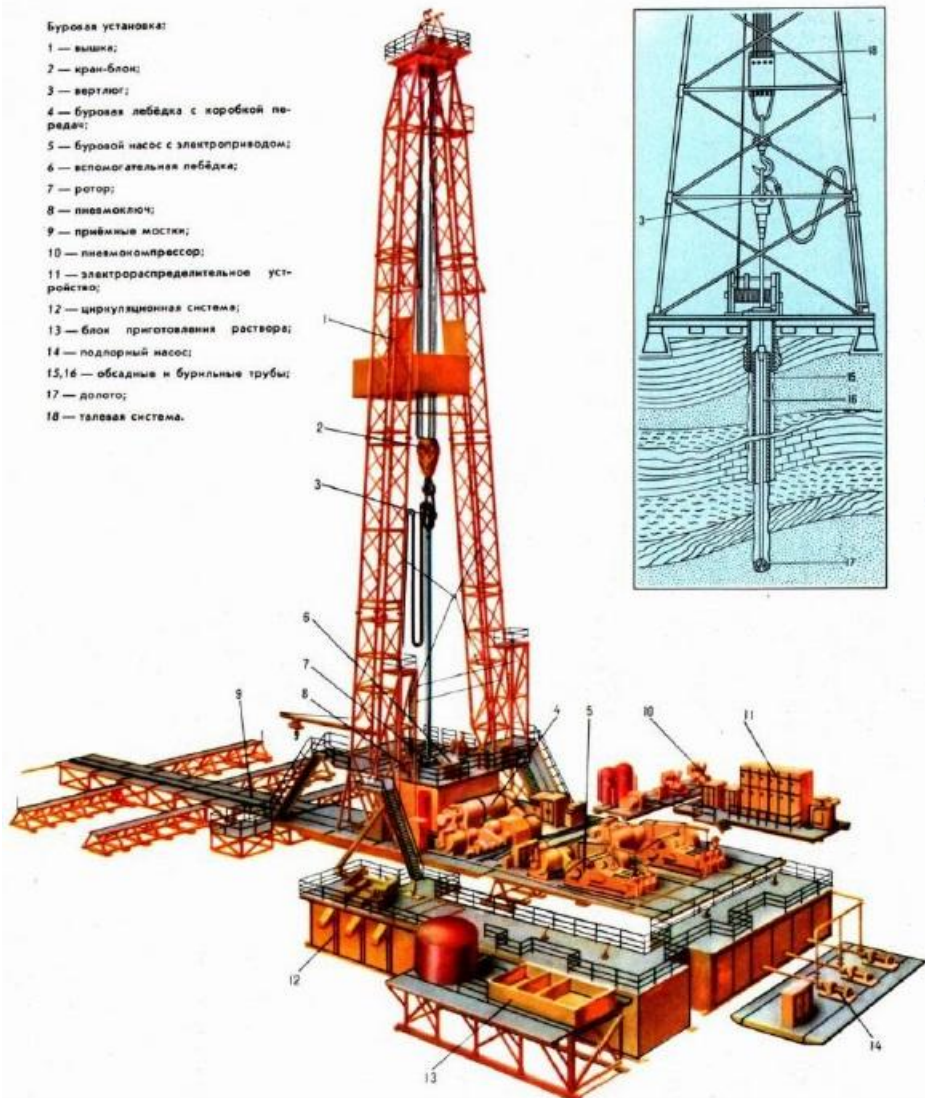
Недостатки Буровых Растворов на Углеводородной Основе

- Высокая первоначальная стоимость (обычно более высокая, чем компенсация за счет сокращения времени проведения работ на буровой).
- Не может обеспечить получение диаграммы каротажа сопротивляемости или диаграммы каротажа наклона (падения) пласта*.
- Может повреждать газовые пласты за счет внезапного прекращения поступления промывочной жидкости или эмульсии на забой во время бурения.
- Затруднено определение выбросов газа, так как газ растворим в нефти.
- Увеличение проблем с обеспечением буровой (специальные суда для доставки бурового раствора на углеводородной основе, емкости хранения, и т.д.).
- Загрязняет окружающую среду.
- Определение признаков наличия сырой нефти может быть затруднено.
- Недавно разработанные каротажные диаграммы, находящиеся в настоящее время на испытаниях, могут быть использованы в буровых растворах на углеводородной основе

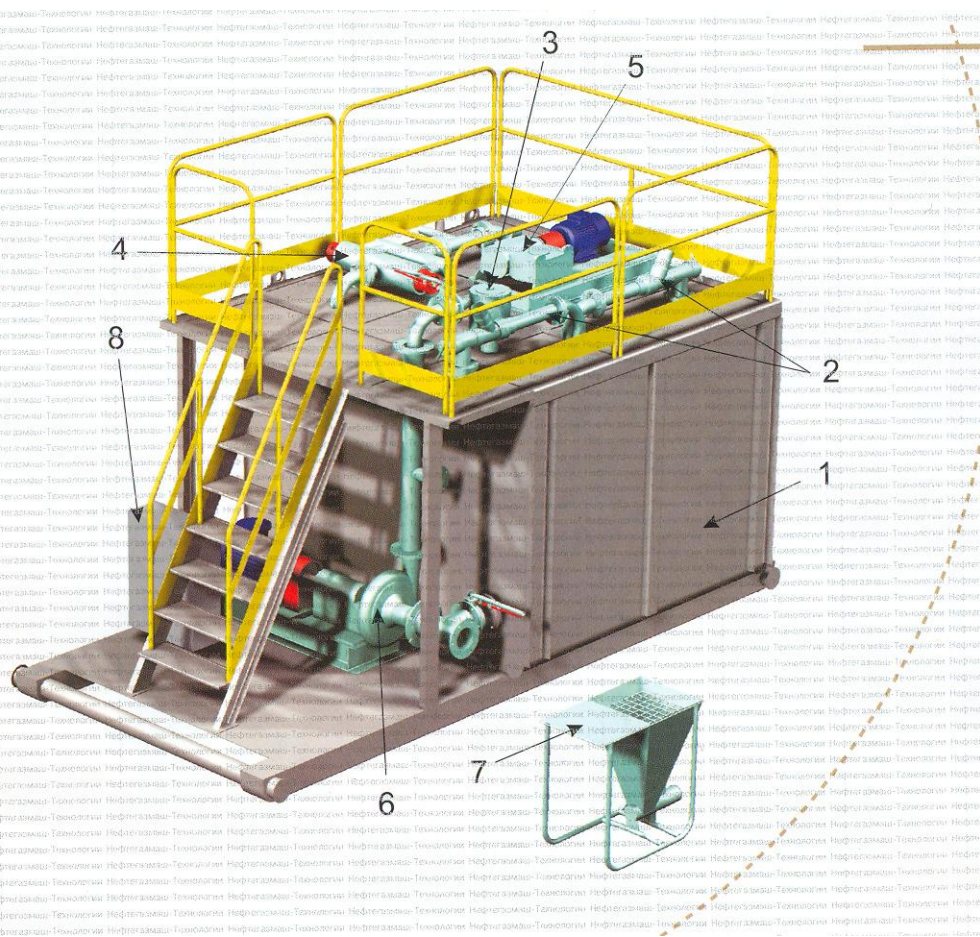
Принципиальная схема БУ

Буровая установка:

- 1 — вышка;
- 2 — кран-блок;
- 3 — вертлюг;
- 4 — буровая лебёдка с коробкой передач;
- 5 — буровой насос с электроприводом;
- 6 — вспомогательная лебёдка;
- 7 — ротор;
- 8 — пневмоключ;
- 9 — приёмные мостки;
- 10 — пневмокомпрессор;
- 11 — электрораспределительное устройство;
- 12 — циркуляционная система;
- 13 — блок приготовления раствора;
- 14 — подлорный насос;
- 15,16 — обсадные и буровые трубы;
- 17 — долото;
- 18 — талевая система.



Блок Приготовления Раствора



БПР-Т-1

Объемная

производительность до 20 м³/ч

- 1 – Резервуар 10 м³
- 2 – Смеситель СМ-100
- 3 – Диспергатор ДШ-100
- 4 – Диспергатор гидравлический ДГ-2
- 5 – Перемешиватель ПБР-Т 7,5
- 6 – Насос 6Ш8-2
- 7 – Воронка переносная
- 8 – Пульт управления

Смесители

Назначение: для приготовления буровых растворов на водной основе и углеводородных эмульсий путем смешивания порошкообразных материалов с жидкостью в высокотурбулентном потоке

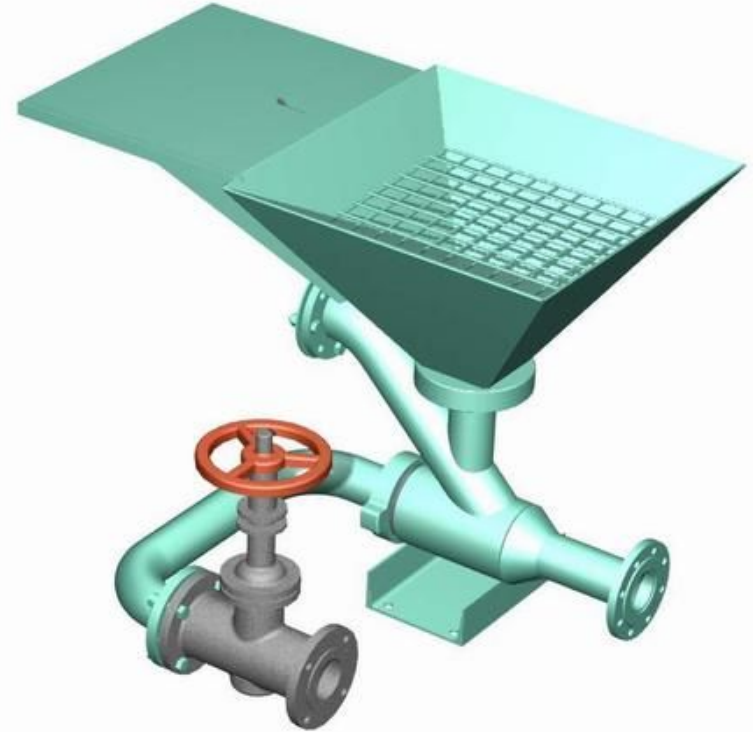
Расположение: Блок приготовления растворов

Система: Циркуляционная

Смеситель СМ-100



Гидросмеситель ГС-Т-40



Диспергатор ДШ-100

Назначение: для диспергирования твердой и эмульгированной жидкой фаз растворов на водной и углеводородной основе

Расположение: на приемных и накопительных ёмкостях

Система: Циркуляционная



Принцип измельчения компонентов раствора- гидромеханический.
Тип насоса для подачи раствора в диспергатор - центробежный шламовый.

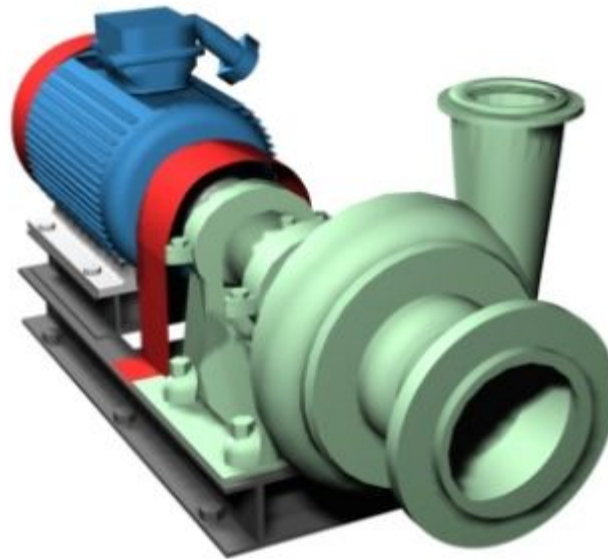
Производительность	до 15 м куб./ч
Давление на входе в диспергатор	0,3- 0,6 МПа
Габаритные размеры не более	590x515x375 мм
Масса не более	49 кг

Шламовый насос 6Ш8-2

Назначение: для перекачки гидросмесей с мелкой твердой фракцией плотностью 1200-1500 кг/м³, объемной концентрацией твердых включений до 25%. Твердость взвешенных частиц не более 3 по шкале Мооса. Крупность отдельных взвешенных частиц не более 20 мм. Температура перекачиваемой шламовым насосом гидросмеси 4 +40°C.

Расположение: Блок очистки
БР

Система: Циркуляционная



Ёмкость 40 куб.м.

Назначение: хранение бурового раствора

Расположение: Блок очистки, в обвязке циркуляционной системы

Система: Циркуляционная



длина	8500 мм
ширина	4050 мм
высота	2200 мм
масса	4722 кг

Насос погружной НП-12,5

Назначение: для перекачивания гидросмесей плотностью до 1300кг/м³, температурой от 5 до 60град.С, с водородным показателем рН от 6 до 9, с твердыми включениями максимальной плотностью 7400 кг/м³, объемной концентрацией до 25% с максимальным размером 6 мм и микротвердостью до 9000 МПа.

Расположение: Блок очистки БР

Система: Циркуляционная



Перемешиватели бурового раствора

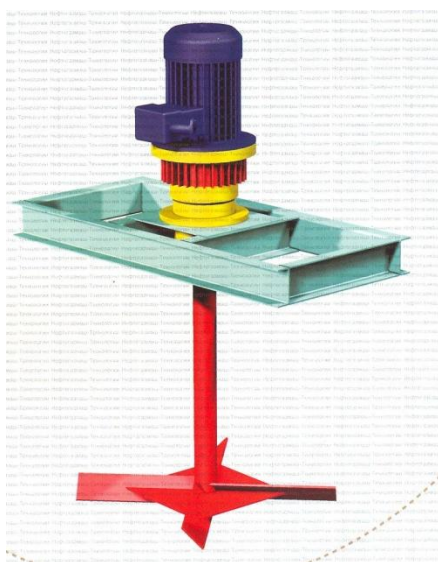
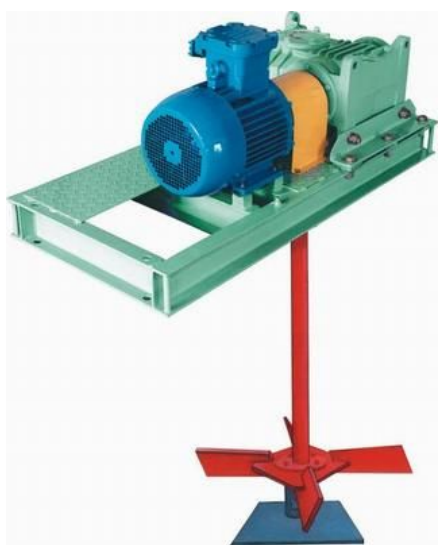
Назначение: для перемешивания БР в накопительной ёмкости с целью предотвращения образования осадка

Расположение: ёмкости хранения

Система: Циркуляционная

ПБР-Т 7,5

гидравлический 4 УПГ



Диаметр крыльчатки	900+/-20 мм
Частота вращения крыльчатки	75+/-5 об/мин
Габаритные размеры	1350 x 900 x 2450 мм
Масса не более	500 кг

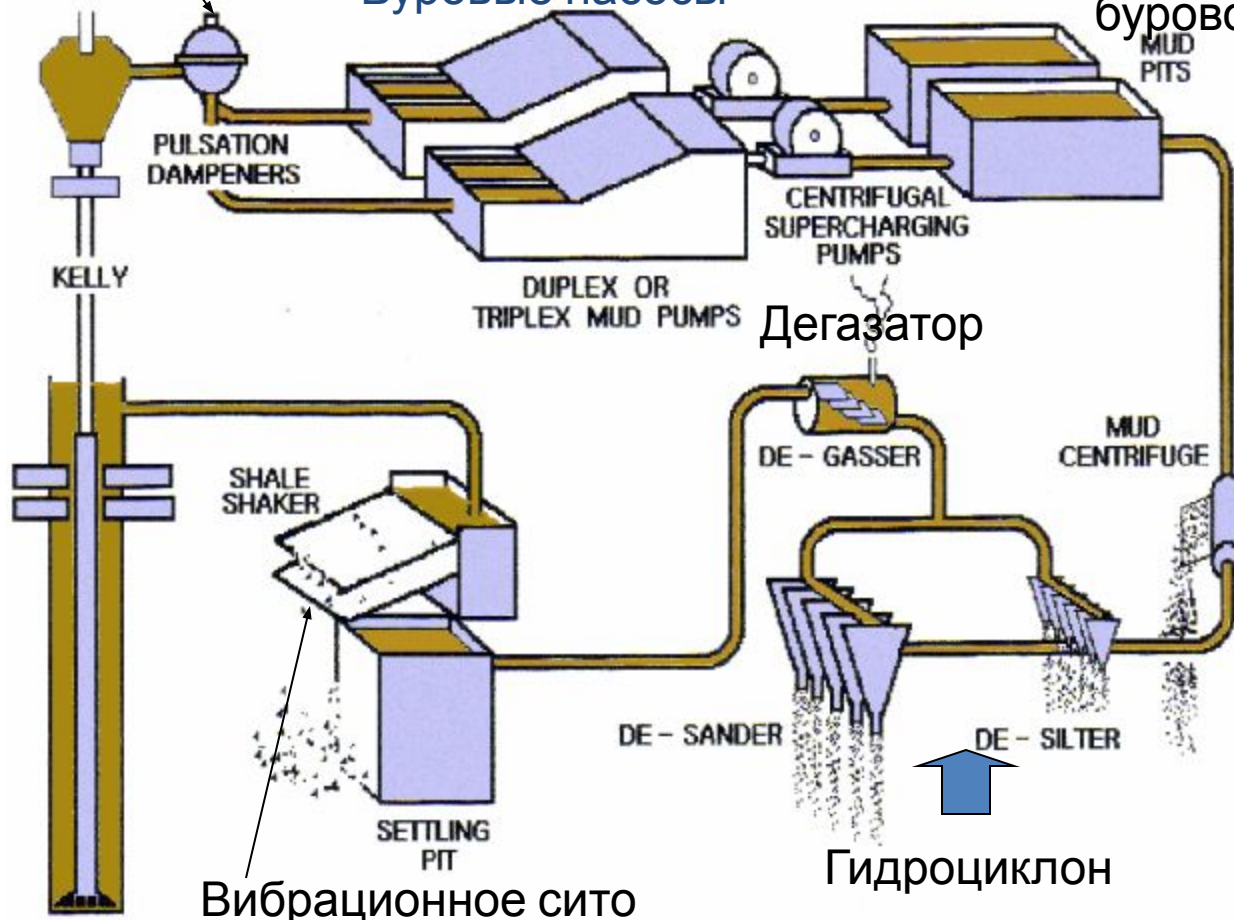
Максимальное рабочее давление	4 МПа
Принцип действия	гидравлический
Габаритные размеры	2185 x 308 x 160 мм
Масса не более	24,5 кг

Оборудование для промывки скважины

Пневмокомпенсаторы

Буровые насосы

Приемная емкость для бурового раствора
MUD PITS



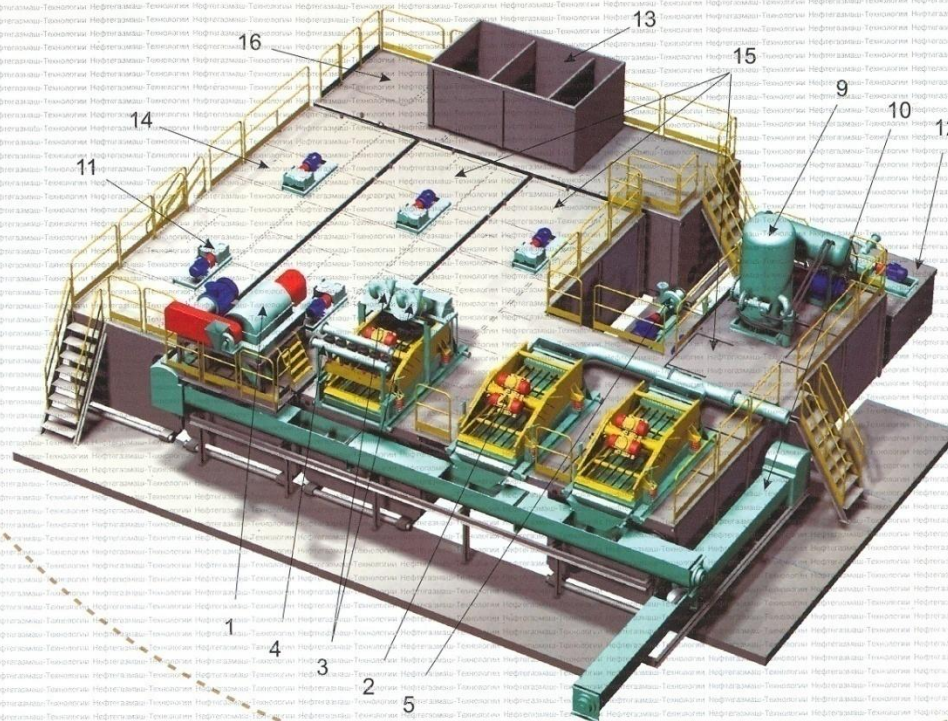
Дегазатор

Вибрационное сито

Гидроциклон

Блок Очистки Бурового Раствора

Система Циркуляционная СЦ-11



- | | |
|---|------|
| 1. Центрифуга типа ОГШ | 1 шт |
| 2. Вибросито ЛВС | 2 шт |
| 3. Гидроциклон ГЦ-360 | 1 шт |
| 4. Илоотделитель ИГ-Т-45 | 1 шт |
| 5. Насос 6Ш8-2 | 1 шт |
| 6. Насос НП-12,5 (не показан) | 1 шт |
| 7. Система смыва сеток (не показано) | 2 шт |
| 8. Шиберы поворотные (не показаны) | |
| 9. Дегазатор «Каскад-40.02» | 1 шт |
| 10. Конвейер винтовой КВ-Т 300 | 1 шт |
| 11. Перемешиватель ПБР-Т | 4 шт |
| 12. БПХ V=5 куб.м. | 1 шт |
| 13. Блок обработки химреагентов V=30 куб.м. | 1 шт |
| 14. Приёмная ёмкость V=40 куб.м. | 1 шт |
| 15. Накопительная ёмкость V=40 куб.м. | 2 шт |
| 16. Ёмкость для хранения воды V=40 куб.м. | 1 шт |

Буровой Насос

предназначен для нагнетания промывочных буровых растворов в скважину при бурении и других технологических операций, требующих высокого давления.

Трехплунжерный насос УНБТ-950



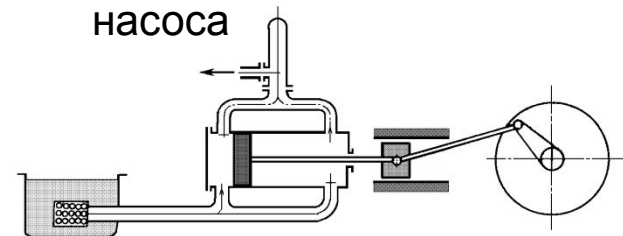
Технические характеристики

Мощность, кВт	950
Полезная мощность, кВт	750
Наибольшая идеальная подачи, л/с	46,5
Предельное давление, МПа	32
Число ходов поршней в минуту	125
Длина хода поршня, мм	290
Габариты, мм: ДхШхВ	3740x2595x1960
Масса, кг.	17620

Двухплунжерный насос УНБ-600



Кинематическая схема насоса

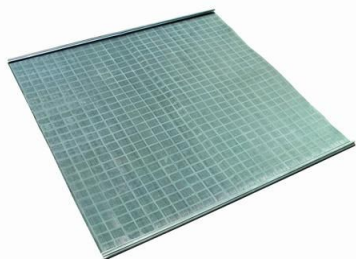
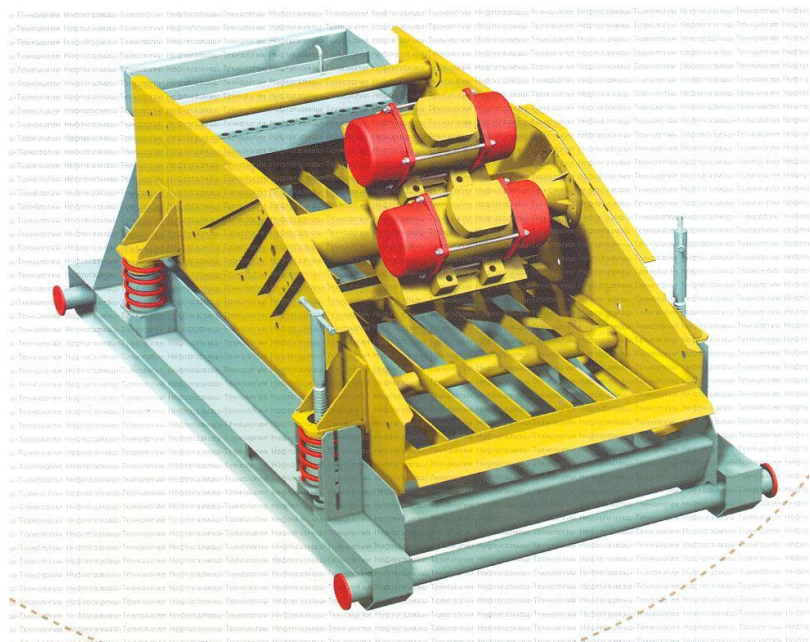


Сито Вибрационное ЛВС-М

Назначение: для очистки БР от крупных фракций выбуренной породы при бурении и КРС

Расположение: Блок очистки растворов

Система: Циркуляционная



*Кассета ситовая
трехслойная*

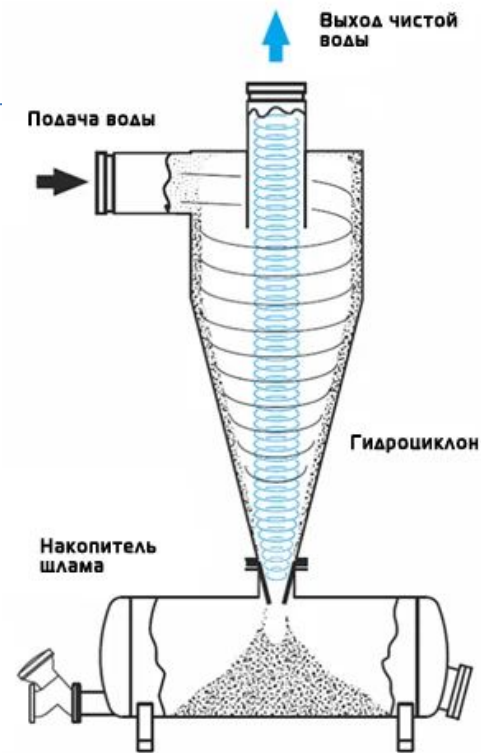
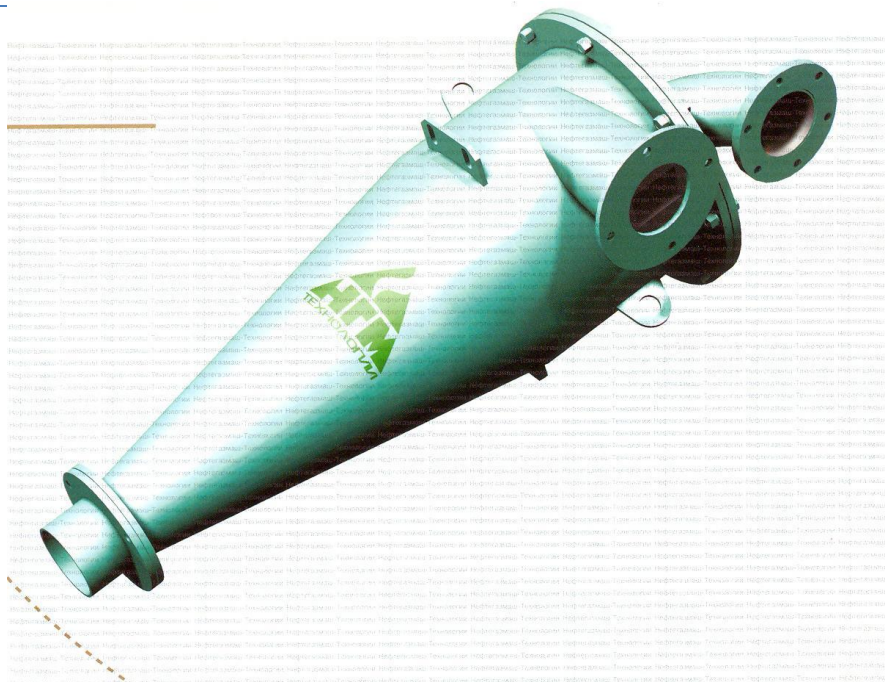


Гидроциклон пескоотделитель ГЦ-360

Назначение: для отделения твердой фазы (песка) от жидкой фазы бурового

раствора. Блок очистки раствора

Система: Циркуляционная



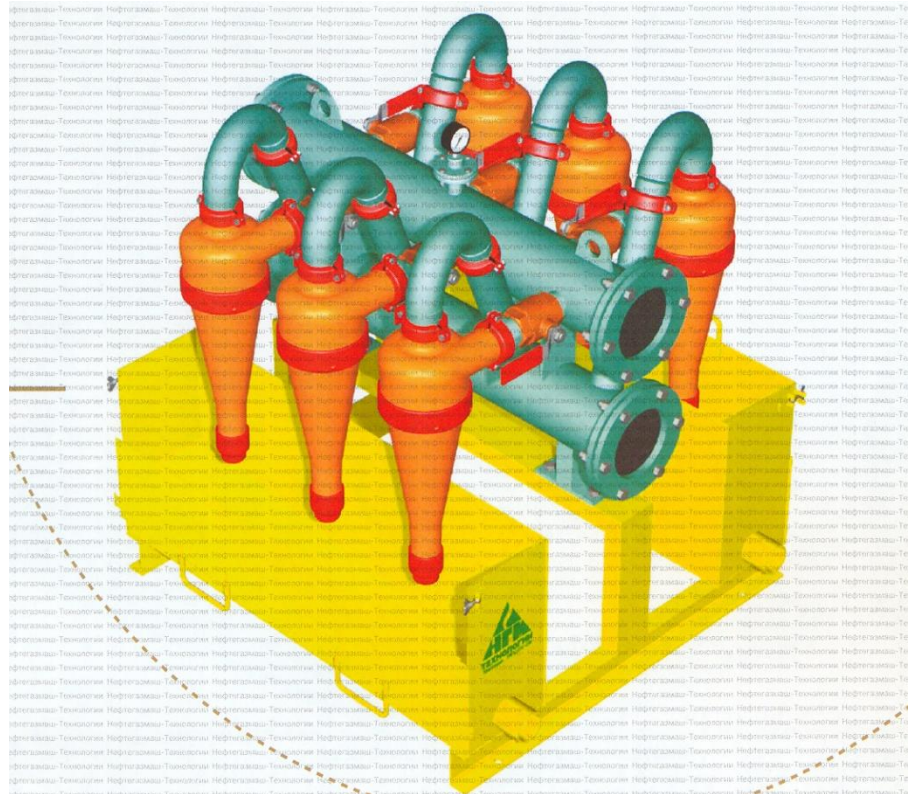
Внутренняя поверхность гидроциклона футирована карбидом кремния. Используются две регулирующие насадки диаметром 15 и 24 мм. Пропускная способность – 45 л/с. Внутренний диаметр гидроциклона 360 мм. Наименьший размер частиц плотностью 2600 кг/м³, удаляемых на 95% и более - 0,08 мм.

Илоотделитель гидроциклонный ИГ-Т-45

Назначение: для очистки неутяжеленного БР от частиц выбуренной

Породы: Блок очистки

система: Циркуляционная



Пропускная способность – 45 л/с. Внутренний диаметр гидроциклона 150 мм.

Наименьший размер частиц плотностью 2600 кг/м³, удаляемых на 95% и более -

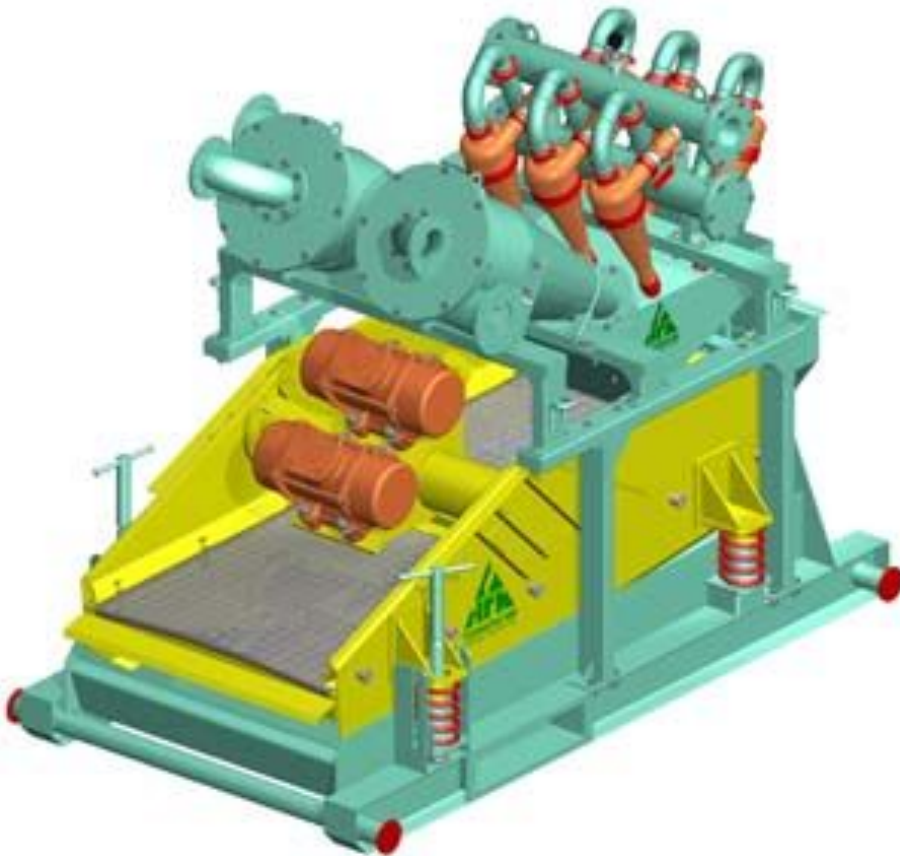
0,02 мм

Сепаратор ситогидроциклонный СГС-1М2

Назначение: для очистки бурового раствора от частиц выбуренной породы при бурении нефтяных и газовых скважин

Расположение: Блок очистки БР

Система: Циркуляционная



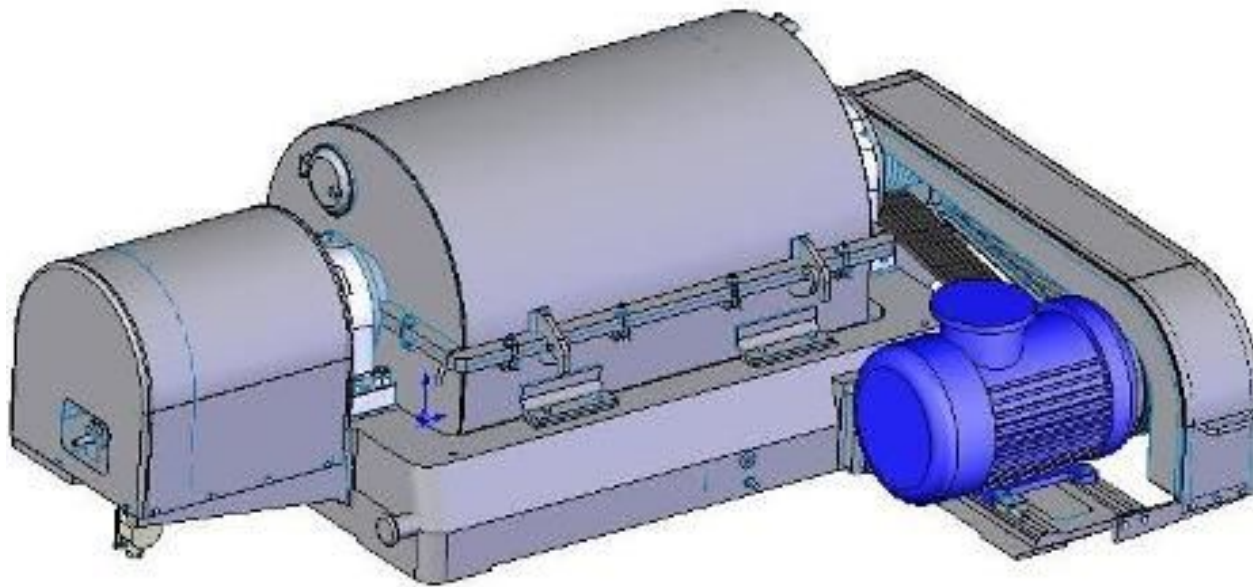
Пропускная способность	45 л/с
Наименьший размер удаляемых частиц	мм
- виброситом ЛВС-1М	0,16мм
- гидроциклоном ГЦ-360	0,08 мм
- илоотделителем ИГТ-1С	0,02 мм
Установленная мощность оборудования	3 кВт
Масса не более	3000 кг
- длина	3000 мм
- ширина	1756 мм
высота	2250 мм

Центрифуга ОГШ – 501У-01

Назначение: для обезвоживания осадков сточных вод и для разделения суспензий высокой и средней дисперсности с твердой фазой

Расположение: Блок очистки растворов

Система: Циркуляционная



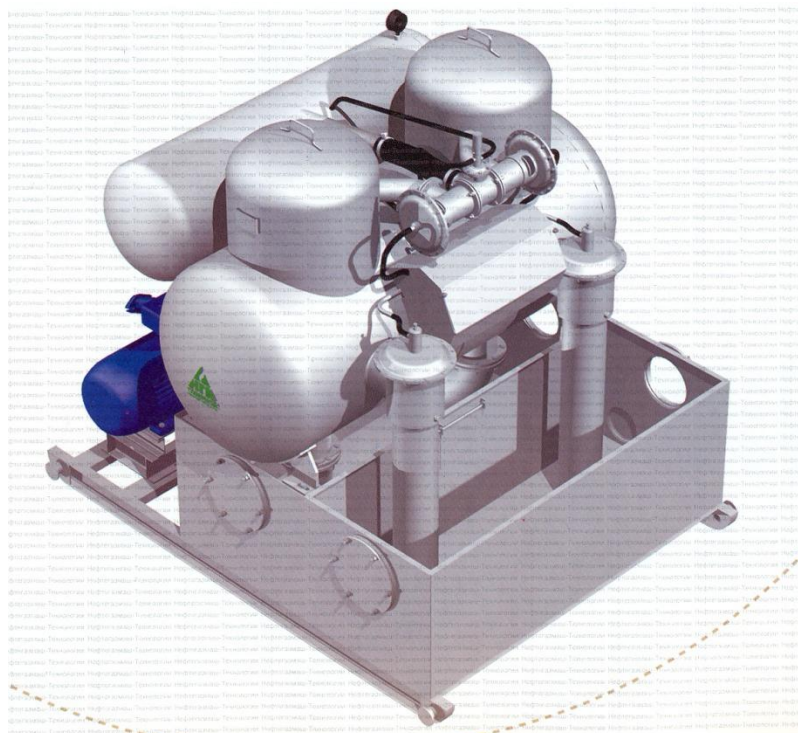
осадительная горизонтальная непрерывного действия со шнековой выгрузкой осадка, концентрация Т:Ж в пределах 1:4-1:10, при температуре до 80С

Дегазатор Вакуумный Самовсасывающий ДВС-3

Назначение: для дегазации буровых растворов с различными свойствами с целью восстановления их удельного веса

Расположение: Блок очистки растворов

Система: Циркуляционная



автоматизированная установка циклического действия, состоящая из двух попеременно работающих вакуумных камер

Конвейер винтовой КВ-Т

Назначение: для транспортировки выбуренного шлама от блока очистки в емкости для утилизации или в амбар

Расположение: Блок очистки
растворов

Система: циркуляционная



Для предотвращения смерзания перемещающихся материалов корпус шнекового конвейера оборудован паровой рубашкой. Конвейер винтовой представляет собой сборный трехсекционный желоб с расположенным внутри подающим шнеком.

Амбар



Создание амбара

вырытый котлован покрыт
специальным
герметизирующим
материалом



Рабочий процесс

амбар заполнен отходами
производства



Рекультивация

Оходы выкачиваются из
амбара и вывозятся на пункт
переработки. Снимается
покрытие. Котлован
засыпается землей

Котлован, вырытый возле буровой установки, стенки которого заложены специальным герметизирующим материалом. Предназначен для сбора отходов бурения – шлама, сточных вод с буровой. После окончания бурения место под амбаром подлежит рекультивации

Гидравлический расчет

1. Вычислим скорости движения потока для каждого интервала:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{4 * Q}{\pi d^2}$$

Для кольцевого пространства:

$$V_{\text{кн1}} = \frac{4 * Q}{\pi d_1^2} = \frac{4 * Q}{\pi (d_{\text{дол}}^2 - d_{\text{БТ}}^2)} \text{ м/с}$$

Для трубного пространства:

$$V_{\text{мп1}} = \frac{4 * Q}{\pi d_{\text{УБТ(ВН)}}^2} \text{ м/с}$$

2. Вычислим числа Рейнольдса для каждого интервала:

$$Re = \frac{Vd\rho}{\mu}$$

Для кольцевого пространства:

$$Re_{\text{кн1}} = \frac{V_{\text{кн1}} * (d_{\text{дол}} - d_{\text{БТ}}) * \rho}{\mu}$$

Для трубного пространства:

$$Re_{\text{мп1}} = \frac{V_{\text{мп1}} * d_{\text{УБТ(ВН)}} * \rho}{\mu}$$

Гидравлический расчет

3. Вычислим числа Хендстрена для каждого интервала:

$$He = \frac{\rho \tau_0 d^2}{\mu^2}$$

Для кольцевого пространства:

$$He_{\text{кпл}} = \frac{\rho \tau_0 (d_{\text{дол}} - d_{\text{БГ}})^2}{\mu^2}$$

Для трубного пространства:

$$He_{\text{трп}} = \frac{\rho \tau_0 d_{\text{УБГ(ВН)}}^2}{\mu^2}$$

4. Вычислим критические числа Рейнольдса для каждого интервала:

$$Re_{\text{кр}} = 2100 + 7,3 \cdot He^{0,58}$$

5. Сравним значения критических чисел Рейнольдса с числами Рейнольдса в каждом интервале и определим режим течения жидкости:

6. Вычислим потери давления по длине в кольцевом пространстве при ламинарном режиме течения:

$$\Delta P_{\text{лн}} = \frac{4 \cdot \tau_0 \cdot l}{\beta \cdot d}$$

Вычислим числа Сен-Венана для кольцевого пространства по формуле:

$$Se = \frac{\tau_0 d}{\mu V}$$

Из графика зависимости $\beta(Se)$, приведенном в теоретической части, определяем параметр β

7. Вычисляем потери давления по длине в кольцевом пространстве:

$$\Delta P_{\text{лн}} = \frac{4 \cdot \tau_0 \cdot l}{\beta \cdot (d_{\text{дол}} - d_{\text{н}})}$$

Вычислим числа Сен-Венана для кольцевого пространства по формуле:

$$Se_{\text{лн}} = \frac{\tau_0 \cdot \pi \cdot (d_{\text{дол}} - d_{\text{н}})^2 (d_{\text{дол}} + d_{\text{н}})}{4 \cdot \eta \cdot Q}$$

Из графика зависимости $\beta(Se)$, приведенном в научной литературе, определяем параметр β

$$\Delta P_{\text{кн1}} = \frac{4\tau_0 l_1}{\beta_1(d_{\text{оол}} - d_{\text{БТ}})} \text{ Мпа}$$

8. Вычисляем потери давления по длине в трубном пространстве:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda \frac{\rho v^2}{2d} l$$

$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{\text{Re}} + \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}$ – Формула Альтшуля, где Δ - абсолютный коэффициент

шероховатости труб. Для новых стальных труб $\Delta = 6 \cdot 10^{-5}$ м.

$$\Delta P_{\text{тр1}} = \lambda_{\text{тр1}} \frac{\rho v_{\text{тр1}}^2}{2d_{\text{УБТ(ВН)}}} l_1 \text{ Мпа}$$

9. Рассчитаем давления в точках:

$P_1 = 0$ (расчет идет в избыточных измерениях)

$$P_2 = P_1 + \Delta P_{1.\text{зкп}} + \Delta P_{\text{кн1}} + \rho \cdot g \cdot H_4 (\text{Па})$$

$$P_3 = P_2 + \Delta P_{2.\text{зкп}} + \Delta P_{\text{кн2}} (\text{Па})$$

$$P_{\text{зоб}} = P_3 + \Delta P_{3.\text{зкп}} + \Delta P_{\text{кн3}} (\text{Па})$$

$$P_4 = P_{\text{зоб}} + \Delta P_4 (\text{Па})$$

$$P_5 = P_4 + \Delta P_{5.\text{збт}} + \Delta P_{\text{тр5}} (\text{Па})$$

$$P_6 = P_5 + \Delta P_{6.\text{збт}} + \Delta P_{\text{тр6}} (\text{Па})$$

$$P_7 = P_6 + \Delta P_{7.\text{збт}} + \Delta P_{\text{тр7}} (\text{Па})$$

$$P_8 = P_7 + \Delta P_{8.\text{збт}} + \Delta P_{\text{тр8}} - \rho \cdot g \cdot H (\text{Па})$$

$$P_9 = P_8 + \Delta P_{\text{обс}} (\text{Па})$$

Зависимость давления от глубины скважины

