

Семинарские занятия по дисциплине
«Техника и технология строительства нефтяных и
газовых скважин».

Семинар №14

Тампонажные растворы и оборудование для их
приготовления.

Цементирование обсадных колонн

Цементирование обсадной колонны это процесс заполнения ствола скважины раствором вяжущих материалов, который в соответствии заданными технологическими параметрами (*сроки схватывания и твердения*) превращается в прочный непроницаемый камень.

применяют для:

- упрочнения крепи скважины за счёт создания кольца из тампонажного камня вокруг обсадной колонны;
- герметизации заколонного пространства ствола и изоляции друг от друга проницаемых пластов, вскрытых скважиной;
- защиты обсадных труб от коррозии агрессивными пластовыми жидкостями и газами и др.

Требования к качеству разобращения пластов

Разобщающая среда должна:

- быть герметичной при существующих перепадах давления между проницаемыми пластами и скважиной;
- постоянно иметь плотный контакт с окружающими горными породами и со стенкой обсадной колонны, герметичность которого не должна нарушаться под влиянием внешних нагрузок;
- быть долговечной, не разрушаться под действием пластовых флюидов, изменения температур;
- не должна терять герметичность под действием ударных нагрузок при проведении перфорации или иных работ;
- в скважинах с ММП быть морозостойкой, не разрушаться под действием циклического изменения температуры.

Выбор плотности цементного раствора

$$\rho_{\text{пл}} < \rho_{\text{скв}} < \rho_{\text{гр (погл)}}$$

$$\rho_{\text{скв}} = \rho_{\text{гст}} + \rho_{\text{гд}}$$

$$\rho_{\text{цр}} = f(\text{свойства материалов, } C\%)$$

Влияние геостатической температуры

По значению геостатической температуры выбирают тип сухого цемента

$T_{\text{стат макс.}}$ – на забое скважины

$$T_{\text{стат}}(z) = T_{\text{стат}}(H_{\text{пл}}) - \Delta T_{\text{стат}} * (H_{\text{пл}} - z)$$

Циркуляционная (динамическая) температура возникает при циркуляции растворов в скважине, определяется эмпирической зависимостью от геостатической температуры. Характер изменения циркуляционной температуры субъективен для каждого месторождения.

$T_{\text{циркул.}} = f$

По значению циркуляционной (~~$T_{\text{стат}}$~~) температуры подбирают тип и/или концентрацию добавок, чтобы свойства подобранного раствора подходили к требуемым параметрам

Условия выбора по температуре

Выбор типа сухого цемента по гестатической температуре (по ГОСТ 1581-96)

15-50°C - для низких и нормальных температур, индекс **50**

50-100°C – для умеренных температур, индекс **100**

✓ **100-150°C** - для повышенных температур, индекс **150**
Способ цемнтирования

При значительной разнице между забойной и устьевой температурах желательно применять двухступенчатый способ цемнтирования

✓ Сроки загустевания:

При низких температурах нужно использовать ускорители, при высоких температурах – замедлители схватывания цементного раствора

✓ Водоотдача раствора:

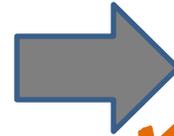
С увеличением температуры концентрация понизителя водоотдачи повышается

✓ Прочностные характеристики:

При повышенных температурах (более 100°C) нужно использовать кварцевую муку для предотвращения разрушения цементного камня под действием высокой температуры

Влияние параметров продуктивного пласта

- Мощность пласта
- Состав и механические свойства породы
- Пластовое давление и давление поглощения
- Проницаемость пласта
- Содержание пластовых флюидов



- Технологические
- ✓ Способ цементирования
- ✓ Центрирование колонны
- Свойства растворов:
- Рецептура
- ✓ Плотность
- ✓ Реологические свойства
- ✓ Водоудерживающие свойства

Буферные жидкости

- Под буферной жидкостью понимают промежуточную жидкость между буровым и тампонажным растворами, которая способствует повышению качества цементирования скважин, и облегчает проведение процесса цементирования. При отсутствии буферных жидкостей в результате коагуляции бурового раствора в зоне его смешения с тампонажным наблюдается рост давления в 1,4—1,8 раза, при этом коэффициент вытеснения бурового раствора не превышает 0,4—0,6.
- В мировой практике используются около 100 рецептов буферных жидкостей

Требования к буферной жидкости

- совместимость с буровым раствором и цементным раствором;
- минимальное влияние на время загустевания цемента;
- изменяемые реологические свойства;
- низкая водоотдача;
- отсутствие расслоения (*седиментационная устойчивость*), отсутствие свободной воды (*отстой*);
- отсутствие прогрессивного предельного статического напряжения сдвига;
- термоустойчивость

Рекомендации по выбору буферных жидкостей

- вязкость и плотность жидкостей не должны превышать аналогичные показатели вытесняемой жидкости или должны приближаться к средним значениям для разобщаемых жидкостей;
- при смешении буферной жидкости с буровым раствором не должны повышаться реологические параметры зоны смешения ;
- применять комплексные буферные жидкости. Первая их часть должна быть представлена жидкостью, отвечающей требованиям высокой степени вытеснения, вторая — жидкостью, обладающей высокой физико-химической активностью;
- для улучшения качества цементирования призабойной зоны после закачки буферной жидкости следует вводить нижнюю цементировочную пробку ;
- при цементировании обсадных колонн в скважинах, пробуренных с использованием буровых растворов на водной основе, не рекомендуется использовать в качестве буферной жидкости нефть или нефтепродукты.

Классификация буферных жидкостей

Однофазные - вода, вода с растворенными материалами (хлористый натрий, хлористый кальций, пирофосфат натрия), нефть, газ, кислоты (сульфаминовая, соляная).

Двухфазные – из жидкости и твердых нерастворимых (обычно абразивных) добавок (вода с пуццоланом, вода с кварцевым песком или цементом, нефть с песком или баритом)

Трехфазные - из жидкой (вода, нефть), газообразной (азот, воздух) фаз и твердых веществ (кварцевый песок, пуццолан, цемент). В них вводят также хорошо растворимые реагенты (диспергаторы, эмульгаторы, стабилизаторы, турбулизаторы и др.).

Материалы для цементирования скважин

Тампонажные материалы (*вяжущие*)

Цементы выпускаемые в соответствии с ГОСТ 1581-96

Цементы выпускаемые в соответствии с ISO 10426-1:2000.

Химические добавки к тампонажным растворам

Ускорители процесса схватывания

Замедлители процесса схватывания

Наполнители

Утяжелители

Понизители водоотдачи

Дисперсанты (пластификаторы)

Реагенты для борьбы с поглощениями

Классификация и номенклатура цементов по ГОСТ 1581-96

по вещественному

I - бесдобавочный

I-G - бездобавочный, с нормированными требованиями при водоцементном отношении, равном 0,44;

I-H - бездобавочный, с нормированными требованиями при водоцементном отношении, равном 0,38;

II – с минеральными добавками

III – с специальными добавками, регулирующими плотность раствора

Об4 – облегченный до норм. плотности 1.4 г/см³

Об5 – облегченный до норм. плотности 1.5 г/см³

Об6 – облегченный до норм. плотности 1.6 г/см³

50 – для низких и нормальных температур (до 50°С); **100** – для умеренных температур (50-100°С);

У30 – утяжеленный до норм. плотности 2.0 г/см³

Ут1 – утяжеленный до норм. плотности 2.1 г/см³

Ут2 – утяжеленный до норм. плотности 2.2 г/см³

Ут3 – утяжеленный до норм. плотности 2.3 г/см³

Для типов I, II, III:

ОБЫЧНЫЙ – требования не предъявляется; **СС** – сульфатостойкий

Для типов I-G, I-H:

СС1 – повышенной сульфатостойкости; **СС2** – умеренной

сульфатостойкости

номенклатура тампонажных

материалов

ПЦТ-I-50 ПЦТ-II-50 ПЦТ-IIIУТ(0-3)-50 ПЦТ-IIIОб(4-6)-50 ПЦТ-I-G

ПЦТ-I-100 ПЦТ-II-100 ПЦТ-IIIУТ(0-3)-100 ПЦТ-IIIОб(4-6)-100 ПЦТ-I-H

ПЦТ-II-150

Примеры условного обозначения по ГОСТ 1581-96

ПЦТ II-СС-50 ГОСТ 1581-96 Портландцемент тампонажный с минеральными добавками сульфатостойкий для низких и нормальных температур

ПЦТ I-G-СС-2 ГОСТ 1581-96 Портландцемент тампонажный бездобавочный с нормированными требованиями при водоцементном отношении, равном 0,44, высокой и умеренной сульфатостойкости

ПЦТ III-Об5-100-ГФ ГОСТ 1581-96 Портландцемент тампонажный с облегчающей добавкой с нормированными требованиями по плотности, равной 1.5 г/см³ для умеренных температур с гидрофобизирующей добавкой

Условные

1 - буквенное обозначение цемента обозначения:

2 - обозначение типа цемента по
вещественному составу;

3 - обозначение сульфатостойкости цемента;

4 - обозначение максимальной температуры применения цемента;

5 - обозначение стандарта;

6 - обозначение средней плотности для цемента типа III;

7 - обозначение гидрофобизации (ГФ) и пластификации (ПЛ) цемента;

Номенклатура и классификация по ИСО 10426-1:2000

A - до глубины 1830 м, без каких-либо особенных условий применения

B - до глубины 1830 м, с обычной, умеренной и высокой сульфатостойкостью

C - до глубины 1830 м, с повышенными требованиями к развитию ранней прочности и с обычной, умеренной и высокой сульфатостойкостью

D - на глубинах от 1830 м до 3050 м, с умеренно высокими температурой и давлением, с умеренной и высокой сульфатостойкостью

E - на глубинах от 3050 м до 4270 м, с высокими температурой и давлением, с умеренной и высокой сульфатостойкостью

F - на глубинах от 3050 м до 4880 м, с очень высокими температурой и давлением, с умеренной и высокой сульфатостойкостью

G - до глубины 2440 м, применяется с различными добавками для широкого диапазона глубин и температур с умеренной и высокой сульфатостойкостью

H - до глубины 2440 м, применяется с различными добавками для широкого диапазона глубин и температур с умеренной и высокой сульфатостойкостью

Свойства цементного раствора

Относительное
водосодержание,
наполнители, утяжелители

Дисперсант
,
загуститель

Плотность

ь

Вязкость

ь

Время

схватывания

Сроки загустевания

Структурообразование

Водоотдач

а

Водоотделени

Седиментационная
устойчивость

Противоосадочный
агент

Замедлитель
,
ускоритель

Понизитель
водотдач
и

Основные требования к свойствам тампонажного раствора

Плотность должна обеспечивать:

- недопущение проявления пластового флюида и гидроразрыва пласта;

Реологические свойства должны обеспечивать:

- Подвижность раствора, достаточную для закачки раствора в интервал цементирования;
- Недопущение гидроразрыва пласта при циркуляции;
- Своевременное схватывание раствора.

Водоудерживающие свойства должны обеспечивать:

- Хорошую седиментационную устойчивость суспензии;
- Оптимальную фильтратоотдачу суспензии, для недопущения несвоевременного раннего схватывания;
- Низкую проницаемость суспензии в процессе гидратации.

Цементный камень должен иметь:

- Хорошее сцепление с породой и стенкой ОК;
- Хорошую долговременную прочность и упругость;
- Низкую проницаемость;
- Безусадочность.

Свойства цемента и относительное водосодержание

Свойства жидкости затворения

Плотность

Свойства сухого цемента (сухой

Плотность

Удельная поверхность

Насыпная масса

Относительное водосодержание

Свойства цементного раствора

Свойства цементного камня

Количество цементовозов



$$i_{CM} = \frac{M_{CC}}{m_{НАС} V_{CM}}$$

Концентрации основных материалов

Относительное водосодержание тампонажного раствора – это отношение массы жидкости затворения к массе твердой фазы. Относительное водосодержание → водоцементное отношение, когда используется вода и цемент.

$$\frac{B}{Ц} = \frac{m_B}{m_{сц}} = \frac{\rho_v (\rho_{сц} - \rho_{цр})}{\rho_{сц} (\rho_{цр} - \rho_v)}$$

Относительное водосодержание → водотвердое отношение, когда используется вода и сухая смесь известной плотности и содержания.

$$\frac{B}{T} = \frac{m_B}{m_{сц} + m_{сд}} = \frac{\rho_v (\rho_{сс} - \rho_{цр})}{\rho_{сс} (\rho_{цр} - \rho_v)}$$

Водоотдача раствора

- Способность цементного раствора удерживать воду при наличии фильтрующей среды, температуры и перепада давления (6,9 МПа) характеризуется скоростью водоотдачи.
- Величина условной водоотдачи измеряется через 30 минут в см^3 [$\text{см}^3/30\text{мин}$] с помощью специального **прибора по определению водоотдачи** при внутрискважинных условиях.

от 0 до 50 $\text{см}^3/30\text{мин}$ - предотвращение миграции газа

от 50 до 100 $\text{см}^3/30\text{мин}$ - ультранизкая водоотдача

от 100 до 200 $\text{см}^3/30\text{мин}$ - хорошая водоотдача

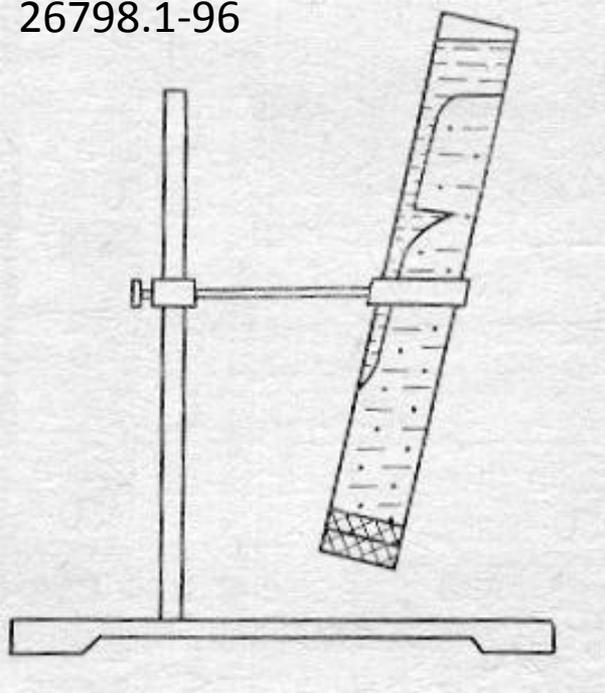
от 200 до 500 $\text{см}^3/30\text{мин}$ - умеренная водоотдача

от 500 до 1000 $\text{см}^3/30\text{мин}$ - значительная водоотдача

более 1000 $\text{см}^3/30\text{мин}$ - неконтролируемая водоотдача

Способы измерения седиментационной устойчивости

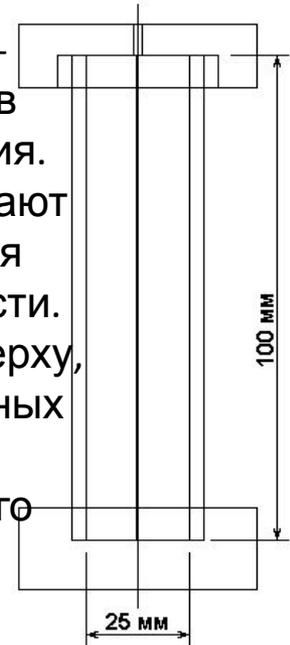
в соответствии с ГОСТ
26798.1-96



Заполненный цементным раствором цилиндр наклоняют на угол 15град и выдерживают в течении 2 часов. После этого смотрят на верхней образующей наличие каналов, а в на дне наличие осадка

в соответствии с ИСО
10426-2000

Заполненный цилиндр устанавливают в автоклав. Создают в нём внутрискважинные условия. Оставляют на 24 часа. Извлекают из автоклава. Образовавшийся цементный столб делят на части. Две части по 20 мм снизу и сверху, оставшееся на несколько равных частей. Сохраняют их в воде. Определяют плотность каждого образца, используя закон Архимеда.

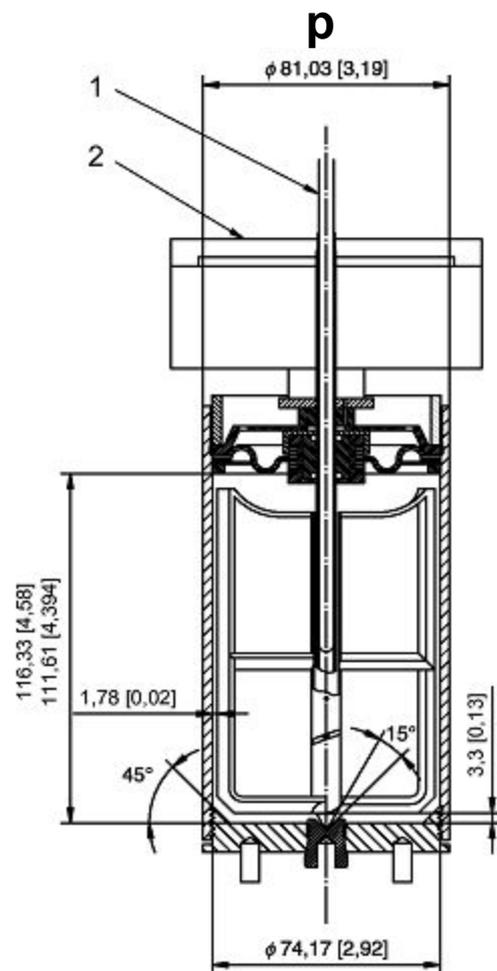


$$\Delta\rho\% = \frac{\rho_{\text{ОБР}} - \rho_{\text{ЦР}}}{\rho_{\text{ЦР}}} * 100\%$$

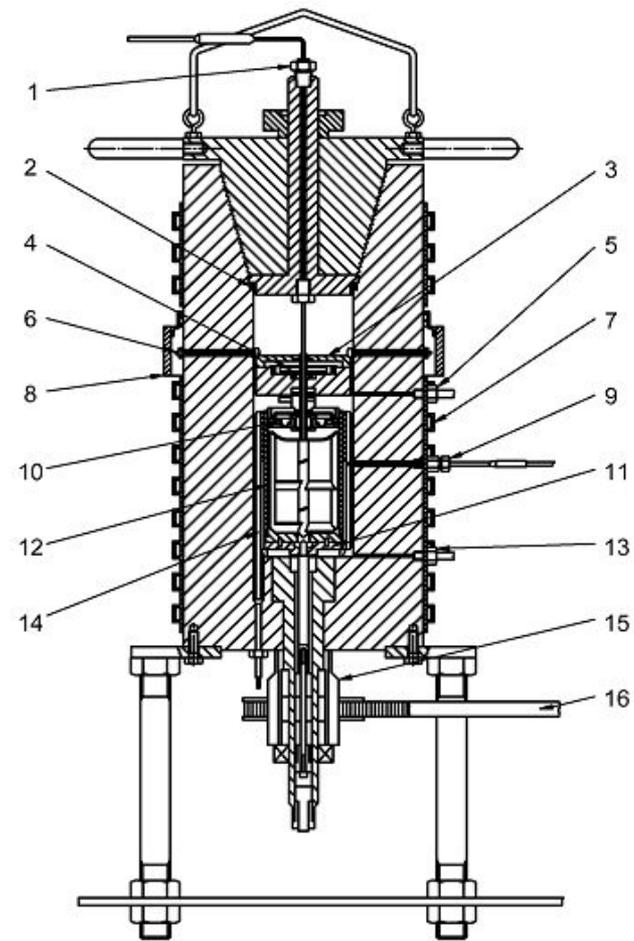
Способы измерения сроков загустевания



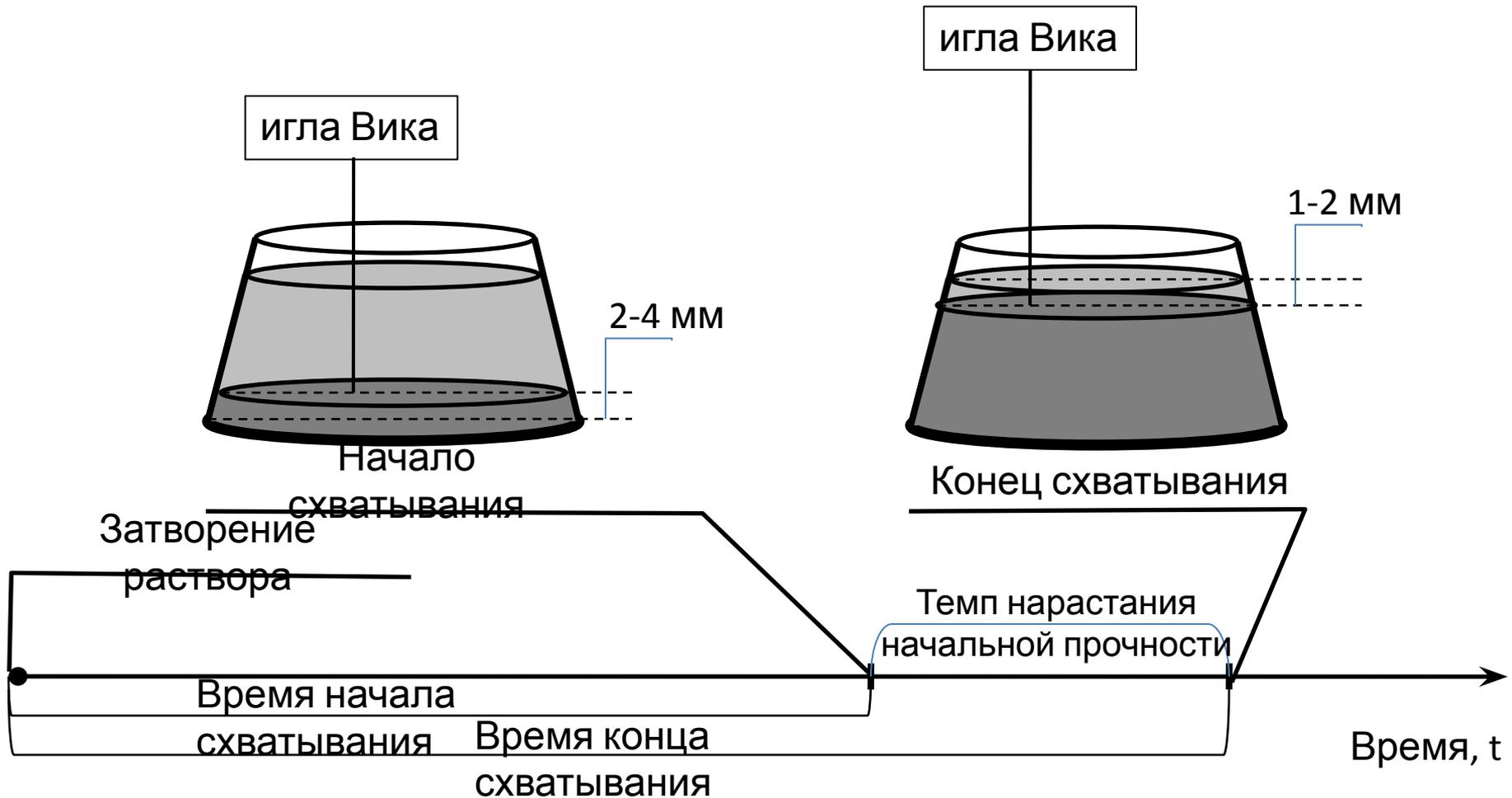
Рабочий
цилиндр



Герметизированный консистометр с
магнитным приводом



Способы измерения сроков схватывания



Свойства цемента, цементных растворов и камня

□ Свойства тампонажных материалов

- Истинная плотность
- Насыпная плотность
- Удельная поверхность

□ Свойства цементного раствора

- **Относительное водосодержание - Водоцементное отношение**
- **Выход раствора**
- Плотность
- Реологические свойства
- Водоудерживающие свойства

□ Свойства цементного камня

- Прочность
- Проницаемость
- Контракция

Выход раствора

Выход раствора – объем раствора из единицы массы цемента (цементной смеси), обычно берется из 1 тонны сухого цемента. Размерность [м³/т].

$$V_{\text{цр}} = \frac{1 + \frac{B}{Ц}}{\rho_{\text{цр}}} \times 10^3$$

Расчет процесса цементирования

- 1. Исходные данные;**
- 2. Выбор способа цементирования;**
- 3. Расчет требуемого объёма применяемых технологических жидкостей;**
- 4. Расчет потребного количества материалов и добавок для приготовления цементных растворов и буферных жидкостей;**
- 5. Расчет количества цементовозов и цементируемых агрегатов;**
- 6. Гидравлический расчет цементирования;**
- 7. Расчет требуемых сроков загустевания цементных растворов**

Выбор цементовозов и цементировочных агрегатов

Количество смесительных машин

(цементовозов) -

Определение характеристик водоподающего

насоса:

Объёмная скорость подачи сухой смеси
в гидросмеситель -

$$i_{CM} = \frac{M_{CЦ}}{\rho_C V_{CM}} \rightarrow Q_{CM}$$

$$q_{CM} = \frac{\rho_{CЦ} Q_{CM}}{(1 + B/Ц) \rho_C}$$

Объёмная скорость подачи жидкости затворения в
гидросмеситель -

$$q_{Ж} = \frac{B/Ц \times \rho_C q_{CM}}{\rho_{Ж}}$$

Диаметр штуцера в гидросмесителе при скорости потока в нем 50
м/с -

$$D_{Ш} = \sqrt{\frac{q_{Ж}}{0,785 \times 50}}$$

Давление водоподающего насоса - $p_{В.Н.} = \frac{\rho_{Ж} q_{Ж}^2}{2 \times 0,785^2 \times \mu_{Ш}^2 D_{Ш}^4}$

Определение количества и производительности цементировочных
агрегатов:

- без применения осреднительной
ёмкости

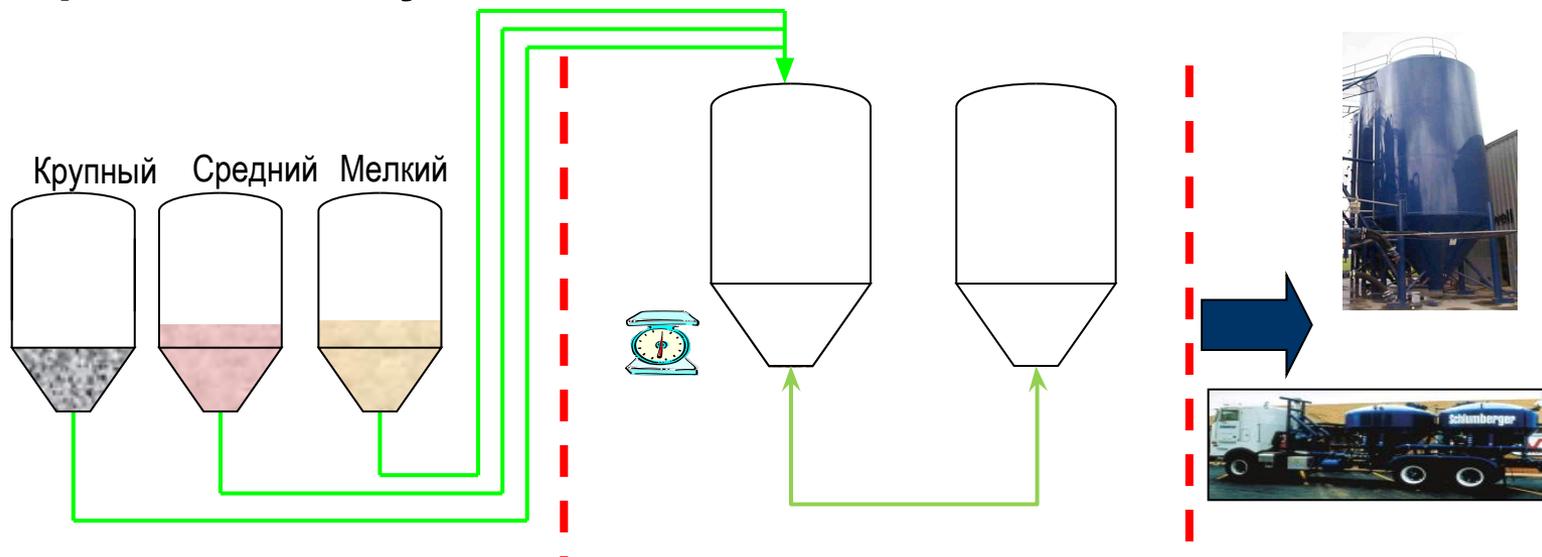
$$i_{ЦН} Q_{ЦН} = i_{CM} Q_{CM}$$

Оборудование для цементирования скважин

- Полевой мини завод для производства цементных смесей
- Ёмкость для временного хранения цементной смеси
- Цементовоз
- Цементируемый агрегат
- Дозатор
- Эжекторный смеситель
- Установка смесительно-осреднительная
- Установка блока манифольда
- Цементирующая головка
- Станция контроля процесса цементирования (СКЦ)

Особенности применения трехкомпонентных смесей для ОЦР

- ✓ **Контроль плотности**
 - исходных материалов с помощью пикнометра
 - раствора с помощью герметизированных рычажных весов
- ✓ **Разработка и подбор рецептуры раствора**
- ✓ **Процедура смешивания на месторождении**
 - Засыпка в бункер слоями
 - Перетаривания между бункерами не менее 6 раз
 - Отбор проб из бункера из трех разных мест (вверху, в середине, внизу)



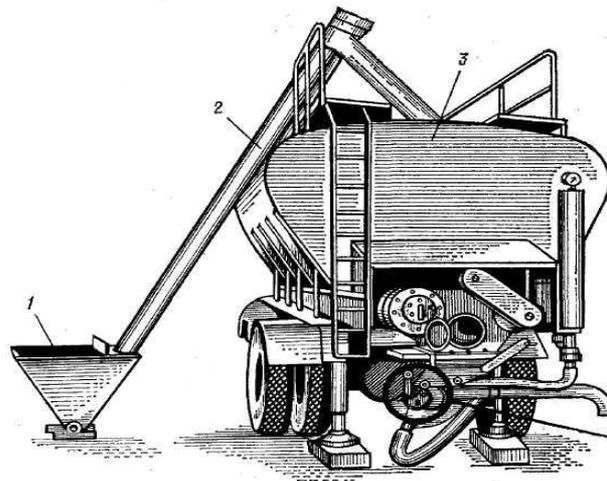
Цементовоз



Вместимость цистерны геометрическая, от 8,8 до 53 м³

Производительность пневморазгрузки (по цементу), т/мин, не более от 0,6 до 1

Цементосмесительная установка



Цементосмесительная установка предназначена для транспортирования сухих порошкообразных материалов и приготовления тампонажных растворов и других песчано-жидкостных смесей.

Материалы загружаются в бункер винтовым конвейером или пневматическим способом через загрузочную трубу или верхний люк. Привод шнеков - от двигателя автомобиля. Для предупреждения сводообразования тампонажного материала в бункере установлен пневмовибратор.

Масса транспортируемого материала 8-11 Т.

Установка работает совместно с ЦА . От водоподающего блока агрегата подводится вода в необходимом объеме к смешивающему устройству установки и обеспечивается регулируемая подача тампонажной смеси. Готовый раствор подается на ЦА.

Установка смесительно-осреднительная 1УСО-20

Назначение: для приготовления однородных тампонажных растворов, жидкостей затворения, буферных систем и других растворов, применяемых при цементировании, бурении и ремонте нефтяных и газовых скважин.



Показатели	1УСО-20
Вместимость резервуара установки, м ³	15-20
Производительность приготовления раствора: - гидронапорным смесителем (до 1,85 г/м ³), м ³ /с, - гидropневматическим смесителем (до 1,75 г/м ³), дм ³ /с	25 20
Тип мешалки: двухвальная, четырехлопастная	
Частота вращения валов мешалки, об/мин	20-25
Монтажная база - автомобильное шасси УРАЛ 4320-40, КрАЗ-65053-02, КАМАЗ-53228-15	

Применение установки обеспечивает:

- повышение оперативности управления процессом цементирования;
- стабильность плотности приготавливаемых растворов;
- исключение потери цемента и цементного раствора;
- повышение качества цементирования скважин и долговечность их эксплуатации.

Установка блока манифольда БМ-70

Назначение: для обвязки насосных агрегатов при цементировании и гидроразрыве пластов в процессе бурения и капитального ремонта нефтяных и газовых скважин.

Технические характеристики



Наибольшее давление, МПа:

в напорном коллекторе	70
в раздающем коллекторе	2,5

Количество отводов, шт:

на напорном коллекторе	6
на раздающем коллекторе	8
отходящих к устьевой головке	2

Условный проход отводов, мм

50

Установка предназначена для работы в умеренном и холодном макроклиматических районах. Возможна установка гидроманипулятора и измерительного комплекса с давлением до 32МПа (расходомер, плотномер, датчики давления и температуры) с возможностью отображения и записи информации о перекачиваемой среде.

Цементирувочный агрегат ЦА-320 (УНБ-125х32)



Предназначен для закачки и продавки цементного раствора в скважину. Состоит из поршневого или плунжерного насоса высокого давления с приводом от двигателя автомобиля, двух мерных баков и системы обвязки. Управление механизмами агрегата ведется с единого поста, расположенного на платформе машины. Мерные баки агрегата служат для измерения объема продавочной жидкости. Имеется центробежный водяной насос для затворения цемента.

Полезная мощность, кВт -108,0

Приводная мощность, кВт (л.с.) -160 (125)

Насос поршневой 9ТС

- давление максимальное, МПа -32

- подача максимальная, л/с -23

Насос водяной -ЦНС-38-154

- давление максимальное, МПа -15

- подача максимальная, л/с -10

Ёмкость мерного бака, м³ - 6,4

Ёмкость бака для затворения, м³ - 0,25

Цементирувочний агрегат УНБС2-600х70

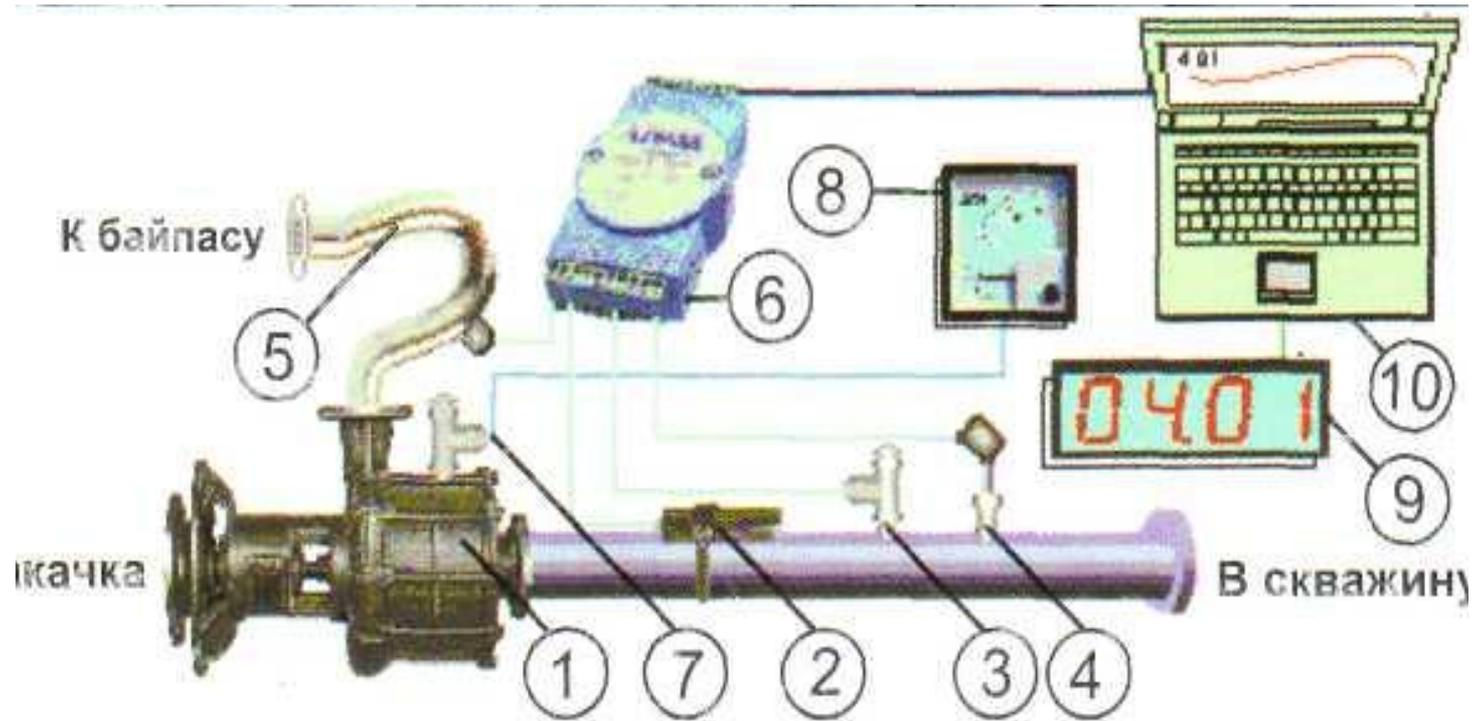


Установка предназначена для нагнетания тампонажных растворов и технологических неагрессивных жидкостей в нефтяные и газовые скважины при цементировании, проведения промывочно-продавочных работ при освоении и капитальном ремонте нефтяных и газовых скважин.

Цементировочная головка



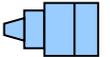
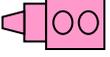
Комплекс для контроля цементирования

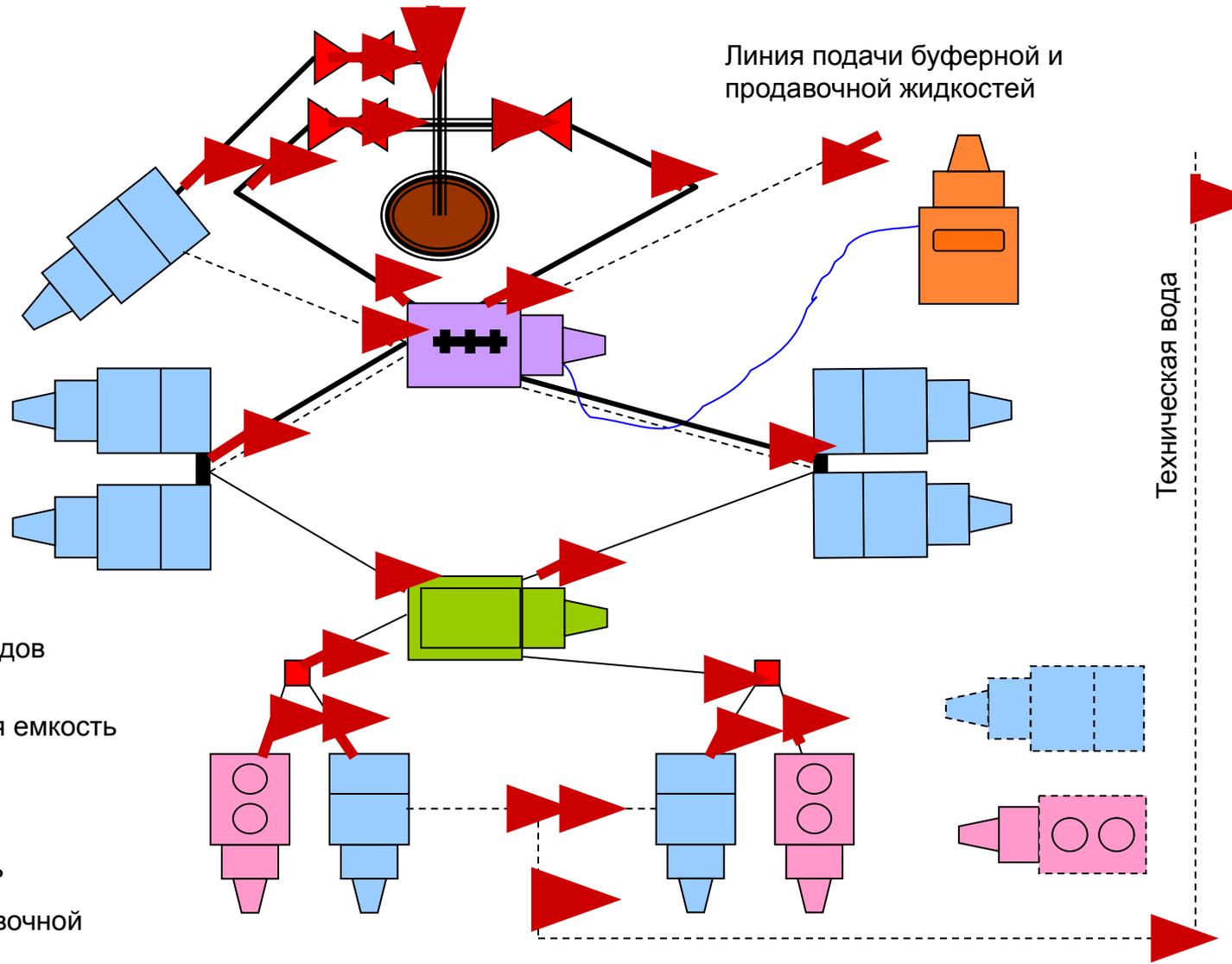


- 1 - от насосной установки
- 2- расходомер накладной
- 3- манометр до 100 МПа
- 4- термометр от -60° до +80°С
- 5- плотномер весовой
- 6- модуль сбора данных
- 7- вспомогательные датчики
- 8- измерительные приборы

Принципиальная схема обвязки оборудования

Условные обозначения:

- - линии высокого давления
- - - - - линии низкого давления
-  - Цементировочный агрегат
-  - Смеситель
-  - Блок манифольдов
-  - осреднительная емкость
-  - СКЦ
-  - гидросмеситель
-  - кран цементировочной головки



Конец семинара