

Бурение

нефтяных и газовых скважин

9. Цементирование скважин

Балаба Владимир Иванович
РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина

Фрагменты презентации

9.1. Способы цементирования скважин

По пути *подачи* тампонажного раствора (ТР) в заколонное пространство:

- *прямой* - в ОК;
- *обратный* - в заколонное пространство.

По пути *продавки* ТР в заколонное пространство:

- *одноступенчатый (одноцикловой)* - весь ТР продавливают через башмак ОК;
- *многоступенчатый (многоцикловой)* - ТР продавливают поинтервально на разной глубине через заливочную муфту в ОК.

Способы цементирования скважин

Манжетное цементирование - продавка ТР в интервал заколонного пространства над манжетой (пакером).

Секционное цементирование - закачка ТР по бурильной колонне, на которой спускают секцию ОК или потайную ОК.

9.2. Цементирующее оборудование

- *цементирующий агрегат (ЦА);*
- *цементно-смесительная машина (СМ);*
- *самоходный блок манифольдов (БМ);*
- *станция контроля процесса цементирования (СКЦ);*
- *осреднительная емкость;*
- *цементирующая головка;*
- *трубопроводы и арматура для обвязки оборудования.*

9.2.1. Цементировочный агрегат

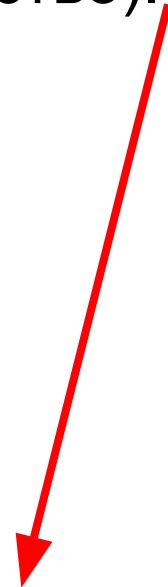
Назначение:

- подача тампонажного раствора (**ТР**) в скважину и нагнетание (продавка) его в затрубное пространство за цементируемой ОК
- измерение объема жидкости, расходуемой на приготовление **ТР**
- подача жидкости затворения в цементно-смесительную машину при приготовлении **ТР**.

9.2.2. Цементно-смесительная машина

Назначение:

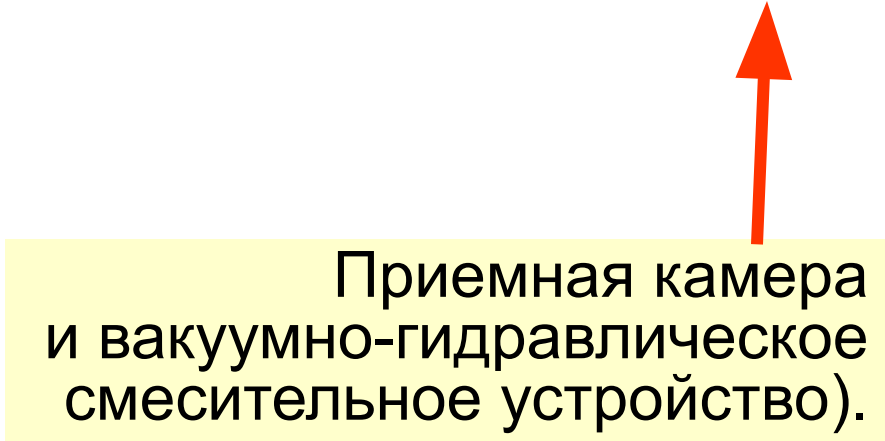
- транспортирования цемента в бункере;
- приготовление **ТР** на буровой (в задней нижней части бункера на консоли рамы размещены приемная камера и вакуумно-гидравлическое смесительное устройство).



Установка смесительная

Назначение:

- приготовление ТР на буровой.



Приемная камера
и вакуумно-гидравлическое
смесительное устройство).

9.2.3. Установка осреднительная


Назначение:

- выравнивание плотности **ТР** при его непрерывном приготовлении или накоплении отдельных порций с последующей откачкой;
- приготовление буферных и др. технологических жидкостей.

Установка **УО** представляет собой резервуар с перемешивающим устройством внутри, смонтированным на шасси автомобиля.

УО работает только в комплексе с насосными и смесительными установками для цементирования нефтяных и газовых скважин.

Установка осреднительная УО



Резервуар с перемешивающим устройством. УО работает только в комплексе с насосными и смесительными установками для цементирования скважин.

9.2.4. Блок манифольдов

Назначение:

- сбор **ТР** от нескольких ЦА в два нагнетательных трубопровода, ведущих к устью скважины;
- распределение продавочной жидкости по ЦА.

1БМ-700 позволяет подключать к устью цементируемой скважины шесть линий от ЦА (можно довести до 12 линий).

Давление:

в напорном коллекторе до **70 МПа**;
в раздающем – до **2,5 МПа**.

9.2.5. Цементи́ровочная головка

Назначение:

- **закачка технологических жидкостей в ОК;**
- **удержание цементи́ровочной пробки;**
- **контроль давления закачки.**

Отдельные цементи́ровочные головки допускают проворачивание **ОК** в процессе продавливания **ТР**. Это способствует более полному замещению **ПЖ** тампонажным раствором и повышению качества цементирования.

*Цементировочная
головка*

Манометр

**Предохранительный
клапан**

Верхний ввод

Крышка

Нижний ввод

**Верхняя
пробка**

Стопорный винт

OK

9.2.6. Станция контроля процесса цементирования

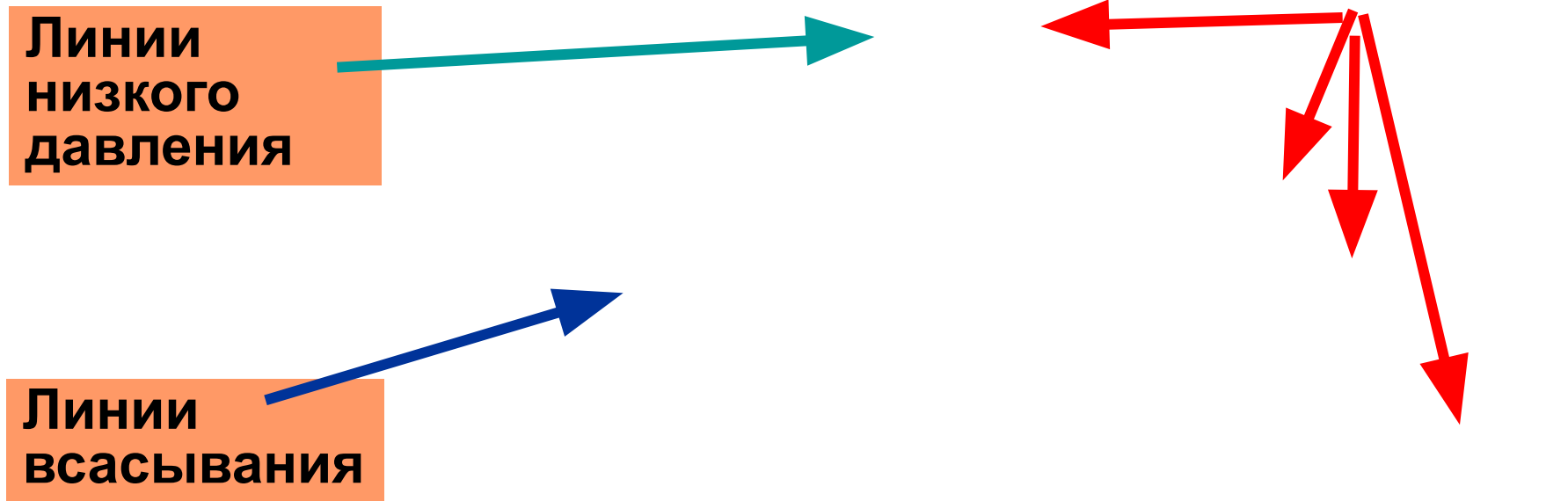
Предназначена для одновременного автоматического измерения и регистрации основных технологических параметров процесса цементирования:

- *давления нагнетания;*
- *плотности жидкости, подаваемой в скважину;*
- *суммарной подачи ЦА;*
- *объема закачанной жидкости.*

Датчики станции установлены на блоке манифольдов.

9.3. Обвязка цементирующего оборудования

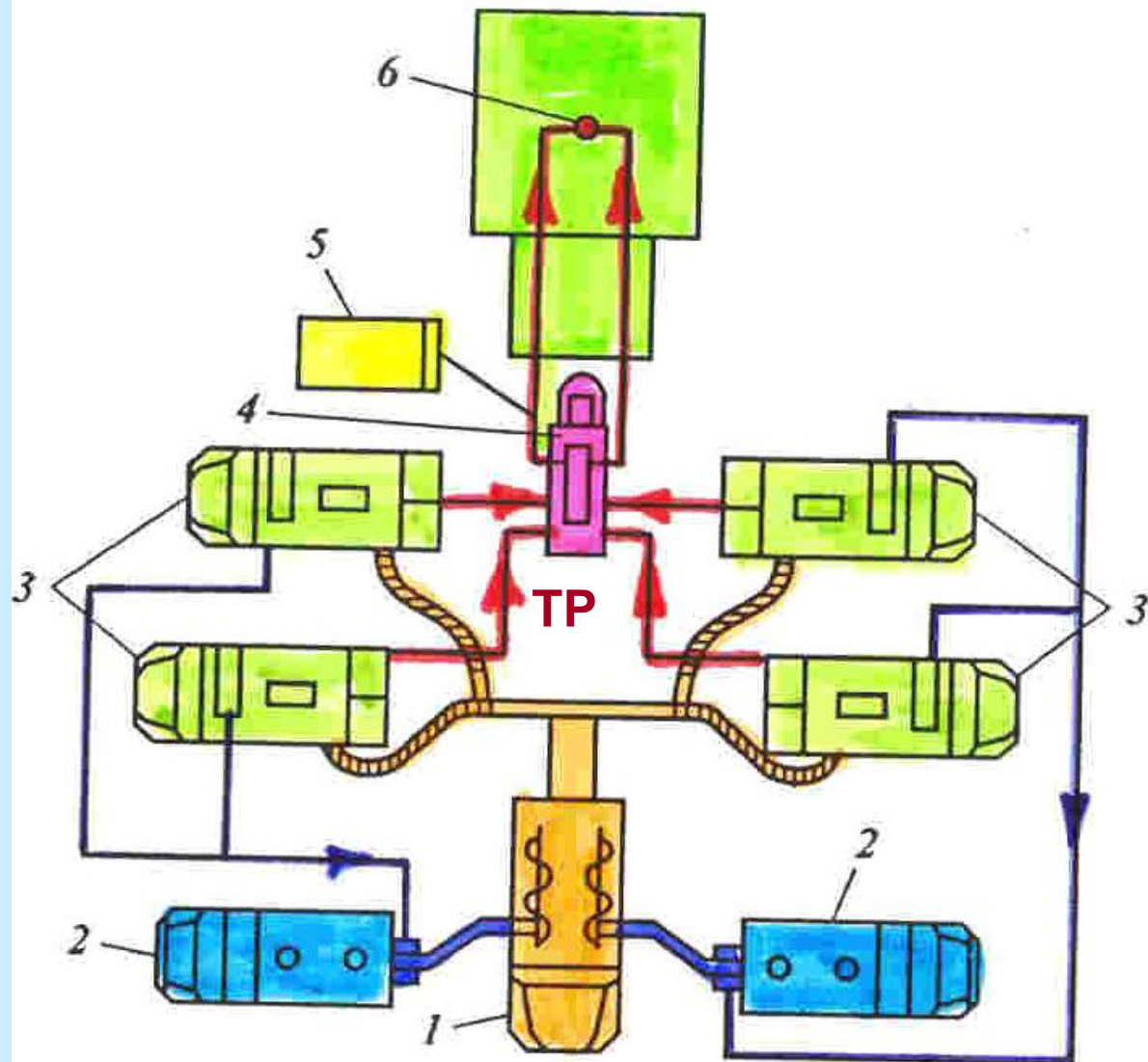
1 - ЦА; **2** - СМ; **3** - БМ;
4 - цементирующая
головка; **5** - СКЦ



С одной СМ работают два ЦА. Один из них подает жидкость затворения в гидросмеситель СМ.

Обвязка цементировочного оборудования

- 1** - Установка осреднительная
- 2** - Смесительная машина
- 3** - Цементировочный агрегат
- 4** - Блок манифольда
- 5** - Станция контроля цементирования
- 6** - Цементировочная головка



вода
13

9.4. Технология цементирования

Должна обеспечить:

- цементирование требуемого интервала на всем его протяжении;
- полное замещение ПЖ тампонажным раствором в пределах цементируемого интервала;
- предохранение ТР от смешения с промывочной жидкостью;
- получение цементного камня с необходимыми механическими свойствами, с высокой стойкостью и низкой проницаемостью;
- хорошее сцепление цементного камня с ОК и стенками скважины.

Технология цементирования

Цементирование ОК включает следующие технологические операции:

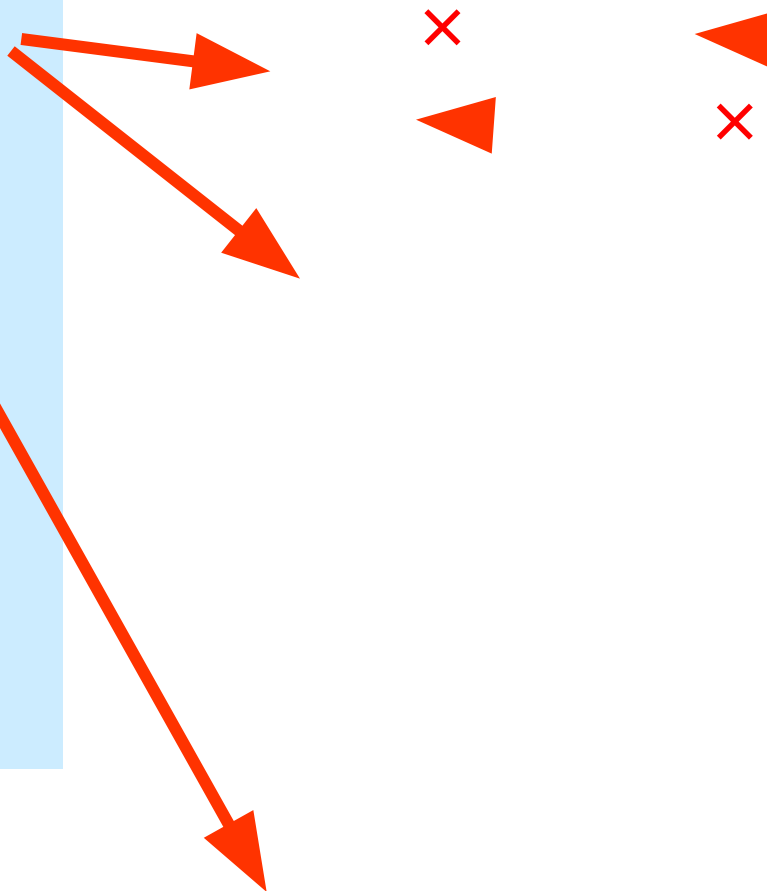
- обвязка цементировочного оборудования;
- приготовление **ТР** и технологических жидкостей;
- цементирование заколонного пространства (закачка **ТР** в скважину и продавливание его в заколонное пространство);
- ожидание затвердевания цемента (**ОЗЦ**) - для кондуктора 5-8 ч, остальных колонн – от 12 до 24 ч;
- проверка качества цементирования, испытание ОК на герметичность,
- разбуривание цементного стакана в ОК, проверка герметичности изоляции заколонного пространства.

9.5. Одноступенчатое цементирование с двумя пробками

Закачка

Продавка
начало окончание

- 1 - манометр
- 2 - цем. головка
- 3, 4 - верхняя и нижняя пробки
- 5 - ОК
- 6 - стенки скв.
- 7 - стоп-кольцо
- 8 - продавочн. жидкость
- 9 - ПЖ
- 10 - ЦР



9.6. Двухступенчатое цементирование

Двухступенчатое - это раздельное последовательное цементирование двух интервалов в скважине (**сначала нижнего, затем верхнего**).

Способ позволяет:

- снизить давление на пласт при высоких уровнях подъема ЦР;
- увеличить высоту подъема ЦР в заколонном пространстве без значительного роста давления нагнетания;
- уменьшить смешение ЦР с ПЖ в заколонном пространстве;
- избежать воздействия высоких температур на ЦР, используемый в верхнем интервале (можно оптимизировать выбор ЦР).

Муфта ступенчатого цементирования - МСЦ

1 - корпус МСЦ
2, 5 - верхнее и
нижнее седло
3, 6 - верхняя и
нижняя втулки
4 - заливочные
отверстия

Цементирование
верхней ступени



Цементирование
нижней ступени

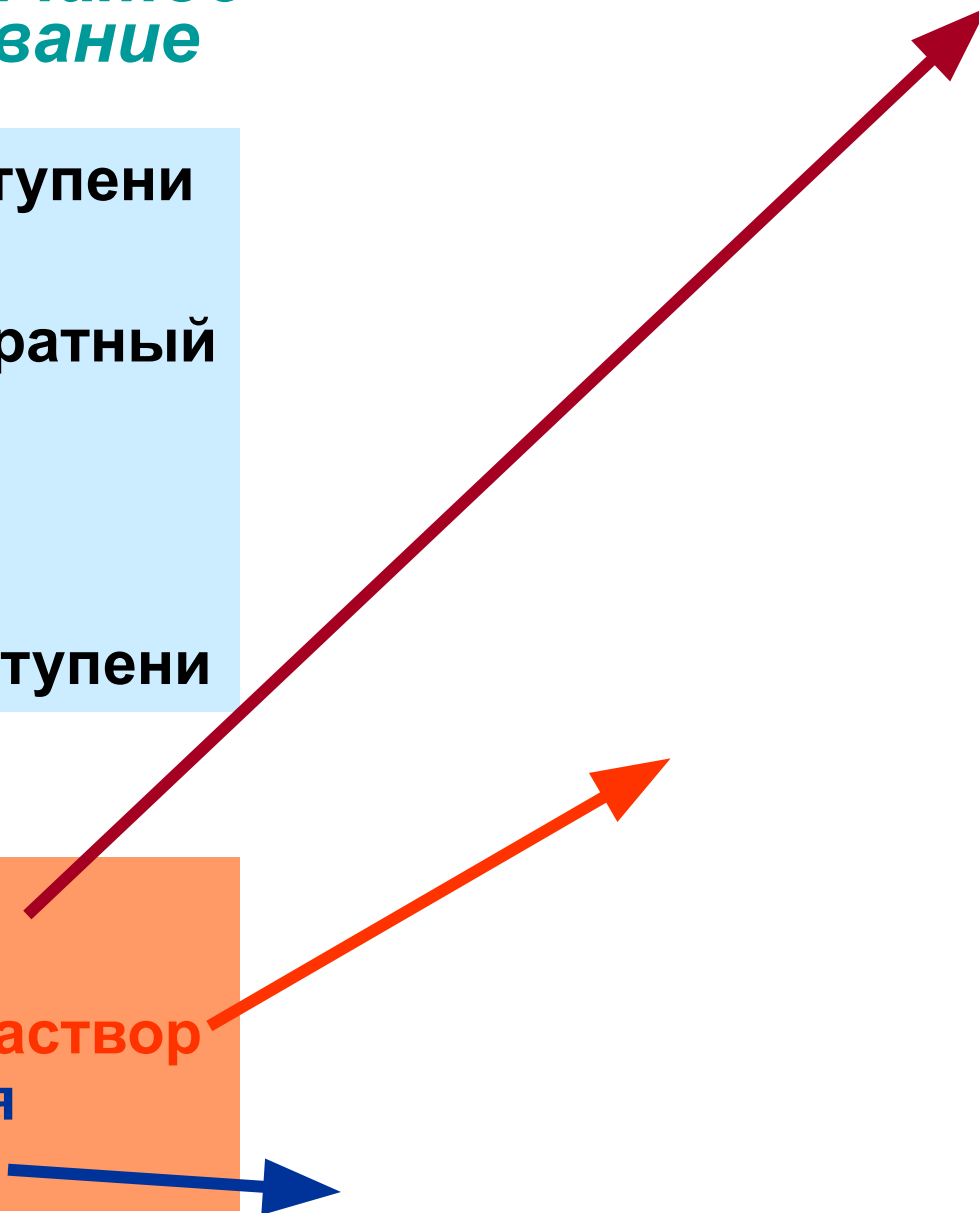
Двухступенчатое цементирование

- 1** - пробка I степени
- 2** - центратор
- 3** - клапан обратный
- 4** - башмак
- 5** - МСЦ
- 6** - шар
- 7** - пробка II степени

Продавочная
жидкость

Цементный раствор

Промывочная
жидкость



Двухступенчатое цементирование

- 1.** Закачивают первую порцию **ЦР**, соответствующую цементируемому объему первой ступени.
- 2.** Вводят в **ОК** верхнюю пробку первой ступени и закачивают продавочную жидкость. Пробка беспрепятственно проходит через **МСЦ** и вытесняет **ЦР** в затрубное пространство.
- 3.** После закачки объема продавочной жидкости, равного внутреннему объему ОК в интервале между **МСЦ** и упорным кольцом, освобождают находящуюся в цементировочной головке нижнюю пробку второй ступени. Достигнув **МСЦ**, пробка садится во втулку и под давлением смещает ее вниз, открывая сквозные отверстия в **МСЦ**. Сигналом открытия отверстий является резкое падение давления нагнетания.

Двухступенчатое цементирование

4. Закачивают *вторую* порцию ЦР, равную цементируемому объему *второй* ступени, и вводят в ОК третью пробку (верхняя пробка второй ступени).
5. Закачивают продавочную жидкость для вытеснения ЦР в затрубное пространство. Третья пробка задерживается в МСЦ и под давлением смещает вниз втулку, которая перекрывает отверстия. Резкое повышение давления сигнализирует о завершении цементирования. После этого скважину оставляют в покое для формирования цементного камня (ОЗЦ).

1-4 - двухступенчатое непрерывное цементирование.

Двухступенчатое цементирование

Если после открытия отверстий в **МСЦ (п. 3)** возобновляют циркуляцию **ПЖ**, а **ЦР** второй ступени подают в скважину спустя некоторое время, например, требуемое для схватывания раствора первой порции, то это **двухступенчатое цементирование с разрывом во времени**.

Этот способ позволяет повысить качество цементирования нижнего интервала за счет регулирования гидродинамического давления в затрубном пространстве.

9.7. Манжетное цементирование

Применяют для предотвращения:

- загрязнения ЦР продуктивных горизонтов с низким пластовым давлением;
- попадания ЦР в зону расположения фильтра.

МСЦ

Манжета или пакер

Обратный клапан



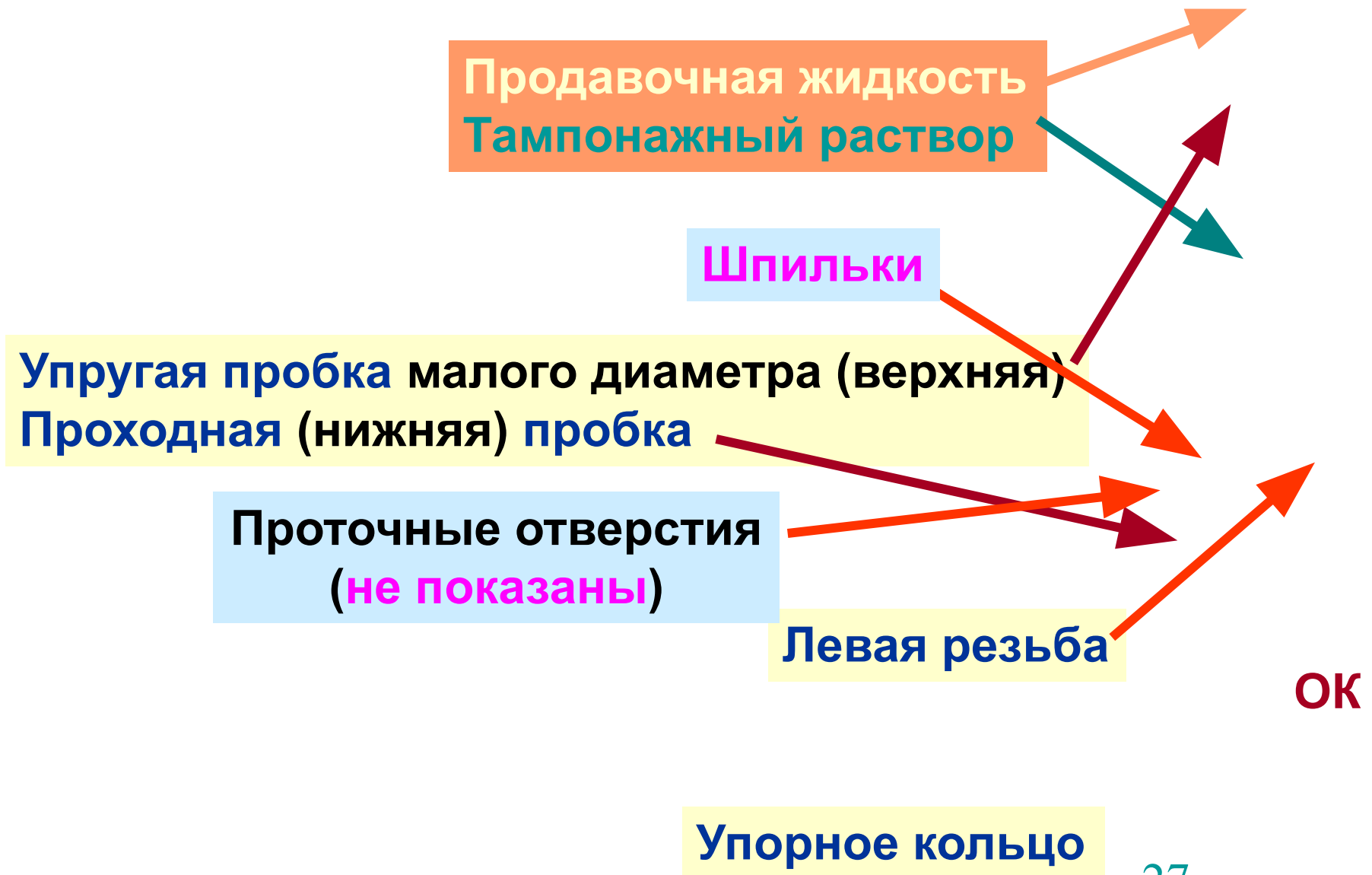
9.8. Цементирование потайной колонны и нижней секции обсадной колонны

Спуск **ОК** секциями, а также потайной колонны осуществляют на колонне бурильных труб, с которой они соединены **разъединителем с левой резьбой**. Используют способ одноциклового цементирования с одной разделительной пробкой, состоящей из двух частей:

- **проходной (нижней) пробки**, имеющей наружный диаметр, соответствующий внутреннему диаметру цементируемых ОТ. Она закрепляется шпильками в разъединителе;
- **упругой пробки** малого диаметра (верхняя), которая может свободно проходить по колонне бурильных труб.

Разъединитель с левой резьбой

БК



ОК

Цементирование потайной колонны и нижней секции обсадной колонны

Упругую пробку вводят в **БК** вслед за **ТР**. Под давлением продавочной жидкости она опускается до **проходной пробки** и задерживается в ней. Давление возрастает, шпильки срезаются, и обе пробки как одно целое перемещаются вниз. При посадке пробок на упорное кольцо - **скачок давления** нагнетания. Для промывки **БК** от остатков **ЦР** в нижнем переводнике **разъединителя** с помощью шара, сбрасываемого в колонну, открывают **проточные отверстия**. После **ОЗЦ** бурильную колонну отсоединяют и поднимают.

В обсаженном стволе **ОК** можно закрепить до цементирования.

9.9. Установка цементных мостов

Цементный мост -

прочная газонефтеводонепроницаемая перемычка, устанавливаемая в скважине с целью перехода на вышележащий объект, забурирования нового ствола, ликвидации проявления и поглощения, укрепления неустойчивой кавернозной части ствола, консервации или ликвидации скважины.

Установка цементных мостов

Для установки моста **ЦР** закачивают через **БК** или колонну **НКТ**, спущенную до нижней отметки интервала установки моста. Чтобы предотвратить смешивание **ЦР** с **ПЖ** используют буферную жидкость, разделительные пробки и т.п.

По мере выдавливания **ЦР** в ствол скважины колонну поднимают и, когда ее нижний конец окажется выше уровня **ЦР**, промывают по методу обратной циркуляции.

Чтобы **ЦР** не погружался в **ПЖ** ниже места установки моста устанавливают разделитель (тампон, пакер и т.п.). Н-р, стреляющий тампонажный снаряд выстреливает в обсаженный ствол резиновый тампон, выдерживающий перепад давления до 25 МПа.

9.10. Обратное цементирование

Заключается в закачивании **ЦР** с поверхности непосредственно в затрубное (межтрубное) пространство и вытеснении находящейся там **ПЖ** через башмак в **ОК** и по ней на поверхность.

Способ применяют при цементировании **ОК**, перекрывающих пласты большой мощности, которые подвержены гидроразрыву при небольших перепадах давления, а также при **комбинированном способе цементирования**, когда *нижняя* часть ствола цементируется по технологии прямой циркуляции, а *верхняя* - по технологии обратной циркуляции.

9.11. Тампонажные материалы

9.11.1. Классификация тампонажных материалы

9.11.2. Свойства цементного раствора

9.11.3. Свойства цементного камня

9.11.4. Выбор тампонажных материалов для цементирования скважины

См. лабораторные работы

9.12. Расчет цементировани скважины

Сводится к определению:

- *расхода материалов;*
- *режима работы ЦА и СМ;*
- *продолжительности работ по цементированию ОК.*

Расчет расхода материалов

Необходимый объем TR раствора определяют по объему цементируемого пространства за колонной и цементного стакана в колонне.

Объем цементируемого пространства рассчитывают с учетом среднего фактического диаметра ствола скважины или коэффициента кавернозности для открытой части ствола.

По объему TR и известному содержанию компонентов определяют суммарный расход материалов, в том числе и объем воды затворения.

Подсчитывают объемы буферной и продавочной жидкостей.

Расчет режима работы цементировочной техники

- Проверяют допустимость турбулентного режима течения как наиболее благоприятного для наиболее полного замещения ПЖ тампонажным раствором. При расчете учитываются данные о градиентах гидроразрыва наиболее слабых пород в интервале открытого ствола.
- Определяют максимально допустимую скорость течения ТР в затрубном пространстве и, сопоставляя ее с критической скоростью, выбирают режим.

Расчет режима работы цементировочной техники

- Зная подачу TR , определяют суммарные потери напора на разных этапах и по ним давление нагнетания на цементировочной головке.
- По давлению нагнетания выбирают тип $ЦА$ и режим его работы, а по суммарной подаче - количество $ЦА$ (предусматривается один резервный).
- По общему количеству сухих тампонажных материалов с учетом одновременно действующих $ЦА$ определяют необходимое количество $СМ$ и режим их работы.

Расчет продолжительности работ по цементированию ОК

Включает расчет продолжительности работ по:

- *закачке ТР в скважину;*
- *продавке ТР в затрубное пространство.*

При определении общей продолжительности работ учитывают резервное время (около 15 мин) на навинчивание цементировочной головки после введения нижней пробки в ОК.

Общая расчетная продолжительность работ не должна превышать **0,75** от времени начала схватывания *ТР*.

9.13. Обвязка обсадных колонн

По истечении регламентированного срока твердения **ТР** обсадную колонну на устье соединяют с предыдущей и герметизируют межколонное пространство таким образом, чтобы в любой последующий момент можно было контролировать давление в нем.

Обвязывают ОК друг с другом при помощи **КОЛОННЫХ ГОЛОВОК** разных конструкций. Наиболее универсальными являются **КЛИНОВЫЕ КОЛОННЫЕ ГОЛОВКИ КГ**.

Клиновая колонная головка

После окончания цементирования **ОК** висит на крюке **БУ**. Ее натягивают с расчетным усилием, затем при помощи клиньев подвешивают в **КГ**.

На верхний конец **ОК** навинчивают пьедестал и соединяют его последний с фланцем корпуса головки.

Клинья



Пьедестал



Корпус КГ



Кондуктор



9.14. Контроль качества крепи скважин

Осуществляется путем контроля:

- *процесса цементирования;*
- *качества цементирования;*
- *текущего состояния качества крепи в процессе строительства и эксплуатации, а также после ликвидации скважин.*

Контроль качества процесса цементирования

- **Правильный подбор исходных материалов и рецептуры ТР;**
- **Рациональная организация процесса;**
- **Контроль технологических параметров.**

Контроль качества цементирования

- высота подъема **ТР** в затрубном пространстве;
- полнота замещения ПЖ тампонажным раствором в зацементированном интервале;
- равномерность распределения цементного камня в затрубном пространстве (позволяет судить о соосности ствола скважины и **ОК**);
- сцепление цементного камня с **ОК** и стенками скважины;
- герметичность зацементированной **ОК** и затрубного пространства.

Проверка герметичности ОК на внутреннее избыточное давление

Внутреннее избыточное давление создают **ЦА**, подсоединяемым посредством цементирующей головки к исследуемой колонне. Создаваемое давление должно превышать ожидаемое максимальное давление в процессе проведения работ в скважине на регламентированную величину.

Через **5 мин** после создания внутреннего давления начинают наблюдение за характером его изменения.

ОК считается герметичной, если по истечении **30 мин** снижение не превышает **0,5 МПа** при давлении испытания выше **7 МПа** и **0,3 МПа** при давлении испытания до **7 МПа**.

Испытание затрубного пространства на герметичность

В **ОК** разбуривают цементный стакан и забой углубляют на 1–2 м ниже башмака колонны.

В **ОК** создают внутреннее избыточное давление.

Нормы и критерии герметичности затрубного пространства аналогичны испытанию **ОК** на внутреннее избыточное давление.

Испытание ОК на наружное избыточное давление

Проводят в качестве дополнительного способа контроля герметичности **ОК** во всех разведочных скважинах и в эксплуатационных если на устье не ожидается избыточного внутреннего давления.

Наружное избыточное давление **создают, уменьшая противодействие внутри ОК** путем снижения уровня жидкости внутри **ОК** или путем замещения ее жидкостью с меньшей плотностью.

Испытание ОК на наружное избыточное давление

Контрольные замеры положения уровня жидкости в скважине начинают через **3 ч** после ее откачки и проводят в течение **8 ч** с интервалом **2 ч**.

Если повышение уровня за **8 ч**

- не превышает предельно допустимой величины, **ОК** считается герметичной;
- превышает предельно допустимую величину, испытание повторяют. При получении аналогичного результата **ОК** признают негерметичной.