

А. И. БУЛАТОВ

ТАМПОНАЖНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН

4-е издание.
переработанное и дополненное

*Допущено Отделом кадров
и социального развития
Министерства нефтяной и газовой
промышленности СССР
в качестве учебника для техникумов*



МОСКВА "НЕДРА" 1991

ББК 33.131
Б 90
УДК 622.245.42 (075.3)

Рецензент д-р техн. наук *В. С. Данюшевский*
Организация-спонсор ВНИИКРнефть (НПО «Бурение»)

Булатов А. И.
Б90 Тампонажные материалы и технология цементирования скважин: Учеб. для техникумов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1991. — 336 с.: ил.

ISBN 5-247-02372-2

Описаны способы цементирования обсадных колонн. Рассмотрены оборудование и элементы технологической оснастки для цементирования скважин. Большое внимание уделено тампонажным цементам и химическим реагентам для их обработки. Приведены свойства тампонажных растворов и цементного камня в различных геолого-технических условиях. В четвертом издании (3-е изд. — 1982) на основе современных достижений науки и техники и обобщения передового опыта изложена технология цементирования нефтяных и газовых скважин.

Для студентов нефтяных техникумов, обучающихся по специальности «Бурение нефтяных и газовых скважин».

Б 2503010300—199 150—91
043(01)—91

ББК 33.131

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Булатов Анатолий Иванович

**ТАМПОНАЖНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ
ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН**

Заведующий редакцией *Н. Е. Игнатеева*
Редактор издательства *Т. А. Чопорова*
Технический редактор *Н. В. Жидкова*
Корректор *Л. В. Сметанина*

ИБ № 8936

Сдано в набор 18.02.91. Подписано в печать 08.05.91. Формат 69×90^{1/8}. Бумага книжно-журнальная. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 21,0. Усл. кр.-отт. 21,0. Уч.-изд. л. 22,84. Тираж 4100 экз. Заказ 817/2737—3. Цена 1 руб.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 125047 Москва, Тверская застава, 3.

Московская типография № 11 Государственного комитета СССР по печати.
113105 Москва, Нагатинская ул., д. 1.

ISBN 5-247-02372-2

© Издательство «Недра», 1982
© А. И. Булатов, 1991, с изменениями и дополнениями

Бурение нефтяных и газовых скважин обеспечивает создание канала связи нефтяного или газового пласта с дневной поверхностью. Для извлечения полезных ископаемых необходимо, чтобы этот канал был долговечным, безотказным в работе. Для беспрепятственной транспортировки жидкости или газа пласты горных пород разобщаются и стенка скважины закрепляется. В таком случае создаются условия для длительной эксплуатации скважины.

При креплении скважины применяют металлические трубы, которые, свинчивая в колонну, спускают в пробуренную скважину на определенную глубину. Эти трубы и колонны называют *обсадными*. Обсаженный колонной труб ствол скважины сохраняет круглое сечение в течение всего периода дальнейшего бурения или эксплуатации скважины.

С целью разобщения пластов в обсадную колонну закачивают цементный раствор, который вытесняет находящийся в ней буровой (глинистый) раствор, и продавливают в затрубное пространство (рис. 1) на расчетную высоту. Процесс транспортирования (закачивания) цементного раствора в затрубное пространство получил название *процесса цементирования скважин*.

Русские специалисты явились пионерами в применении цемента для цементирования скважин. Еще в 1859 г. горный инженер Г. Д. Романовский использовал цемент как средство борьбы с обводнением, а А. А. Богущевский в 1905 г. предложил и в 1906 г. запатентовал способ цементирования, который спустя пять лет был применен Перкинсом. Русские горные инженеры знали и другие способы цементирования скважин и практически их использовали. Буровой техник С. Г. Войслов на собрании членов Общества горных инженеров 23 октября 1903 г. сделал доклад «О работе по исследованию Муравьевского источника в Старой Руссе», где перечислил уже применявшиеся способы борьбы с поступлением воды при бурении скважин, заявив, что он успешно применял цементирование затрубного пространства.

Цементирование скважин, особенно глубоких, — наиболее ответственный этап их строительства. Значение цементировочных работ обуславливается тем, что они являются заключительным процессом и неудачи при их выполнении могут свести к минимуму успехи предыдущей работы вплоть до потери скважины. Недоброкачественное цементирование скважин нередко является единственной причиной газопроявлений, грифо-

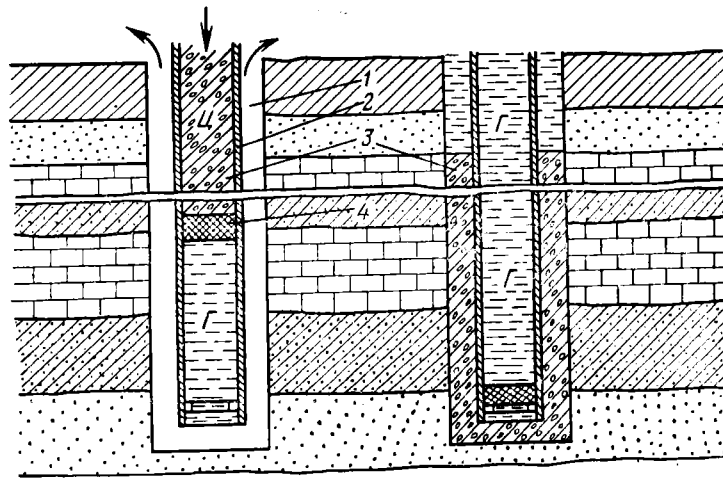


Рис. 1. Схема процесса закачки тампонажного раствора в затрубное пространство:

1 — затрубное пространство; 2 — обсадная колонна; 3 — цементный раствор; 4 — цементировочная пробка; Г — буровой (глинистый) раствор; Ц — тампонажный (цементный) раствор

нообразования и открытых нефтяных и газовых фонтанов, наносящих серьезный ущерб народному хозяйству страны. Оно приводит к неправильной оценке запасов нефти и газа, перетокам их в другие пласты, имеющие меньшее давление, к обводнению продуктивных горизонтов. Вместе с тем надежное разобщение пластов, вскрытых при бурении скважин, одновременно обеспечивает охрану недр, что весьма важно с геологической и промышленной точек зрения. Поэтому вполне понятно, что изоляции продуктивных объектов, креплению скважин, разобщению пластов, качеству цементирования скважин должно быть уделено особое внимание.

До бурения скважины обосновывают и выбирают ее конструкцию. В понятие конструкции входит концентрическое расположение спущенных в скважину обсадных колонн с указанием их диаметра, глубины спуска, высоты подъема закачанного за ними в скважину цементного раствора, диаметра долот, которыми бурят под каждую колонну. На рис. 2, а представлен профиль скважины, а на рис. 2, б графически изображена рабочая схема ее конструкции. Вверху над каждым рядом обсадных колонн пишется диаметр (в мм), а внизу — глубина установки (в м), интервал подъема цементного раствора обозначается штрихами, выше которых отмечается высота его подъема; иногда приводится номер долота.

Каждая колонна, спускаемая в скважину, имеет свое назначение и название. Первая, самая короткая, называется *нап-*

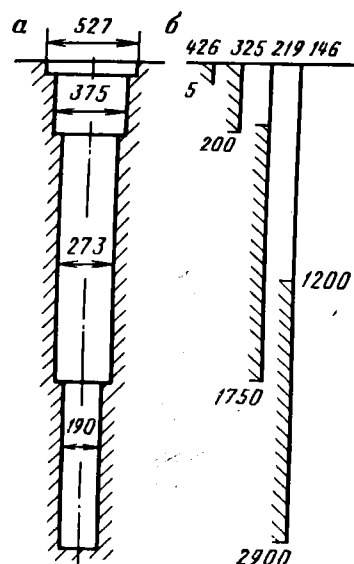


Рис. 2. Конструкция скважины

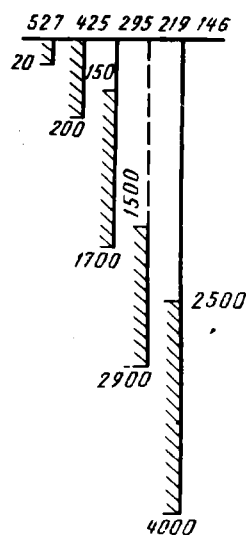


Рис. 3. Конструкция скважины с 219-мм хвостовиком

равлением. Она устанавливается до начала бурения и предохраняет устье скважины от размыва грунта циркулирующим буровым раствором. Вторая колонна, служащая для перекрытия неустойчивых верхних пород и водоносных горизонтов, называется *кондуктором*. Низ кондуктора, как и низ всех спускаемых после него колонн, заканчивается короткой утолщенной трубой, называемой *башмаком*. При бурении скважин в условиях многолетнемерзлых пород направление и кондуктор выбирают с учетом предупреждения растепления пород. Для предупреждения или устранения осложнений, возникающих или возможных при бурении, спускают промежуточную колонну. Их может быть несколько. Последняя колонна, предназначенная для эксплуатации продуктивного горизонта, называется *эксплуатационной*. При подсчете числа колонн, спущенных в скважину, направление и кондуктор не учитываются.

Колонна, перекрывающая некоторый интервал без выхода к устью скважины, называется *хвостовиком* (потайной колонной). Хвостовики часто применяют при креплении глубоких скважин (рис. 3).

Иногда обсадные колонны спускают частями — секциями. Процесс спуска обсадной колонны в таком случае называется *секционным*, а колонна *секционной*.

При бурении глубоких скважин в сложных геологических условиях применяют многоколонные конструкции. Нередко вы-

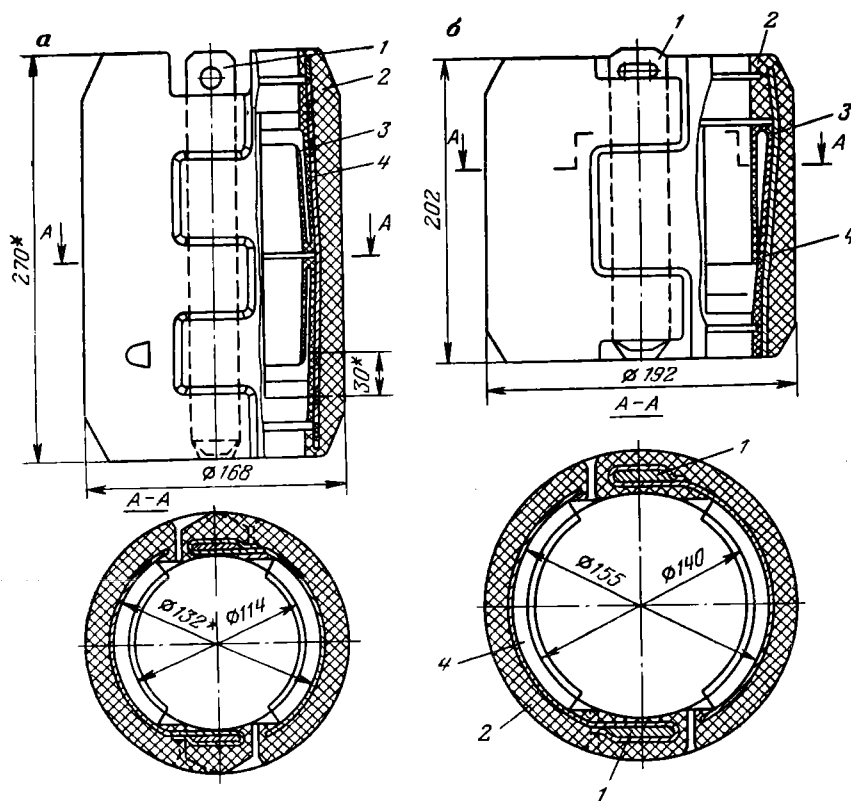


Рис. 4. Протектор самозаклинивающийся:
 а — для бурильных труб диаметром 114 мм; б — для бурильных труб диаметром 140 мм

ход долота из-под промежуточных колонн достигает 1500 м и более. В этих условиях в обсаженной скважине проводят большой объем буровых работ, значительно изнашиваются обсадные и бурильные трубы, уменьшается срок их службы.

ВНИИКРнефтью разработаны и внедрены протекторные кольца. Протектор (рис. 4) состоит из двух взаимозаменяемых резиновых оболочек 2, армированных металлическим каркасом, соединенных друг с другом при помощи клиновых соединительных штырей 1. Внутри каркаса закреплена гибкая прокладка 3, края которой завернуты внутрь. Металлический каркас 4 по поверхности обмазывается специальным клеем при обрезинивании. Конструкция протектора обеспечивает его самозаклинивание на бурильной трубе. Протекторы легко устанавливаются на бурильной трубе как над ротором во время спускоподъемных операций, так и на мостках буровой.

Протектор диаметром 114 мм устанавливается на любом участке трубы и самозаклинивается при движении протектора вдоль бурильной колонны вверх и вниз; протектор диаметром 140 мм устанавливается под замком бурильной трубы и самозаклинивается при движении протектора вдоль бурильной колонны вверх.

Для цементирования нефтяных и газовых скважин используют цементный раствор — смесь вяжущих материалов (цементов), затворенных определенным количеством воды, часто с добавками химических реагентов. В связи с тем, что появились растворы, твердая фаза которых представлена не только портландцементом (а иногда и не включает последнего), более правильно называть их *тампонажными растворами*. Тампонажным растворам можно дать более общую формулировку: это раствор, получаемый после затворения тампонажного цемента водой (или иной жидкостью), обработанной химическими добавками (или без них) для повышения качества раствора и камня или облегчения проведения технологического процесса.

Тампонажным цементом называется продукт, состоящий из одного или нескольких вяжущих (портландцемента, шлака, извести, органических материалов и т. д.), минеральных (кварцевого песка, асбеста, глины, шлака или др.) или органических (хлопковых очесов, отходов целлюлозного производства и пр.) добавок, позволяющих после затворения водой или иной жидкостью получить раствор, а затем камень обусловленного качества.

Успех цементировочных работ определяется техникой и технологией проведения процессов цементирования, качеством подготовительных работ, тампонажного материала и полнотой замещения бурового раствора тампонажным. Серьезное значение имеет квалификация операторов и инженерно-технического персонала. В комплексе работ по обеспечению качества цементирования скважин важны все звенья. Необходимо уделять серьезное внимание подготовке ствола скважины, выбору обсадных труб, подбору рецептуры (особенно при цементировании глубоких высокотемпературных скважин) цементного (тампонажного) раствора и проведению собственно процесса цементирования скважины. Только при качественном креплении и разобщении пластов возможна длительная эксплуатация скважины без проведения исправительных работ. Обеспечение качества крепи нефтяных и газовых скважин связано со всеми стадиями процесса ее формирования — научными исследованиями, проектированием, бурением, эксплуатацией, техническим обслуживанием, ремонтом. Проблема повышения качества крепи является комплексной и поэтому требует совершенствования всех ее аспектов.

Правильное написание некоторых специальных терминов

Ангидрид (минерал)

Асбест

Битум

Бурение с промывкой буровым раствором (а не на буровом растворе)

Высота подъема цементного раствора (а не цемента)

Гашёная (известь)

Добы́ча

Доменный шлак

Закачка цементного раствора (а не цемента)

Изверженная (порода)

Контакт напряженный или ненапряженный (а не хороший или плохой, прочный или слабый)

Контра́кция

Мёргель, мёргелистый

Механическая прочность цементного камня (а не цемента)

Обжиг, обожжённый

Пек (а не пёк)

Песча́ник

Пушо́нка (известь-пушо́нка)

Сй́лос

Тампони́рование (а не тампо-наж)

Цеме́нт

Цементи́рование (а не заливка или цементаж)

Ще́бень (а не щебенка)

Шлам

Все способы цементирования имеют одну цель — вытеснить буровой раствор тампонажным из затрубного пространства скважины и поднять его на заданную высоту¹. В результате этого исключается возможность движения любой жидкости или газа из одного пласта в другой через затрубное пространство, обеспечивается длительная изоляция продуктивных объектов от водоносных, укрепляются неустойчивые, склонные к обвалам и осыпям породы, обсадная колонна предохраняется от коррозии пластовыми водами и повышается ее несущая способность.

Существует несколько способов цементирования обсадных колонн. Все они могут быть разделены на две большие группы — первичные и вторичные (ремонтные, повторные, восстановительные) способы цементирования нефтяных и газовых скважин. Первичные цементирования проводят после бурения. Вторичные (ремонтные) — после первичных, обычно после некоторого периода работ в скважинах и нарушения герметичности затрубного пространства или колонны, появления посторонних вод, прохождения газа по зацементированному колонному пространству и т. д.

СПОСОБЫ ПЕРВИЧНОГО ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ

Сплошное цементирование с двумя пробками (рис. 5)

После спуска в скважину колонны обсадных труб с установленными элементами технологической оснастки и стоп-кольцом на верхней трубе монтируют цементировочную головку. В цементировочной головке закрепляется верхняя цементировочная (разделительная) пробка (рис. 6). В некоторых конструкциях нижняя цементировочная пробка также монтируется в корпусе головки.

Цементировочная головка соединяется с цементировочными насосами или насосами буровой. После промывки скважины в колонну продавливают нижнюю цементировочную пробку (см. рис. 5, а). Одновременно в работу включают насосы цементировочных агрегатов и цементно-смесительные машины, приготовляющие цементный (тампонажный) раствор.

¹ Исключение могут составить ремонтные работы.

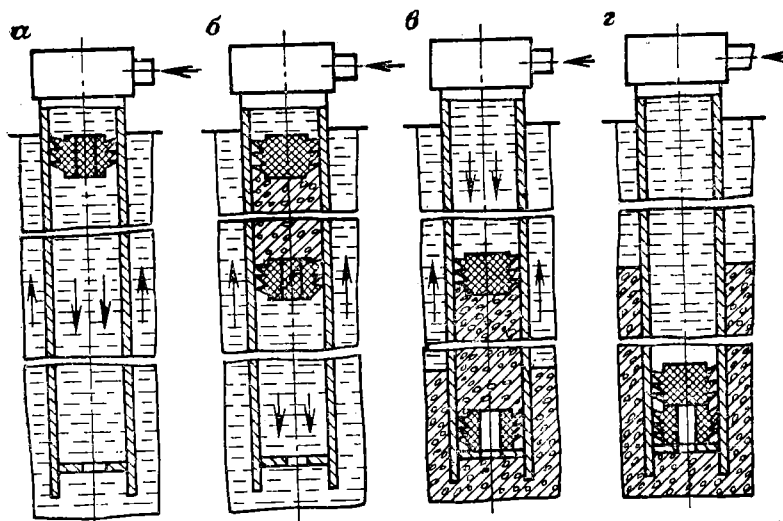


Рис. 5. Схема цементирования скважины с двумя пробками (по стадиям)

После закачки в скважину необходимого количества цементного раствора сбрасывают верхнюю цементировочную пробку (см. рис. 5, б). Цементный раствор движется между двумя пробками, которые отделяют его от бурового раствора, предохраняя от загрязнения в обсадной колонне (см. рис. 5, в).

Вслед за верхней цементировочной пробкой закачивают продавочную жидкость (чаще всего буровой раствор), которой продавливают цементный раствор в затрубное пространство. Продавливание начинается с момента посадки нижней пробки (если она используется) на стоп-кольцо и прорыва диафрагмы в пробке (см. рис. 5, г), что достигается повышением давления в колонне.

Подсчитывают количество продавочной жидкости, закачиваемой в скважину. Когда остается 1—2 м³ продавочной жидкости, интенсивность ее закачки снижают. Процесс ведут до схождения пробок, посадки верхней пробки на нижнюю. Этот момент называется моментом «стоп» и характеризуется повышением давления.

В случае применения буферной жидкости последняя транспортируется перед тампонажным раствором и вслед за ним. Она предназначена для предупреждения смешения бурового и тампонажного растворов, для очистки ствола и стенки скважины.

На рис. 7 представлены конструкции различных цементировочных пробок, их назначение — разделение цементного и глинистого растворов и фиксация окончания процесса цементирования скважин.

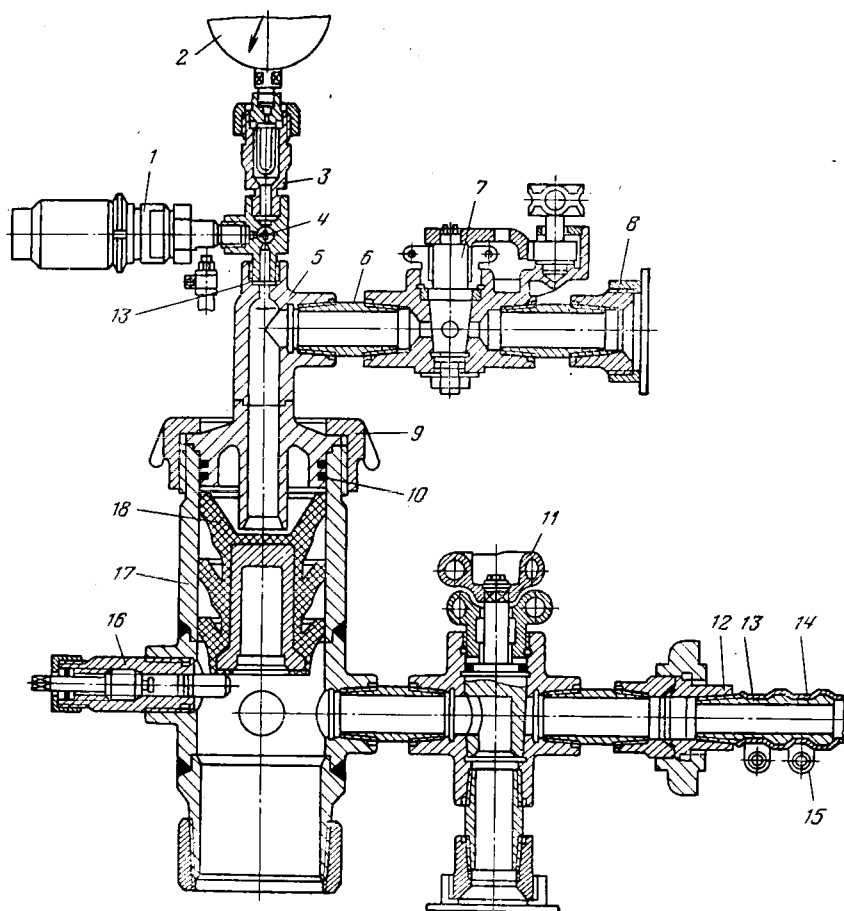


Рис. 6. Цементирующая головка 2ГУЦ-400 с установленной цементирующей пробкой:

1 — предохранительный клапан; 2 — манометр; 3 — разделитель; 4 — тройник; 5 — крышка; 6 — ниппель; 7 — пробковый кран; 8 — колпак; 9 — нажимная гайка; 10 — уплотнение; 11 — трехходовой пробковый кран; 12 — быстросовмещающееся соединение; 13 — штуцер; 14 — шланг; 15 — муфта; 16 — стопорный винт; 17 — разделительная пробка; 18 — корпус

Сплошное цементирование с одной (верхней) пробкой

При цементировании нефтяных и газовых скважин часто пользуются одной (верхней) цементирующей пробкой. Операция осуществляется по схеме, описанной для сплошного цементирования с двумя пробками, с той лишь разницей, что нижняя цементирующая пробка отсутствует, верхняя пробка садится на стоп-кольцо, что сопровождается ростом давления.

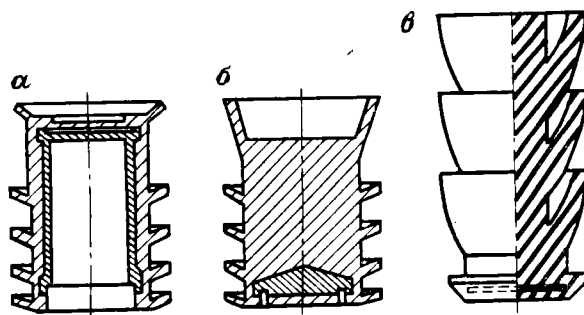


Рис. 7. Конструкции цементировочных пробок:
а — нижняя; б, в — верхние

Процесс цементирования считается окончанным. Предпочтение следует отдавать процессу с двумя цементировочными пробками.

Цементирование хвостовика и нижних секций обсадных колонн

Хвостовики и нижние секции обсадных колонн при их секционном спуске цементируют в большинстве случаев одинаково. Иногда хвостовики цементируют без разделительных цементировочных пробок, в этом случае процесс цементирования заключается в следующем.

После подготовки ствола скважины на бурильной колонне спускают хвостовик до заданной глубины. Обсадная колонна (хвостовик) соединяется с бурильными трубами с помощью «левого» переводника (переводник с левой резьбой). При спуске хвостовик и бурильные трубы заполняют буровым раствором. Затем в трубы закачивают необходимое количество цементного раствора, продавливаемого продавочной жидкостью (буровым раствором). Количество продавочной жидкости принимают равным внутреннему объему бурильных труб и хвостовика, исключая объем цементного раствора, который остается в нижней части обсадных труб (цементный стакан). После продавки цементного раствора вращением вправо отвинчивают бурильные трубы от хвостовика и приподнимают их на несколько метров. Через бурильные трубы прокачивают буровой раствор, чтобы удалить из них и скважины излишки цементного раствора, поднявшегося выше верхней муфты хвостовика. Скважину промывают, пока не будет прокачан буровой раствор в количестве, равном полуторному или двойному объему скважины (выше хвостовика). В случае применения буферной жидкости последнюю закачивают перед тампонажным раствором, а иногда и после него.

В большинстве случаев при цементировании хвостовиков применяют цементирующую пробку. Пробка состоит из двух частей: нижняя часть подвешивается на специальном патрубке в хвостовике с помощью штифтов, верхняя часть пробки освобождается и движется по колонне бурильных труб. Когда верхняя часть пробки садится в отверстие нижней и перекрывает его, создается избыточное давление и штифты срезаются. Обе части пробки движутся вместе, разделяя буровой раствор от цементного и давая возможность фиксировать давление «стоп» (рис. 8). Для спуска хвостовиков и секций обсадных колонн (кроме верхней) и удержания их в подвешенном положении существуют специальные устройства — подвески, конструкции которых различны.

После продавки тампонажного раствора необходимо убедиться в герметичности обратного клапана, подвесить хвостовик (секцию) на талевой системе, отсоединить бурильные трубы от обсадных, промыть скважину через бурильные трубы и поднять их. В период цементирования и ОЗЦ хвостовик или секция колонны должны оставаться в растянутом состоянии; разгрузка их на забой или на ранее спущенную часть колонны не должна превышать 20—30 кН.

Манжетное цементирование

Манжетное цементирование применяют на месторождениях с низким пластовым давлением или сильно дренированных, подверженных гидроразрыву пластами. На обсадной колонне в нижней части устанавливают манжету (корзину), в интервале крепления которой обсадную колонну перфорируют. Стоп-кольцо устанавливают выше отверстий перфорации. Цементирование проводят обычным технологическим приемом, однако цементный раствор выходит не из-под башмака колонны, а из отверстий в интервале установки корзины. Наличие манжеты не позволяет цементному раствору опускаться ниже места ее установки. Давление на пласт в нижней части скважины остается прежним. Зацементированным остается участок скважины выше манжеты.

Метод двухступенчатого цементирования скважин

Двухступенчатое¹ цементирование применяют, когда по геолого-техническим причинам цементный раствор не может быть поднят на требуемую высоту в одну ступень. Целесообразно его использовать: 1) при наличии зон поглощения в нижележащих пластах; 2) при наличии резко различающихся темпе-

¹ Известны случаи применения метода трехступенчатого цементирования.

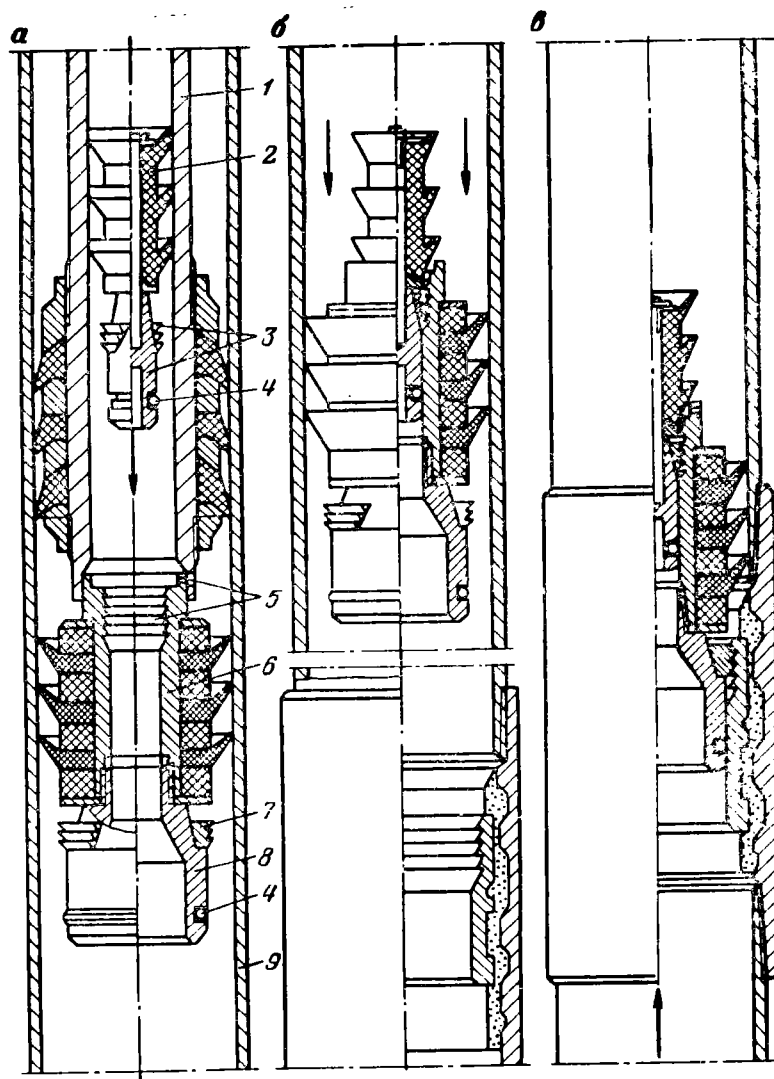


Рис. 8. Цементирование хвостовика с применением разделительной пробки:
 1, 9 — трубы; 2 — верхняя часть пробки; 3 — нижние части пробки; 4 — кольца; 5 — узлы соединения; 6 — пробка; 7 — шлицы; 8 — переводник; а, б, в — этапы следования частей пробки

ратур в зоне подъема цементного раствора, вызывающих быстрое его схватывание в нижней части; 3) в случае невозможности одновременного вызова на буровую большого числа цементируемых агрегатов. Применение двухступенчатого способа цементирования может способствовать экономии цемента.

При двухступенчатом цементировании колонну цементируют в две стадии: вначале цементируют нижнюю ее часть, затем — верхнюю.

Рассмотрим более подробно способ двухступенчатого цементирования (рис. 9).

На выбранной глубине на обсадную колонну при ее спуске устанавливают специальную муфту, имеющую отверстия. При цементировании нижней части обсадной колонны они закрыты. После промывки скважины в колонну помещают нижнюю цементирующую (разделительную) пробку; при цементировании с одной пробкой нижнюю цементирующую пробку не применяют. Затем закачивают цементный раствор, после которого сбрасывают вторую цементирующую (разделительную) пробку. Продавочной жидкостью, взятой в количестве, равном объему нижней части обсадной колонны, продавливают цементный раствор. Затем в колонну помещают третью цементирующую (разделительную) пробку, диаметр которой больше диаметров первых.

Когда верхняя цементирующая (разделительная) пробка садится на первую, третья пробка подходит к цементирующей муфте и сдвигает ниппель, открывая отверстия. Третья пробка остается на муфте, а продавочная жидкость выходит через отверстия специальной муфты. После промывки поднявшегося выше отверстий специальной муфты цементного раствора в течение некоторого времени (с учетом затвердения цементного раствора за нижней секцией колонны) закачивают новую порцию цементного раствора, которая выходит из отверстия и поднимается выше муфты в затрубном пространстве. За цементным раствором сбрасывают четвертую пробку, которая является одновременно запорной и разделительной. После выдавливания всего цементного раствора через отверстия четвертая пробка подходит к муфте и сдвигает ниппель, закрывая отверстия. Процесс цементирования считается законченным.

Описанный двухступенчатый способ цементирования часто применяют с некоторыми изменениями, используя первые две пробки или одну из них, буферную жидкость, увеличивают время между закачками раствора первой и второй ступенями и т. д.

Успех проведения процесса при двухступенчатом способе цементирования определяется в основном высоким качеством

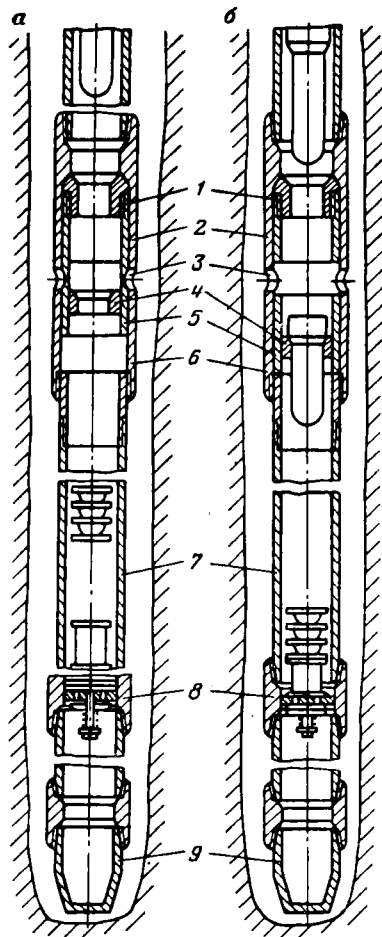
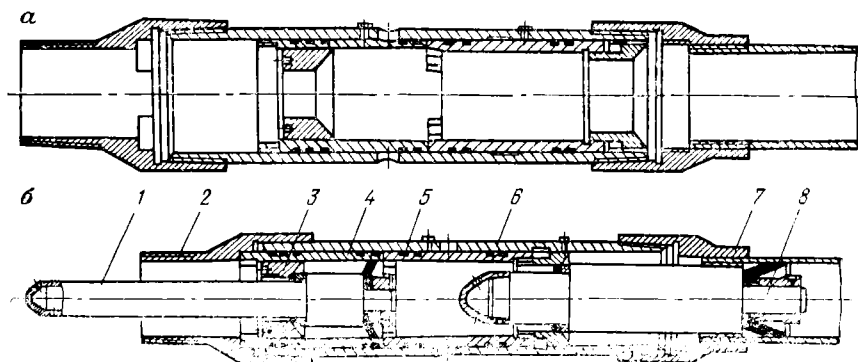


Рис. 9. Схема двухступенчатого це-
ментирования:

а, б — положения соответственно до и по-
сле открытия отверстий в цементирующей
муфте; 1 — верхнее седло; 2 — верхний ци-
линдр; 3 — отверстие для выхода цемент-
ного раствора; 4 — нижнее седло; 5 — ниж-
ний цилиндр; 6 — муфта для двухступенча-
того цементирования; 7 — обсадная колон-
на; 8 — обратный клапан; 9 — направляю-
щий башмак

Рис. 10. Муфта для двухступенчатого
цементирования скважин:

1 — положение перед цементированием;
2 — положение после цементирования



и надежностью муфты в работе. На рис. 10 изображен один из вариантов муфты для двухступенчатого цементирования скважин.

Муфта состоит из корпуса 6, который при помощи верхнего 7 и нижнего 2 переводников соединен с колонной. Внутри корпуса 6 помещены нижний стальной цилиндр 4 с чугунным гнездом 3 для нижней пробки и верхний стальной цилиндр 5 с чугунным гнездом под верхнюю пробку (пробки применяют при цементировании второй ступени). В корпусе имеются два отверстия диаметром 30 мм для восстановления циркуляции через муфту и четыре отверстия с резьбой для стопоров. На торцах цилиндров в нижнем переводнике 2 имеются углубления и соответствующие им выступы, исключающие поворот цилиндров внутри корпуса. В комплект муфты входят две пробки — нижняя 1 и верхняя 8.

На рис. 11 представлена современная муфта конструкции ВНИИКРнефти МСЦ, входящая в размерный ряд муфт для обсадных колонн большинства диаметров.

Муфты ступенчатого цементирования типа МСЦ1

Конструктивно муфта ступенчатого цементирования типа МСЦ1 представляет собой полый цилиндрический корпус 1 с присоединительными резьбами на концах, обойму 2, смонтированную на его внешней поверхности и образующую на части длины кольцевой зазор. Внутри корпуса размещены с возможностью осевого перемещения втулки 3 и 7 и зафиксированы в исходном положении срезными винтами 6, 9. Стопорное кольцо 10 ограничивает перемещение втулок вниз в кольцевом зазоре, между обоймой и корпусом размещена заслонка 5. В корпусе и обойме имеются соосно расположенные циркуляционные отверстия 8. В исходном положении заслонка и верхняя втулка находятся выше циркуляционных отверстий и нижняя втулка герметично (уплотнение 4) перекрывает их. Муфта снабжена пробками: верхней разделительной 11 (рис. 11, а) для I ступени цементирования, падающей 12 (рис. 11, б), открывающей циркуляционные отверстия в муфте, и запорной 13 (рис. 11, в), служащей для закрытия циркуляционных отверстий муфты.

На рис. 11, а муфта показана в исходном положении, на рис. 11, б — в момент открытия цементировочных отверстий, а на рис. 11, в — в конечном положении с закрытыми циркуляционными отверстиями по окончании второй ступени цементирования.

Техническая характеристика муфт типа МСЦ1 приведена в табл. 1.

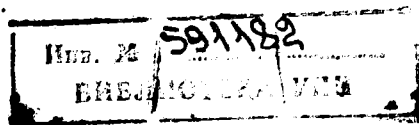


Таблица 1

Техническая характеристика типоразмерного ряда муфт типа МСЦ1

Параметры	Шифр муфты						
	МСЦ1-140	МСЦ1-146	МСЦ1-168	МСЦ1-178	МСЦ1-194	МСЦ1-219	МСЦ1-245
Условный диаметр, мм	140	146	168	178	194	219	245
Грузоподъемность, т	75	90	120	150	200	200	200
Диаметр, мм:							
наружный	168	176	196	208	226	255	283
внутренний	120	124	146	157	173	199	224
Рабочее давление при эксплуатации, МПа	60	58,5	50	48	46	43	40

Метод обратного цементирования скважин (через затрубное пространство)

Под обратным цементированием понимают процесс, при котором тампонажный раствор заливается (закачивается) в затрубное (межколонное) пространство сверху и перемещается на любую глубину под действием своего собственного веса или давления нагнетания.

Этот метод в настоящее время находит широкое распространение при первичном цементировании обсадных колонн, перекрывающих пласты большой мощности, подверженные гидроразрыву при небольших перепадах давления, а также при комбинированном методе, когда нижняя часть ствола цементируется по технологии прямой циркуляции, а верхняя — по технологии обратной циркуляции.

В последние годы предложены и разработаны методы и устройства, позволяющие вымывать из обсадной колонны смесь цементного и бурового растворов и определять конец операции, что устранило существенные недостатки, присущие методу обратного цементирования, при котором контроль закачиваемого цементного раствора ведется по расчету объема или прибором гамма-каротажа.

На рис. 12 показаны этапы цементирования по технологии, обеспечивающей контроль за поступлением цементного раствора в башмак обсадной колонны и вымыв смеси бурового и цементного растворов. Данная технология предусматривает спуск дополнительной (промывочной) колонны.

Затрубное пространство при необходимости герметизируется превентором; при безнапорной закачке цементного раство-

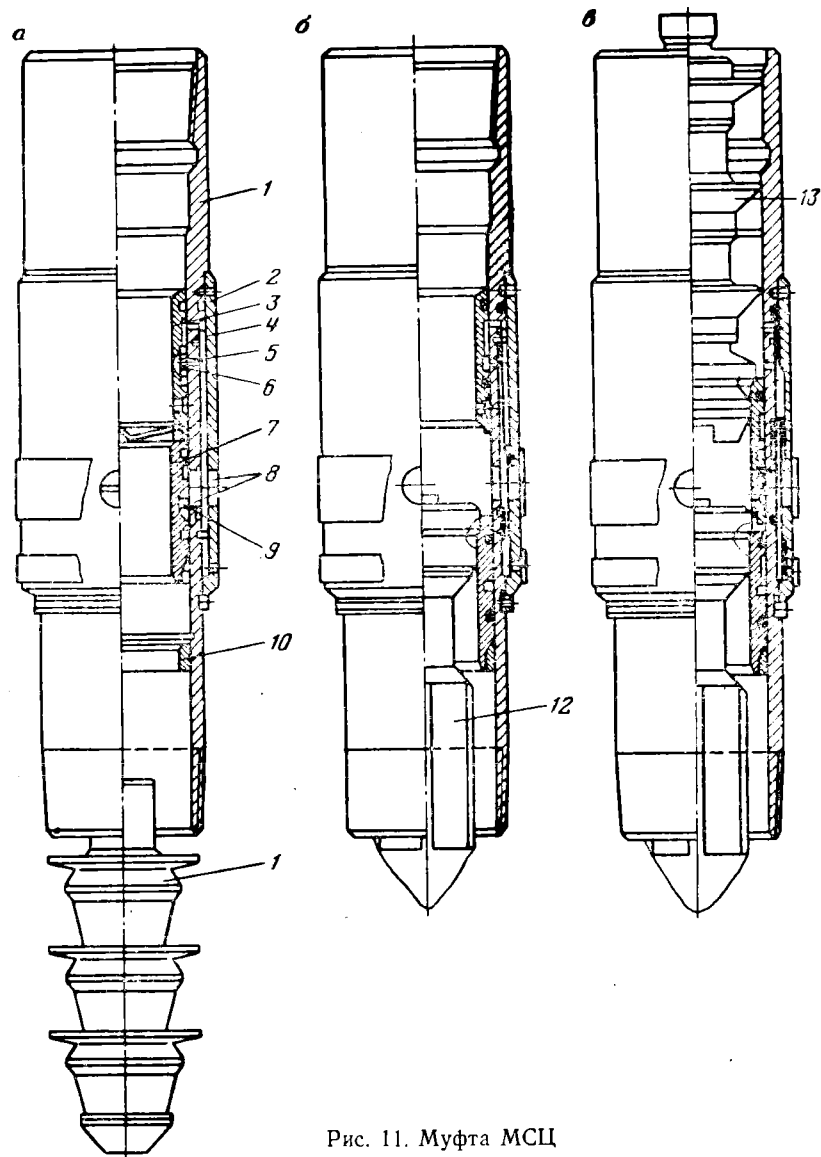


Рис. 11. Муфта МСЦ

ра закрывать превентор не обязательно. Основные этапы технологии сводятся к следующему.

1. Промывочный узел 2 разгружают на седло обратного клапана 5 на 10—15 кН и обсадную колонну опрессовывают через межтрубное пространство (рис. 12, а). Таким образом,

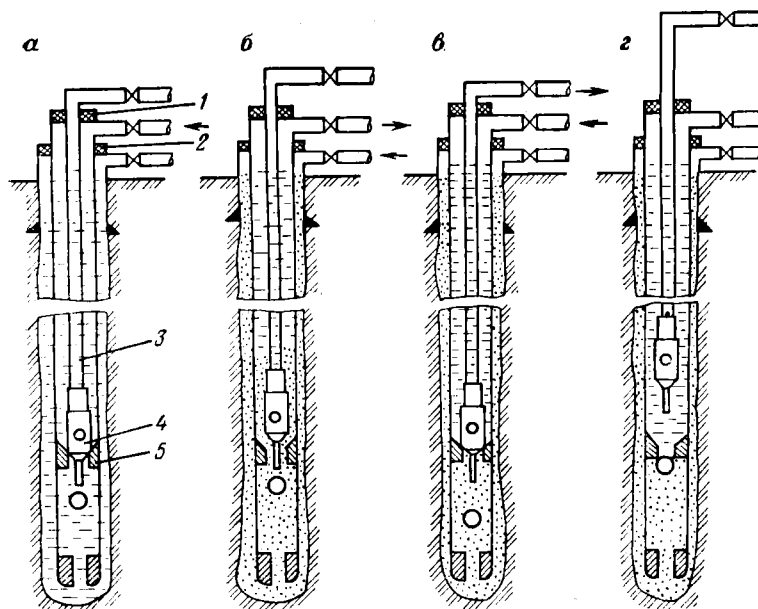


Рис. 12. Этапы обратного цементирования

можно опрессовать обсадную колонну до цементирования, предварительно переведя трубное пространство на воду.

2. Промывочную колонну 1 приподнимают так, чтобы между промывочным узлом и седлом клапана образовался зазор, а шар был отжат толкателем 4 ниже диафрагмы клапана (рис. 12, б). Начнется переток жидкости из затрубного пространства в трубное, и в это время надо начинать закачку цементного раствора, которая может осуществляться без напора и, если есть необходимость, то и с некоторым опорожнением затрубного пространства.

Закачка цементного раствора продолжается до тех пор, пока смесь цементного и бурового растворов полностью не войдет в обсадную колонну.

Контроль за входом цементного раствора в колонну следует осуществлять по объему закачиваемой и выходящей жидкости, по давлению.

3. По окончании закачки цементного раствора промывочный узел разгружают на седло клапана и обратной промывкой удаляют образовавшуюся смесь и излишки цементного раствора из обсадной колонны (рис. 12, в). Эта операция позволяет убедиться в том, что процесс цементирования закончен и цементный раствор заполнил затрубное пространство, и одновременно избежать разбуривания цементного стакана в колонне.

4. На период ОЗЦ промывочный узел приподнимают над обратным клапаном так, чтобы шар перекрыл отверстие в диафрагме, и проводят все операции, предшествующие перфорации обсадной колонны, в том числе и заполнение опорожненной части затрубного пространства цементным раствором (рис. 12, з).

Обратный способ цементирования позволяет регулировать забойное давление в широком диапазоне, снижать гидродинамические нагрузки на пласты, использовать безнапорную закачку цементного раствора на скорости до 3,5 м/с, при которой достигается турбулентный режим движения цементного раствора. Снижая время проведения операции цементирования за счет исключения этапа продавки и скорости закачки, можно значительно снизить расходы химических добавок при достижении одновременного схватывания цементного раствора по всей длине скважины.

Секционный спуск обсадных колонн

В случае секционного спуска обсадных колонн, а также спуска потайных колонн применяется комплекс устройств для подвески секций обсадных колонн на цементном камне типа ЦСП, который состоит из устройства для подвешивания секций обсадных колонн на цементном камне, именуемого «подвесным» — ЦПУ, и устройства для соединения секций обсадных колонн, именуемого «стыковкой» — ЦРС.

В состав «подвесного» устройства входят: подвеска, разъединитель, пробка секционная; в состав «стыковки» — муфта посадочная, соединитель, муфта секционного цементирования, запорная пробка.

Комплекс обеспечивает выполнение следующих операций:

- 1) соединение с бурильной колонной, спуск до проектной глубины и удержание в растянутом состоянии секции обсадной колонны в течение всего периода цементирования и ОЗЦ;
- 2) расхаживание колонны в процессе спуска и цементирования;
- 3) цементирование секций в соединенном состоянии;
- 4) периодическое вращение бурильной колонны во время ОЗЦ;
- 5) промывку скважины для удаления цементного раствора, поднятого выше «головы» секции;
- 6) отсоединение колонны бурильных труб от секции обсадной колонны после ОЗЦ.

Подвеска колонны (рис. 13) состоит из корпуса, выполненного из двух частей 18 и 9 с возможностью их относительного осевого перемещения, шпинделя 35 гребенчатой пяты 37, циркуляционного клапана 30 золотникового типа, закрывающей

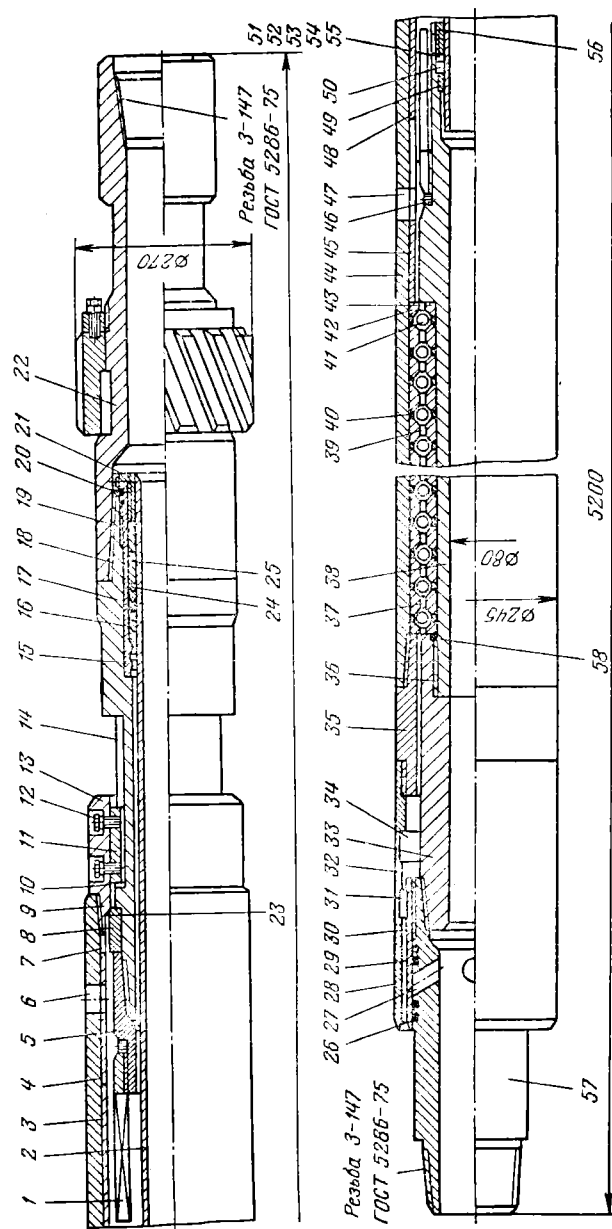


Рис. 13. Подвеска секций обсадных колонн ЦСП

муфты 4, муфты сцепления 1 кулачкового типа, механизма передачи крутящего момента 10, выполненного в виде шпоночного соединения. Корпус 18 состоит из ствола 17, верхнего переводника 22, нижнего 5 и опорного колец 8.

В верхней части переводника 22 выполнена замковая резьба для соединения с бурильной колонной, в нижней части переводника — резьба для соединения со стволом 17.

В верхней части ствола 17 имеется расточка для установки корпуса 19 верхнего уплотнительного узла.

На наружной поверхности ствола расположены две диаметрально противоположные продольные канавки 14 для размещения в них шпонок 11, передающих крутящий момент от подвижной части корпуса 18 на часть корпуса 9. Часть корпуса 9 состоит из цилиндра 44, верхнего переводника 13, нижнего 35 и кожуха 28. В верхней и нижней частях цилиндра выполнена резьба для соединения с переводниками, а также верхние 6 и нижние 47 отверстия для промывки внутренней полости изделия (46 — прокладка для герметизации полостей).

Верхний переводник 13 имеет резьбу для соединения с цилиндром, внутренний опорный торец 23 и две продольные диаметрально противоположные канавки, выполненные на внутренней поверхности для размещения в них шпонок 11, которые закреплены болтами 12.

Кожух имеет два продольных диаметрально противоположных паза 32 для размещения в них шпонок 31 золотниковой втулки 29 и внутреннюю цилиндрическую расточку 34 для расположения в ней шпонок 31.

Шпиндель 36 состоит из вала 38, переводника 33 и сальниковой трубы 2.

Уплотнительный узел состоит из стальных колец 55, 54, 53 и 52 и резиновых 51 и 49. В стальном кольце 54 закреплены пальцы 50. Закрепляется уплотнительный узел гайкой 56.

Гребенчатая пята представляет собой упорно-радиальный многорядный подшипник. В нижней и верхней частях подшипника расположены уплотнительные кольца 40 и стальные кольца 43, 42, 41 и 39. Пакет подшипника собирается на валу шпинделя и зажимается через регулировочное кольцо 58 переводником 33. В цилиндре 44 наружные обоймы подшипника зажимаются переводниками 13, 35, втулками 44, 3, 48, 45 и кольцом 7.

Циркуляционный клапан 30 состоит из корпуса 57 с расположенными в нем четырьмя отверстиями 27, золотниковой втулки 29 со шпонками 31 и уплотнений 26.

Верхний уплотнительный узел размещен в верхней части ствола 17 и состоит из корпуса 19 с уплотнениями 20, сменных втулок 25, стальных колец 24, резиновых манжет 16 и гайки 21, которая зажимает манжеты в корпусе.

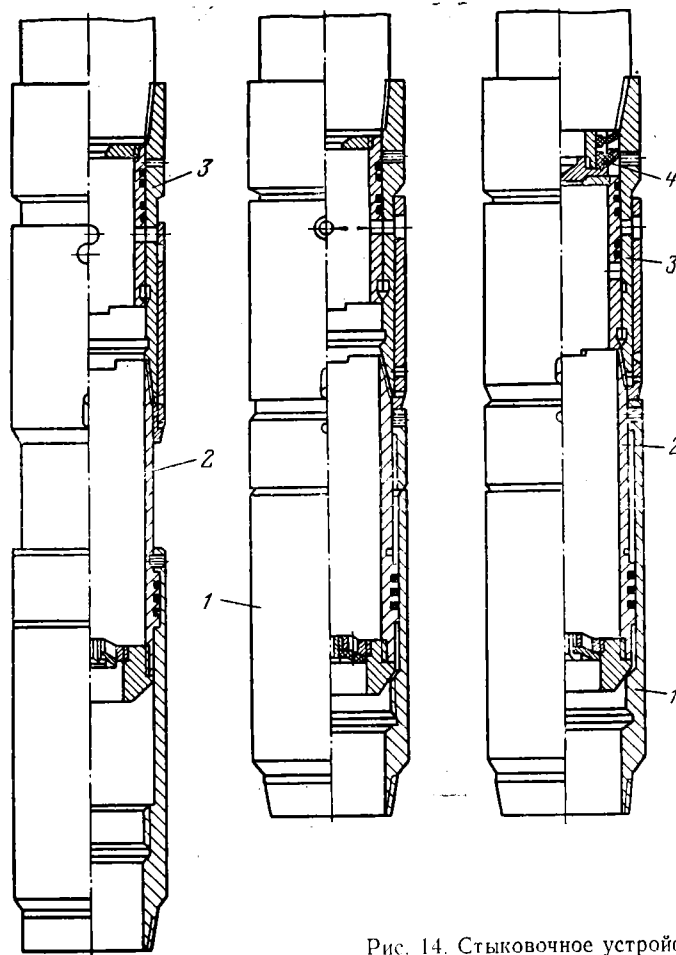


Рис. 14. Стыковочное устройство

Кольцо 15 установлено на случай ремонта резьбы ствола 8 при его укорочении.

Стыковочное устройство (рис. 14) состоит из посадочной муфты 1, соединителя 2, муфты секционного цементированья 3 и запорной пробки 4. Устройство стыковки показано в трех положениях: до соединения секций, после соединения и после окончания процесса цементированья.

СПОСОБЫ ПОВТОРНОГО (ИСПРАВИТЕЛЬНОГО) ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ

Под способами повторного цементированья понимают исправительные способы, применение которых вызвано необходимостью проведения ремонтных работ в результате обнару-

жения течи, нарушения герметичности колонны или поступления пластовых вод в скважину через отверстия перфорации вместе с нефтью или газом.

Эти способы сводятся к транспортированию некоторого количества цементного раствора (определяемого расчетом) в скважину, не обсаженную или обсаженную колонной труб.

Цементный раствор транспортируется в скважину по трубам малого диаметра. Закачанный в них раствор продавливают буровым раствором в пространство за трубами малого диаметра. Трубы поднимают, промывают буровым раствором и после затвердения цементного раствора цементирование считается оконченным. Цементный камень, полученный в скважине описанным способом, называется цементным мостом.

В некоторых случаях находящийся в скважине цементный раствор стараются зажать в трещины пласта или в отверстия в колонне, являющиеся причиной ее негерметичности. Тогда пространство между обсадными трубами или между трубами малого диаметра и стенкой скважины герметизируют и создают давление прокачиванием в трубы бурового раствора. Эта операция называется цементированием под давлением или установкой моста под давлением.

Для ускорения операции установки цементных мостов в скважинах существует несколько типов цементируемых головок, схем обвязки устья скважины и расстановки цементируемых машин. Широкое распространение при проведении изоляционных работ получил способ Н. К. Байбакова. Он состоит в следующем. Устанавливают два цементирующих агрегата: один из них служит непосредственно для проведения процесса цементирования, а другой — для ускорения работ по закачке цементного раствора и как резервный. Цементирующие агрегаты соединяются со скважиной с помощью труб (рис. 15). Цементный раствор закачивается по трубам через задвижки 1 и 2, 1' и 2' при открытых задвижках 3, 4 и 5. Задвижки 6, 7, 7' и 3' закрыты. Прокачиваемый в скважину цементный раствор вытесняет находящуюся там жидкость, которая выходит по нижней трубе через задвижки 3, 4 и 5.

Для предотвращения подъема цементного раствора в пространство между трубами в момент, когда цементный раствор не доходит до башмака спущенных в скважину труб, закрывают задвижки 4 и 5. После этого продавливают цементный раствор в пласт через нарушения колонны или через отверстия фильтра. При обратной промывке остатки цементного раствора вымываются буровым раствором или водой, которые закачивают в скважину через задвижки 6, 4, 3 и 3', причем задвижки 2, 2' и 5 закрыты; жидкость выходит из скважины через спущенные трубы (их иногда называют заливочными) и сбрасывается через задвижки 7 и 7'.

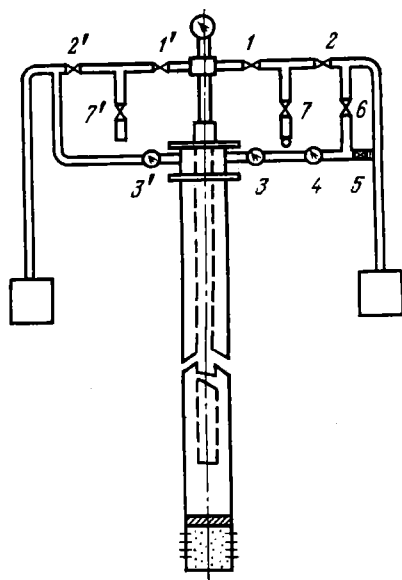


Рис. 15. Схема обвязки и расположения оборудования при повторном цементировании по методу Н. К. Байбакова

РЕМОНТНЫЕ И РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ В СКВАЖИНАХ

Применительно к устранению конкретных дефектов в скважинах применяют различные методы их восстановления.

При возможности дальнейшей добычи нефти или газа из пласта, но при обнаружении дефектов течей в обсадных колоннах получил широкое распространение способ установки стальных пластырей, разработанный во ВНИИКРнефти (Всесоюзный научно-исследовательский институт по креплению скважин и буровым растворам).

Сущность метода заключается в установке стального пластыря внутри обсадной колонны в месте ее повреждения. Герметичность восстанавливается за счет уплотняющего слоя, нанесенного на пластырь перед спуском его в скважину. При установке пластырь расширяется специальным инструментом (дорном) до напряженного контакта с внутренними стенками обсадной колонны. При заделке отверстий диаметром меньше 25 мм прочность обсадной трубы на внутреннее и внешнее избыточные давления восстанавливается полностью. Проходной диаметр колонны в месте установки пластыря уменьшается всего на 4—6 мм в зависимости от толщины его стенок.

Технологическая последовательность операций ремонта показана на рис. 16. После обнаружения места повреждения и определения его формы (операции 2, 3, 4) в скважину на бу-

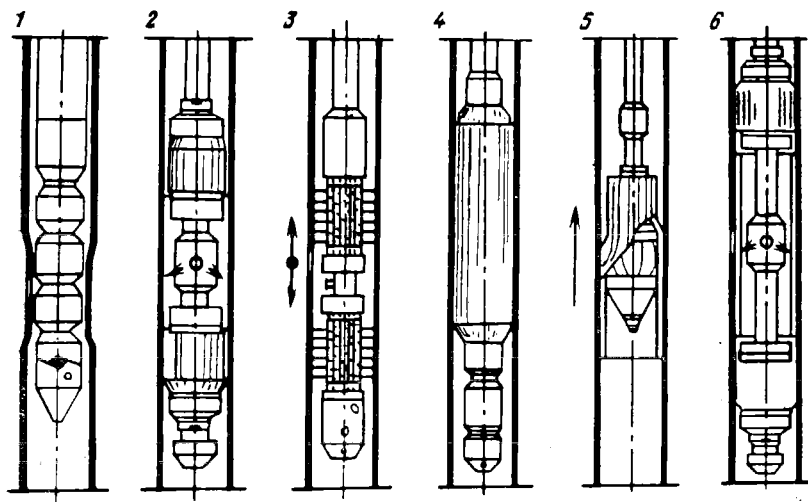


Рис. 16. Последовательность операций ремонта

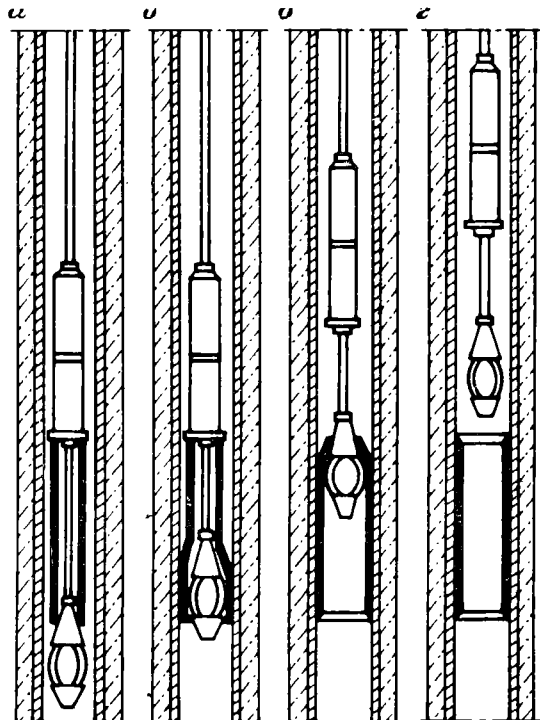


Рис. 17. Первая схема работы дорна

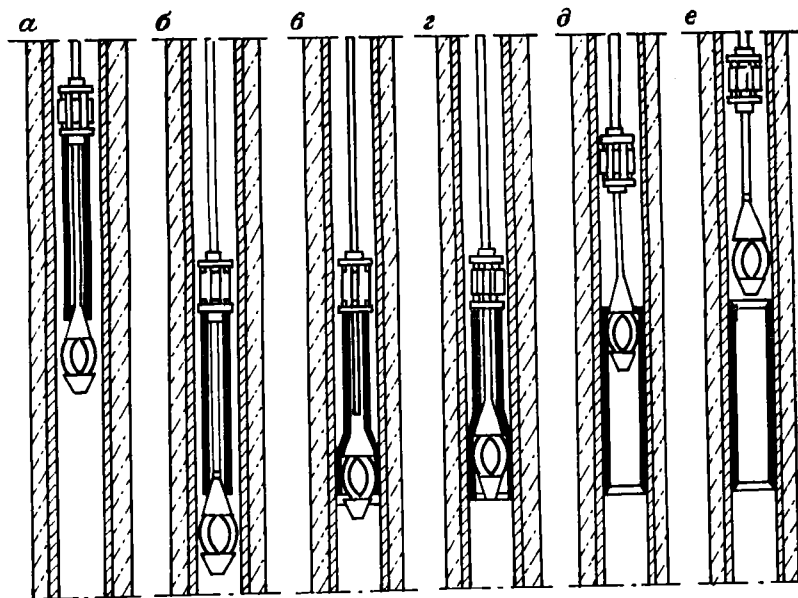


Рис. 18. Вторая схема работы дорна

рильных или насосно-компрессорных трубах (НКТ) спускается стальной пластырь с дорном. Дорны могут работать по двум схемам. По первой схеме (рис. 17, а, б) гидроцилиндры дорна протаскивают расширяющую головку через пластырь, создавая участок предварительного его зацепления с колонной. Дальнейшее расширение можно обеспечить путем протягивания колонны НКТ с дорном через пластырь (рис. 17, в, г).

По второй схеме (рис. 18) — без гидроцилиндров первоначально пластырь на месте удерживается якорями (рис. 18, а, б — в процессе спуска), а протягивание обеспечивается НКТ или бурильными трубами (рис. 18, в, г, д, е). Таким образом, весь процесс расширения пластыря в обсадной колонне происходит за один спуск инструмента. Остальные работы традиционны и для других ранее применявшихся методов ремонта.

Новый метод ремонта крепи скважин кроме большой экономической эффективности, экономии материалов и обсадных труб сокращает время пребывания скважин в простое и повышает производительность бригад капитального ремонта.

Иногда цементный раствор доставляется в скважину желонкой. После спуска в скважину желонка открывается. Цементный раствор выливается из него и располагается в необходимом месте установки цементного моста.

Относительная трудоемкость работ по установке мостов в скважинах привела к поискам новых способов и устройств герметизации части скважины (обсадной колонны). В качестве одного из них был предложен стреляющий тампонажный снаряд (СТС). Он служит для установки резинового тампона на заданной глубине в колонне (рис. 19). СТС состоит из корпуса 6, являющегося стволом и зарядной камерой для размещения резиновой пробки-тампона 8, и порохового заряда 7; переводника 5; электроввода, герметизируемого кольцом 3, двумя резиновыми пробками, зажатыми штуцерами и уплотнением 4; соединительной головки 2 с подвесным болтом 1. Ствол и зарядная камера разделяются диском, вставленным в снаряд перед запрессовкой пробки. После выталкивания пробки из ствола, когда СТС спущен в скважину на нужную глубину, в результате взрыва порохового заряда пробка размещается в обсадной колонне, расширяясь в объеме. Иногда на пробку выливают некоторое количество цементного раствора для повышения надежности и прочности моста.

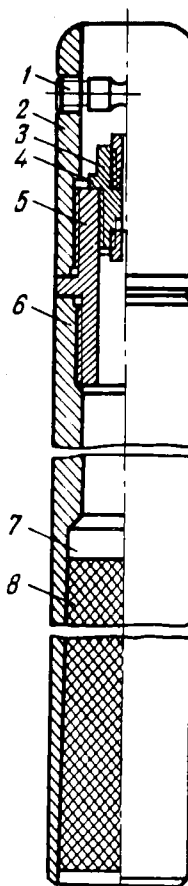


Рис. 19. Стреляющий тампонажный снаряд

Контрольные вопросы

1. Какие способы цементирования Вам известны?
2. Что понимается под первичным цементированием?
3. Какие способы повторного цементирования Вам известны?

Глава II

ТЕХНОЛОГИЯ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН

Под технологией (от греческого «мастерство+слово, наука») цементирования нефтяных и газовых скважин следует понимать осуществление выработанных норм и правил работ с целью наиболее полного замещения бурового раствора тампонажным при обеспечении контактирования его с обсадной колонной и стенками скважины.

Эти работы связаны с приготовлением и движением буровых (главным образом глинистых) и тампонажных растворов в обсадной колонне и затрубном пространстве. Для умелого ведения указанных работ следует знать свойства растворов.

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ

Буровые и тампонажные растворы представляют собой дисперсные системы, в которых глина или цемент являются дисперсной фазой, а вода — дисперсионной средой. Свойства этих растворов находятся в тесной зависимости от свойств глины или цемента и той жидкости, которая составляет дисперсионную среду.

В спокойном состоянии в результате взаимодействия частиц дисперсной фазы (глины, цемента) между собой и с молекулами дисперсионной среды в буровых и цементных растворах происходит структурообразование, что внешне проявляется в застудневании растворов — их загустевании. Вследствие этого рассматриваемые растворы по своим свойствам напоминают упругие тела, обладающие некоторой упругой деформацией. В цементных растворах структурирование системы возрастает и раствор постепенно затвердевает, теряя свойства жидкости. Частицы цементного и глинистого растворов покрываются водяной оболочкой, называемой сольватной. Цементные частицы хорошо смачиваются водой, частично растворяются в ней. Вследствие возникающей в глинистых и цементных растворах пространственной структуры из частиц твердой дисперсной фазы эти системы по своим свойствам занимают промежуточное положение между жидкими и твердыми телами. Обычно их относят к упругопластичновязким телам. В отличие от воды при приложении определенной силы они остаются в неподвижном состоянии. Например, налитые в цилиндрический сосуд, они сохраняют положение своей поверхности при наклоне сосуда и не выливаются из него. И только при некотором определенном угле наклона сосуда они начинают двигаться.

Под действием силы, превышающей прочность внутренней структуры, глинистые и тампонажные растворы начинают деформироваться. Однако в отличие от упругих тел эта деформация (пластическая) при снятии нагрузки не исчезает, а возникшее напряжение рассасывается, релаксируется.

Наука о деформациях и текучести вещества называется *реологией*.

Реологические свойства цементных растворов определяются природой цемента, водоцементным отношением, т. е. количеством воды, которым затворен цемент, а также наличием, типом и качеством реагентов. Если количество воды более 50% от массы цемента, то реологические параметры цементных растворов невысокие.

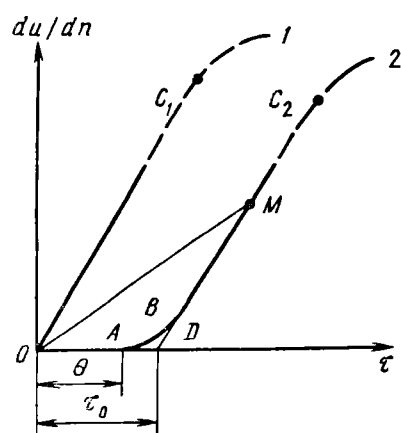


Рис. 20. Реологические кривые:
1 — для вязких жидкостей; 2 — для
вязкопластичных жидкостей

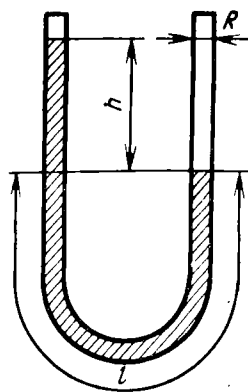


Рис. 21. Схема прибора для опре-
деления статического напряжения
сдвига буровых растворов

Механические свойства упругопластичновязких тел можно характеризовать кривыми, которые графически изображают зависимость градиента скорости течения по нормали du/dn от тангенциального напряжения (рис. 20). Такие кривые называются реологическими.

Статическое напряжение сдвига. Когда говорят о реологических константах (или свойствах буровых и цементных растворов), подразумевают статическое напряжение сдвига, вязкость и динамическое напряжение сдвига. Водоотдача в естественных условиях оказывает на них существенное влияние. Структурообразование в буровых и цементных растворах также влияет на водоотдачу. Прочность структуры цементного раствора характеризует величина того касательного напряжения, при котором цементный раствор будет выведен из состояния равновесия и начнет двигаться. Эта величина называется статическим напряжением сдвига и обозначается буквой θ . Графически (см. рис. 20) она изображена отрезком OA .

Более наглядно понять статическое напряжение сдвига θ можно из следующего опыта. В изогнутую стеклянную трубку радиусом R (рис. 21) налит глинистый или цементный раствор (с невысокой водоотдачей). Длина раствора в трубке составляет l , раствор находится в покое. В левое колено трубки наливают воду. До тех пор, пока столб воды не достигнет определенной высоты (например, h), глинистый или цементный раствор будет находиться в покое. Как только давление воды достигнет некоторого критического значения, столб раствора переместится, поднявшись в правом колене. Прочность струк-

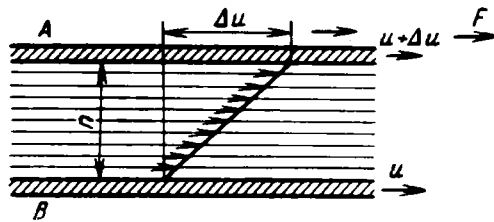


Рис. 22. Схема для объяснения понятия вязкости жидкостей

туры раствора, находящегося в покое, удерживает его от перемещения. Можно подсчитать прочность структуры раствора. На раствор, находящийся в покое, действует сила F , равная весу налитой в левое колено трубки воды, т. е. $p\pi R^2$ (где p — давление водяного столба высотой h). Эта сила удерживается прочностью структуры раствора на участке l , действуя по периметру трубки $2\pi R$, т. е. $\theta 2\pi R l$.

В последний момент перед страгиванием раствора вся система находится в покое, тогда

$$p\pi R^2 = \theta 2\pi R l$$

или

$$\theta = pR/2l. \quad (1)$$

По этой формуле можно определять статическое напряжение сдвига глинистых и тампонажных растворов.

Статическое напряжение сдвига тампонажных растворов с течением времени возрастает вследствие физико-химических процессов, происходящих в системе. Оно также возрастает с увеличением температуры и давления, но падает и поддерживается на определенном уровне в течение некоторого времени при перемешивании раствора с определенной интенсивностью.

Статическое напряжение сдвига растворов выражают в паскалях — Па (Pa).

Вязкость. Представим себе, что некоторое пространство заполнено глинистым или цементным раствором. Пространство ограничено двумя параллельными пластинами A и B (рис. 22). Обе пластины вместе с раствором движутся слева направо, как указано стрелками, однако нижняя пластина B движется со скоростью u , а верхняя пластина A в результате приложения к ней силы F движется быстрее со скоростью $u + \Delta u$. Очевидно, скорость слоев раствора возрастает при перемещении от B к A. Опыт показывает, что сила F , которую надо приложить к пластине A, пропорциональна ее поверхности S . Сила F равна силе сопротивления, которую оказывает жидкость, находящаяся между пластинами. Первый слой жидкости настолько прилипает к пластине, что движется с ней с одинаковой скоростью, а у пластины B скорость самого близкого слоя раствора равна скорости перемещения пластины B. Иными словами, ско-

рость частиц (слоев) раствора убывает от $u + \Delta u$ до u . Таким образом, существуют разность скоростей между соседними слоями жидкости (равно, как и между частицами) и взаимное их скольжение, что вызывает появление силы внутреннего трения.

Вязкость растворов характеризует их свойство оказывать сопротивление смещению одного слоя раствора относительно другого. Она обозначается буквой μ . Итак,

$$F = \mu S \frac{u}{n}. \quad (2)$$

Если силу отнести к единице поверхности, например к 1 см^2 , то формулу (2) можно записать в виде

$$\tau = F/S = \mu u/n$$

или

$$\tau = \mu (du/dn), \quad (3)$$

известном как формула касательного напряжения.

В этой формуле du/dn — градиент (изменение) скорости на участке dn ; μ — коэффициент внутреннего трения или динамической (абсолютной) вязкости.

Вязкость μ представляет собой силу трения, приходящуюся на квадратную единицу поверхности, при градиенте скорости, равном единице.

Единицей измерения коэффициента динамической вязкости в международной системе единиц является $\text{м}^2/\text{с}$ ($\text{м}^2/\text{с}$).

Формула (3), графически описываемая кривой 1 (см. рис. 20), справедлива лишь для истинных жидкостей, для которых коэффициент вязкости не зависит от du/dn . Для глинистых и цементных растворов с увеличением du/dn наблюдается уменьшение вязкости. Это явление, получившее название аномалии вязкости, обусловлено характером разрушения и восстановления связей между структурообразующими элементами при течении системы. Если дистиллированная вода при температуре 20°C имеет вязкость, равную $10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, то свежеприготовленный цементный раствор с водоцементным отношением 0,5 при тех же условиях течения имеет вязкость $(20-50) \times 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Двойственный характер сопротивления сдвига буровых и тампонажных растворов позволил с достаточной для практики точностью представить его как сумму двух составляющих — вязкостной и прочностной

$$\tau = \mu (du/dn) + \theta$$

или

$$\tau = \eta (du/dn) + \tau_0. \quad (4)$$

В отличие от μ величина η , называемая структурной или пластической вязкостью, не имеет строгого физического смысла; τ — динамическое напряжение сдвига. Графически реологическое уравнение глинистых и тампонажных растворов изображается кривой 2 на рис. 20.

Динамическое напряжение сдвига. Если статическое напряжение сдвига растворов характеризует величину сдвига в тот момент, когда раствор только начинает движение (отрезок AO на рис. 20), то динамическое напряжение сдвига — это минимальное напряжение, которое необходимо приложить к раствору, чтобы вывести его из состояния равновесия (считая раствор идеально пластическим телом).

Динамическое напряжение сдвига растворов — понятие условное. Непосредственно эту величину измерить на приборе нельзя. Численно величина динамического напряжения сдвига (Па) определяется отрезком OD (см. рис. 20), полученным пересечением оси абсцисс линией, продолжающей прямолинейный участок BC_2 кривой ABC_2 , или может быть найдена расчетным путем.

В большинстве случаев динамическое напряжение сдвига глинистых и цементных растворов больше статического, что связано с их физико-химической природой.

В расчетах пользуются также эффективной вязкостью, значение которой можно получить из формулы (4) следующим образом. Разделим левую и правую части формулы (4) на du/dn

$$\frac{\tau}{du/dn} = \frac{\eta (du/dn)}{du/dn} + \frac{\theta}{du/dn} = \eta + \frac{\theta}{du/dn}.$$

Обозначая

$$\eta' = \eta + \frac{\theta}{du/dn},$$

получаем

$$\tau = \eta' (du/dn). \quad (5)$$

Графически эффективная вязкость η' выражается как коэффициент наклона прямой, проведенной из начала координат к любой точке реологической кривой (см., например, OM и AC_2 на рис. 20). Если величина η остается постоянной на всем протяжении BC_2 , величина η' изменяется для каждой точки.

ПОНЯТИЕ О РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ РАСТВОРОВ

Движение буровых и тампонажных растворов начинается только тогда, когда внешнее давление на раствор, находящийся, например, в трубе, становится больше некоторого критиче-

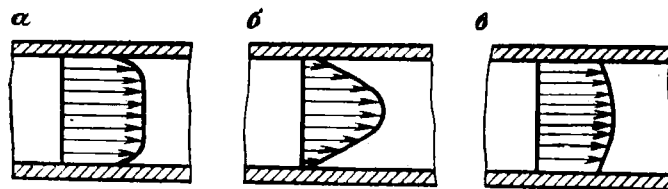


Рис. 23. Схемы профилей скоростей потоков при различных режимах движения растворов

своего значения $p_{кр}$. Это давление идет на преодоление сопротивления раствора, т. е. на преодоление касательных напряжений на стенках трубы. Когда начинается движение, масса всего раствора, отрываясь от стенок трубы, движется как одно целое. У стенок трубы остается тонкий слой жидкости, называемой пристенным. Остальная масса раствора движется подобно цилиндру, стержню. Этот вид движения называется *структурным*. Он характеризуется наличием ядра течения.

По мере увеличения прикладываемого давления, т. е. возрастания скорости, слои жидкости, расположенные ближе к центру, движутся быстрее, но сам характер перемещения слоев весьма упорядоченный — отдельные струйки не смешиваются между собой, плавно обтекают пограничные поверхности. При течении в трубе круглого сечения соосные цилиндрические слои перемещаются относительно друг друга подобно тому, как раздвигается телескопическая труба. Такое движение называется *ламинарным*. Для таких жидкостей, как глинистые и цементные растворы, понятие «ламинарное движение» не совсем удачно. Более правильным его было бы назвать *квазиламинарным*¹.

Если в результате увеличения приложенного давления ускорить движение растворов еще больше, то наступит смешанный режим движения, который затем переходит в *турбулентный*. Ядра течения в движущемся растворе при турбулентном движении нет.

На рис. 23 схематически изображены профили скоростей в потоках при различных режимах движения растворов — соответственно структурном (а), ламинарном (б) и турбулентном (в).

Турбулентный режим движения растворов (как и вообще всех жидкостей) характеризуется беспорядочным перемещением его слоев и частиц. Так как количество трущихся слоев и частиц при турбулентном движении больше, чем при ламинар-

¹ Для вязкопластичных жидкостей некоторые исследователи вообще не выделяют ламинарный режим течения.

ном и структурном, то изменяется и вязкость жидкости до того момента, пока не наступит полное разрушение структуры.

С переходом характера течения от структурного к турбулентному изменяются гидравлические сопротивления при движении буровых и цементных растворов в скважинах, трубах, затрубном пространстве и т. п. Поэтому большое внимание уделяется изучению условий, при которых наблюдается переход одного режима в другой. Эти условия могут быть выражены числовым параметром, называемым критерием Рейнольдса (или числом Рейнольдса). Этот критерий обозначается Re . Применительно к изучению режимов движения жидкостей типа буровых и цементных растворов критерий Рейнольдса называется обобщенным параметром Рейнольдса и обозначается

$$Re' = \frac{vD\rho}{g\eta (1 + \tau_0 D/6\eta v)} \quad (6)$$

Из формулы (6) видим, что обобщенный параметр Рейнольдса зависит, при прочих равных условиях, от скорости v , структурной вязкости η и динамического напряжения сдвига τ_0 . Другие параметры, входящие в формулу (g — ускорение свободного падения, D — диаметр трубопровода, ρ — плотность движущегося раствора) в процессе цементирования остаются практически постоянными.

С увеличением скорости v и уменьшением вязкости η и динамического напряжения сдвига τ_0 режим движения раствора от структурного изменяется до турбулентного. С уменьшением реологических параметров турбулентный режим движения буровых и цементных растворов также наступит раньше.

ПОДГОТОВКА СТВОЛА СКВАЖИНЫ К КРЕПЛЕНИЮ И ЦЕМЕНТИРОВАНИЮ

Правильная подготовка ствола скважины имеет существенное значение как для спуска обсадной колонны до намеченной глубины, так и для обеспечения доброкачественного цементирования.

Анализом условий выявляются все интервалы затяжек и посадок колонны буровых труб, сужений и номинального диаметра, интервалы со значительным изменением углов искривления и азимута. Затем составляется план проработки и шаблонирования ствола скважины. Прорабатываются все интервалы, в которых наблюдались затяжки и посадки колонны буровых труб в процессе бурения, а также интервалы с наличием сужений и номинального диаметра.

При креплении скважин обсадными колонками с большой жесткостью, а также при спуске колонн на большие глубины применяется так называемое шаблонирование ствола жесткой компоновкой низа буровой колонны.

Скорость спуска и максимальная нагрузка на крюке

Установка	Включенная передача	Число включенных электродвигателей	Максимальная нагрузка на крюке, МН	Скорость спуска, м/с	Частота вращения электродвигателя, об/мин
Уралмаш 4Э	I	2	2,00	0,26	1035
	II		1,73	0,59	1040
Уралмаш 6Э	I	2	1,20	0,23	778
	II		0,90	0,40	778
Уралмаш 3Д	I	3	1,70	0,18	—
	II		0,70	0,37	—

Примечание. Оснастка талевого системы 5Х6.

Жесткость компоновки достигается установкой одного или двух (редко трех) расширителей (центраторов) по диаметру долота.

В процессе спуска инструмента жесткой компоновки без ограничения его скорости, особенно при использовании трехшарошечных расширителей, возможно возникновение гидро-разрыва пород и поглощение глинистого раствора, что осложнит процесс последующего цементирования обсадной колонны.

Существуют два варианта ограничения скорости спуска бурильных и обсадных труб:

а) на буровых установках типа Уралмаш 4Э и Уралмаш 6Э торможение осуществляют электродвигателями лебедки, работающими на рекуперативном режиме, с отдачей электроэнергии в сеть;

б) на буровой установке типа Уралмаш 3Д торможение осуществляется за счет работы ДВС, в компрессорном режиме при включенных на КПП (коробка перемены передач) обратных скоростях спуска. В табл. 2 приведены скорости спуска и максимальные нагрузки на крюке.

После спуска обсадной колонны буровой раствор должен быть вновь обработан и скважина промыта с максимальной возможной, но не выше допустимой подачей насосов.

Во ВНИИКРнефти доказана целесообразность совмещения процесса подготовки ствола к креплению с процессом бурения скважины. Подготовка ствола к креплению при бурении скважин позволяет полностью исключить из цикла бурения процесс подготовки ствола жесткими компоновками. Для этого необходимо диаметр долота и компоновку низа бурильного инструмента для проходки скважины выбирать в зависимости от заданной допустимой интенсивности пространственного искривления ствола, диаметра и жесткости спускаемой колонны

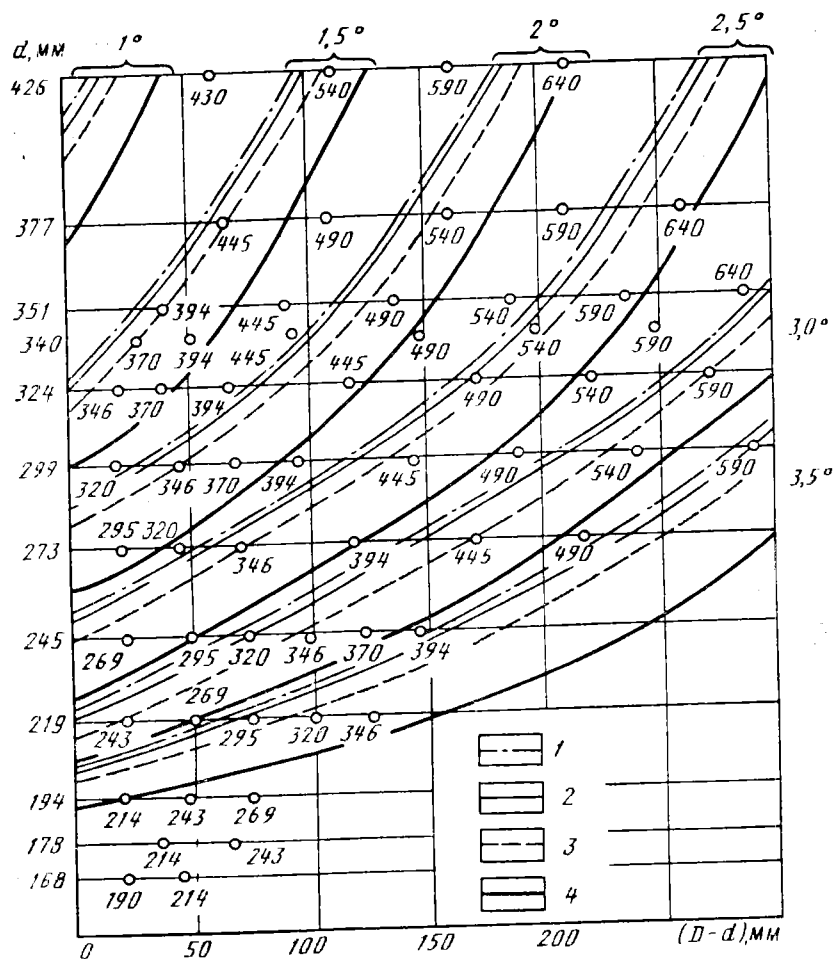


Рис. 24. График для определения диаметра скважины под обсадную колонну (с учетом кривизны ствола):

1 — $\sin \alpha_{cp} = 0,05$; 2 — $\sin \alpha_{cp} = 0,1$; 3 — $\sin \alpha_{cp} = 0,2$; 4 — $\sin \alpha_{cp} = 0,4$

и средневзвешенного угла наклона незакрепленного интервала (рис. 24).

Диаметр долота при бурении под обсадную колонну необходимо выбирать из условия успешного ее спуска до забоя по формуле

$$D = 3,36 \cdot 10^4 \frac{m}{EI} (\sin \alpha - \cos \alpha / f) + 0,1745i + d,$$

где D — диаметр долота, м; m — масса 1 см обсадной трубы в

Жесткость обсадных колонн

Диаметр труб, мм	Жесткость, 10 ³ Н/м ²	Диаметр труб, мм	Жесткость, 10 ³ Н/м ²
140	1580	299	20380
146	1865	324	27000
168	3215	340	30700
178	3820	351	34700
194	5480	377	44000
219	7650	407	57000
245	10400	426	64800
273	15000	478	93200

жидкости, кг; EI — жесткость труб обсадной колонны, Н/м²; α — средневзвешенный угол наклона незакрепленного интервала скважины, градус; i — интенсивность пространственного искривления скважины в том же интервале, градус/10 см; d — диаметр обсадной колонны, м.

Жесткость обсадных труб находят по данным табл. 3.

Интенсивность пространственного искривления скважин определяется по формуле

$$i = 2a2c \sin \sqrt{\sin^2 \Delta\alpha/2 + \sin^2 \Delta\varphi/2 \sin^2 \alpha_{\text{ср}}},$$

где $\alpha_{\text{ср}}$ — средний угол наклона участка ствола, градус; $\Delta\alpha$ — изменение углов наклона в пределах участка, градус; $\Delta\varphi$ — изменение азимута в пределах участка, градус.

Здесь за длину участка принимается расстояние между двумя соседними точками измерения угла и азимута ствола скважины инклинометрами.

Примеры расчета диаметра скважины

Пример 1. Протяженность интервала крепления 2000 м, отклонение от вертикали 600 м. Определим диаметр долота, которым обеспечивается проходимость 377-мм обсадной колонны по стволу скважины.

Решение. Для указанного случая имеем следующее:

$$\begin{aligned} EI &= 44 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2; & m &= 83,1 \text{ кг/м}; \\ \sin \alpha &= 600/2000 = 0,3; & \alpha &= 17,5^\circ; \\ \cos \alpha &= 0,9537; & f &= 0,3. \end{aligned}$$

Отсюда

$$D = 3,26 \cdot 10^4 \frac{83,1}{44 \cdot 10^6} \left(0,3 - \frac{0,9537}{0,3} \right) + 0,1745 \cdot 1,5 + 0,377 = 0,462 \text{ м.}$$

Следовательно, для бурения необходимо принять долото диаметром

490 мм. В том же случае, но при отклонении ствола в интервале крепления от вертикали на 300 м ($\sin \alpha = 0,15$) достаточно будет применить для бурения долото диаметром 445 мм

$$D = 3,26 \cdot 10^4 \frac{83,1}{44 \cdot 10^6} \left(0,15 - \frac{0,9894}{0,3} \right) + 0,1745 \cdot 1,5 + 0,377 = 0,443 \text{ м.}$$

Расчеты необходимого диаметра долота можно выполнять оперативно, используя рис. 24.

Пример 2. Протяженность интервала крепления 2000 м. Отклонение от вертикали 400 м ($\sin \alpha = 0,2$). Средняя интенсивность искривления $2,5^\circ/10$ м.

Решение. Определим по номограмме диаметр долота, которым обеспечивается проходимость 273-мм колонны по стволу скважины. От точки на оси ординат, соответствующей диаметру обсадной колонны, проводим горизонтальную линию пересечения с линией, соответствующей $\sin \alpha = 0,2$ в области средней интенсивности искривления $2,5^\circ/10$ м. Точка пересечения указывает, что диаметр долота должен быть не менее 346 мм.

Для обеспечения проходимости обсадных колонн долотом, диаметр которого определен по указанной методике, необходимо при бурении скважины в компоновке низа бурильного инструмента над долотом устанавливать УБТ. Рекомендуемые диаметры УБТ приведены в табл. 4.

Работами, выполненными во ВНИИКРнефти (Л. Б. Измайлов и Р. Н. Марченко) доказано, что технически обоснованно и экономически целесообразно процесс подготовки ствола скважины к спуску обсадной колонны совместить с процессом ее бурения. Для этого необходимо в процессе бурения скважины применять компоновки низа бурильной колонны (КНБК), обеспечивающие получение требуемой конфигурации ствола, отвечающей условиям проходимости обсадной колонны. Для выполнения этих условий разработаны требования к стволу скважины из условий проходимости обсадной колонны и методика расчета КНБК для совмещения процессов бурения скважин и подготовки ее ствола к спуску обсадной колонны.

Разработаны и широко применяются специальные наддолотные калибраторы-стабилизаторы, позволяющие бурить ствол скважины с учетом требований проходимости обсадной колонны (рис. 25). Калибратор состоит из кожуха 5 с приваренными калибрующими лопастями 4, закрепленного на стволе 1 с помощью распорных втулок 6, гайки 3 и контргайки 2. Распорная втулка выполнена в виде двух полуколец, соединенных между собой с помощью болта 7, гайки и шплинта.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНФИГУРАЦИИ И ОБЪЕМА СТВОЛА СКВАЖИНЫ

Определение поперечного сечения ствола скважины по результатам кавернометрии приводит к ошибкам в расчетах требуемого количества материалов, так как вследствие конструк-

Таблица 4

Максимальные необходимые диаметры УБТ (размеры в мм)

Диаметр обсадной колонны		Необходи- мый эффек- тивный диа- метр сва- жины	Минимальный необходимый диаметр УБТ наддолготного комплекта при диаметре долота													
			640/590	540	490	445	394	370	346	320	295	269	243	214	190	161
Обсад- ная труба	Муфта	426	451	439	299/299	340	407									
		377	402	390	273	273	299	340								
		351	376	364		254	254	299	340							
		324	351	338		229	229	228	229							
		299	324	312		229	229	254	299							
		273	299	286		203	203	229	254	254*	229	203	203*			
		245	270	261								178	178	178*		
		219	245	235									178	203	178*	
		194	216	207									146	178	178*	
		178	198	198										133	146	146*
168	188	188											133	146	146*	
146	166	166												133	133*	
140	159	159														

Примечания: 1. Длина УБТ должна быть не менее 1 м.
2. Звездочками обозначены случаи применения безмуфтовых соединений.

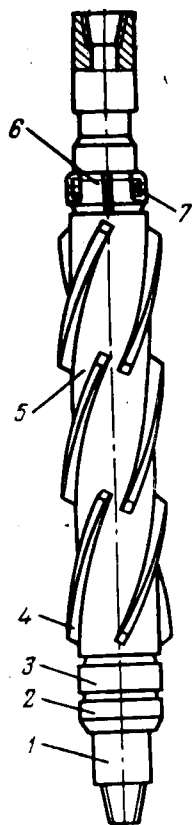


Рис. 25. Наддоловой калибратор-стабилизатор

тивных особенностей и заложенного принципа действия каверномера получаемое поперечное сечение ствола скважины имеет всегда вид окружности. Фактически же поперечное сечение в зависимости от геолого-технических условий проводки скважины и характеристик горных пород в их разрезе может иметь различную форму.

В связи с этим более совершенным является измерение конфигурации ствола скважины методом профилометрии (метод ВНИИКРнефти).

За один рейс профиломера можно одновременно записать три кривые, две из которых характеризуют изменение двух поперечных размеров ствола скважины во взаимно перпендикулярных плоскостях (профилеграмма), третья — усредненный диаметр ствола скважины (кавернограмма).

Ввиду того, что профиль сечения ствола скважины имеет различные формы, для более правильной интерпретации на рис. 26 приведены конкретные возможные варианты профилеграмм и средние диаметры скважины.

При совпадении кривых профилеграммы с линией номинального размера ствола скважины ($d_{\text{дол}}$) поперечное сечение ствола представляет собой окружность диаметром, по величине близким к диаметру долота.

В случае, когда обе кривые профилеграммы сходятся и расположены правее линии номинального размера ствола скважины, диаметр ее поперечного сечения оказывается больше размера долота (каверна с поперечным сечением в виде окружности). Размер каверны при этом увеличивается с ростом величины смещения кривых от линии $d_{\text{дол}}$ вправо.

Если кривые профилеграммы расходятся, оставаясь одновременно правее линии $d_{\text{дол}}$, поперечное сечение ствола скважины представляет собой овал (каверна в виде овала); при этом чем больше амплитуда расхождения кривых относительно друг друга, тем более вытянутую форму имеют каверны этого вида.

Если обе кривые профилеграммы расположены влево от линии $d_{\text{дол}}$ и сходятся, то поперечное сечение ствола представ-

Номинальный размер ствола	Профи- леграмма	Поперечное сечение ствола	Средний диаметр
	D $a = b$	$d_{\text{дол}}$	$d_{\text{ср}} = d_{\text{дол}}$
Уширение (наверзность)	$a = b$		$d_{\text{ср}} = a = b$
	a b		$d_{\text{ср}} = \frac{(1,15-1,2)a+b}{2}$
	a b		$d_{\text{ср}} = \frac{d_{\text{дол}} + b}{2}$
	a b		$d_{\text{ср}} = \frac{d_{\text{дол}} + b}{2}$
	a b		$d_{\text{ср}} = \frac{d_{\text{дол}} + b}{2}$
Сужение	$a = b$		$d_{\text{ср}} = d_{\text{дол}}$
	a b		$d_{\text{ср}} = d_{\text{дол}}$
Желоб	a b		$d_{\text{ср}} = \frac{d_{\text{дол}} + b}{2}$

Рис. 26. Виды сечений скважины по данным профилометрии

ляет собой окружность диаметром, меньшим размера долота (сужение). При этом кривые могут либо сходиться, либо расходиться.

При расположении кривых профилеграммы по разные стороны от линии $d_{\text{дол}}$ поперечное сечение ствола представляет собой желоб (желобные выработки). При этом чем больше амплитуда расхождения этих кривых, тем значительнее глубина желобной выработки в стенках скважины.

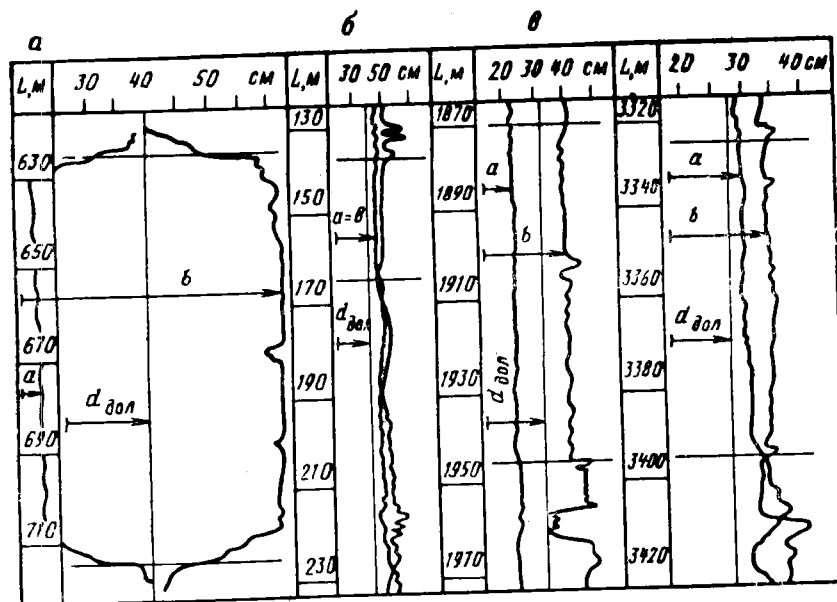


Рис. 27. Профилеграммы

После расшифровки профилеграмму разбивают на соответствующие участки, которые представлены желобными выработками, кавернами, сужениями и номинальным размером ствола. Средний диаметр ствола скважины вычисляют отдельно для каждого из указанных участков на основании профилеграммы в соответствии с рис. 27. Далее определяют объем каждого участка, а затем общий объем заколонного пространства в интервале цементирования обсадной колонны.

Для желобных выработок с помощью профилеграммы определяют величину b , характеризующую в определенном масштабе наибольший поперечный размер ствола скважины. Полусумма этой величины и диаметра долота составляет средний диаметр интервала желобной выработки.

Пример 3. Определить средний диаметр $d_{ср}$ и объем ствола скважины V в интервале 625—715 м, представленном желобной выработкой (рис. 27, а); $b=615$ мм, $l=90$ м — длина желобной выработки, $d_{дол}=394$ мм — диаметр долота.

Решение

$$d_{ср} = \frac{394 + 615}{3} = 505 \text{ мм};$$

$$V = 0,785 \cdot 0,505^2 \cdot 90 = 18 \text{ м}^3.$$

Объем ствола скважины в этом интервале, определенный на основании данных кавернометрии, составил лишь 10,37 м³.

Для каверн, имеющих поперечное сечение в виде окружности, величины b и a , определяемые по профилеграмме, равны между собой и соответствуют среднему диаметру для рассматриваемого участка ствола (рис. 27, б).

Для каверн, у которых $a < d_{\text{дол}}$, с помощью профилеграммы определяют величину b . Полусумма этой величины и диаметра долота будет средним диаметром данного сечения ствола.

Пример 4. Определить $d_{\text{ср}}$ и V в интервале 1870—1945 м, представляющем собой каверну, имеющую поперечное сечение в виде овала (рис. 27, в); $a = 320$ мм, $b = 480$ мм, $l = 75$ м, $d_{\text{дол}} = 394$ мм.

Решение

$$d_{\text{ср}} = \frac{394 + 480}{2} = 437 \text{ мм};$$

$$V = 0,785 \cdot 437^2 \cdot 75 = 11,3 \text{ м}^3.$$

Объем ствола скважины в этом же интервале по данным кавернометрии составил 9,8 м³.

Для каверн, у которых $a > d_{\text{дол}}$, по профилеграмме измеряют величины a и b . Полусумма a , взятого с коэффициентом 1,15—1,2, и b будет составлять средний диаметр рассматриваемого сечения (рис. 27, г).

При выполнении расчетов для случаев номинального размера или сужения ствола скважины средний диаметр ствола принимается равным диаметру долота.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН

Качество крепления скважин определяется герметичностью обсадной колонны и отсутствием сообщения между пластами и дневной поверхностью.

Герметичность обсадной колонны еще не определяет качества крепления скважин в целом. Отсутствие сообщения между пластами говорит о высоком качестве крепления скважины. Качество ее цементирования зависит от ряда геологических и технологических факторов.

1. *Геологические факторы:* природа флюида (газ, вода, нефть) или его отсутствие, тектонические нарушения; градиент-гидроразрыва пластов; литология пород (в первую очередь наличие солей); минерализация пластовых вод; значения температур и давлений.

2. *Технологические факторы:* конструкция скважины, полнота замещения бурового раствора тампонажным; состояние ствола скважины; качество бурового раствора; наличный парк оборудования; свойства тампонажного раствора; использование новейших технологических приемов (технологическая оснастка, буферная жидкость, режимы движения растворов и т. д.).

Часть из перечисленных факторов может быть учтена, изменена и отрегулирована при цементировании скважин.

Цементирование может считаться идеальным, когда весь буровой раствор будет вытеснен седиментационно устойчивым тампонажным раствором. После схватывания и затвердения тампонажного раствора в безусловный камень обсадная колонна, равноудаленная от стенок скважины, будет окружена тампонажным камнем, контактирующим с породами стенок скважины и металлом обсадной колонны. Каналов в затрубном пространстве, заполненном тампонажным камнем, не будет.

Технологические параметры процесса цементирования

Вытеснение бурового раствора цементным. Считается установленным, что увеличение скорости восходящего потока цементного раствора способствует повышению качества цементирования скважин, так как при этом достигается более полное вытеснение бурового раствора из затрубного пространства.

Однако основным фактором, способствующим наиболее полному вытеснению бурового раствора из скважины, является режим движения цементного раствора в затрубном пространстве. Наиболее эффективен турбулентный режим движения.

Практически скорость подъема цементного раствора нельзя изменять в широких пределах, так как при ее увеличении возрастает давление, повышается гидродинамическая нагрузка на пласты, которая может привести к их разрыву. Увеличение же скорости движения цементного раствора в пределах одного и того же режима, видимо, не скажется на повышении качества цементировочных работ.

Для снижения порога турбулентности следует уменьшить вязкость и динамическое напряжение сдвига тампонажных растворов их химической обработкой.

Давления, возникающие при цементировании скважин, в значительной степени могут быть уменьшены, а объем вытесняемого бурового раствора увеличен, если цементный раствор обрабатывается реагентами-разжижителями, понизителями вязкости и динамического напряжения сдвига. К ним могут быть отнесены сульфит-спиртовая барда (ССБ), некоторые реагенты, приготовленные на основе лигносульфонатов кальция, фирменные реагенты типа флэк (США) и др.

Применение центраторов. Для цементирования обсадной колонны, уменьшения количества зацементированных зон с вытесняемым буровым раствором, а следовательно, для уменьшения количества вытесняемого бурового раствора применяют центраторы. Наиболее широко распространены пружинные центраторы (рис. 28).

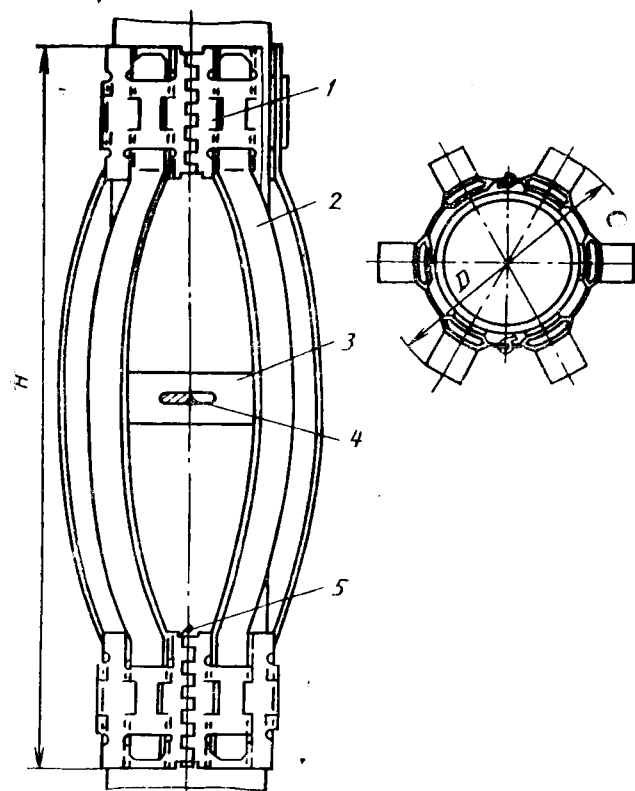


Рис. 28. Центратор:

1 — корпус; 2 — планки; 3 — стопорное кольцо; 4 — отверстие для штыря; 5 — соединительный штырь

Расстояние между центраторами следует выбирать расчетным путем.

Расхаживание (вращение) обсадных колонн и применение скребков. Качество цементировочных работ резко улучшается при возвратно-поступательном движении или вращении колонны в скважине в процессе подъема цементного раствора. В это время глинистый раствор перемещается, структура его нарушается, он увлекается движущейся вверх колонной и вытесняется потоком цементного раствора к устью скважины. При цементировании обсадных колонн с расхаживанием значительно снижается вероятность нарушения их от дополнительных напряжений, связанных с закачкой цементного раствора и температурными изменениями.

Существенное улучшение разобщения пластов немыслимо также без механического удаления глинистой корки в интер-

валах продуктивных пластов. Для очистки стенок скважины от глинистой корки рекомендуются химический, гидравлический и механический способы.

Химические и гидравлические способы очистки стенок от глинистой корки пока не получили практического применения.

В практике наиболее распространены скребки для механической очистки глинистой корки со стенок скважины. Известны две группы скребков: радиальные (рис. 29, а) и продольные (гребенчатые) (рис. 29, б). Если первые охватывают трубу по периметру, то вторые монтируются вдоль колонны, по ее образующей.

В процессе расхаживания или вращения обсадной колонны скребки счищают глинистую корку и движущийся снизу тампонажный раствор выносит ее к устью скважины. При этом улучшаются условия замещения бурового раствора тампонажным.

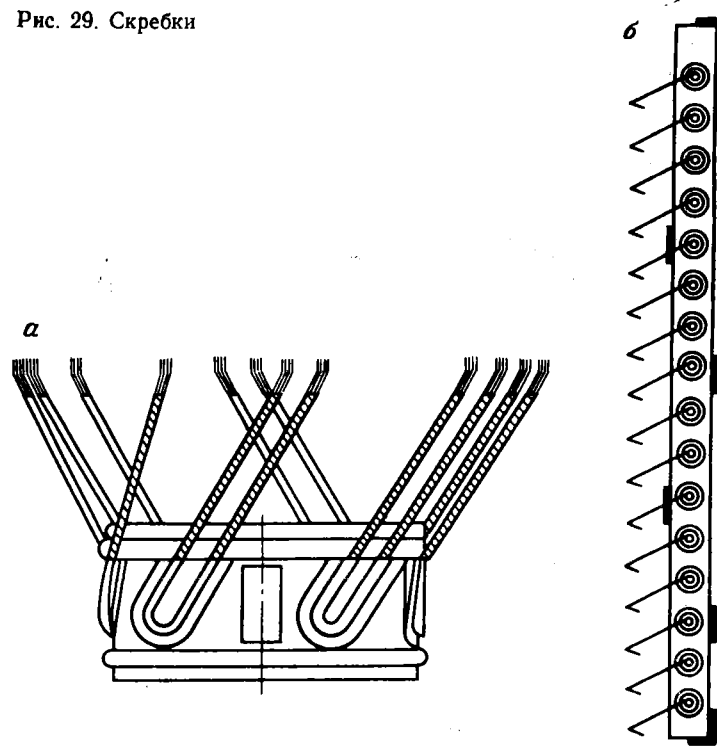
Буферные жидкости

Одним из основных мероприятий по повышению качества крепления скважин является применение буферных жидкостей. В настоящее время не существует универсальных буферных жидкостей, пригодных для использования во всех условиях бурения; в СССР разработаны и применяются следующие их виды: вода, нефтепродукты, утяжеленные буферные жидкости (на солевой и полимерной основах), растворы соляной кислоты, комбинированные, аэрированные, эрозионные и незамерзающие буферные жидкости, буферные жидкости с низкой водоотдачей, вязкоупругий разделитель и др.

Лучшей вытесняющей способностью обладают жидкости более высокой вязкости и плотности, чем у вытесняемой. Для уменьшения влияния смещения жидкостей на свойства буферных жидкостей в процессе их движения в затрубном пространстве при цементировании и для увеличения коэффициента вытеснения необходимо, чтобы их вязкость и плотность, будучи большими, чем у вытесняемой жидкости, равнялись среднему значению указанных параметров контактирующих с ними жидкостей. Для удаления остатков бурового раствора со стенки скважины и из каверн буферная жидкость должна обладать вымывающей способностью и физико-химической активностью, т. е. иметь низкую вязкость и минимальную плотность. Повышения эффективности можно достичь, применяя комплексные буферные жидкости.

Типы буферных жидкостей и технология их применения. Вода как буферная жидкость нашла применение во многих районах страны. Она хорошо вымывает буровые растворы. Воду в качестве буферной жидкости рекомендуется использовать

Рис. 29. Скребки



при цементировании скважин, пробуренных в устойчивых породах, не подверженных набуханию при кратковременном воздействии потока воды.

Нефть и нефтепродукты рекомендуется использовать в качестве буферной жидкости лишь в тех случаях, когда бурение сопровождается промывкой нефтеэмульсионными буровыми растворами или ствол скважины цементируется нефтеэмульсионными тампонажными растворами. Буферные жидкости на нефтяной основе (нефть, дизельное топливо) способствуют улучшению условий турбулизации в зоне смешения их с буровым раствором и увеличению коэффициента вытеснения.

Утяжеленные буферные жидкости рекомендуется использовать в случаях, когда применение больших объемов легких жидкостей связано с опасностью выброса или обвалами и осыпаниями, а также при наличии сильнокавернозных зон в стволе скважины.

Буферные жидкости на основе водных растворов солей (NaCl , CaCl_2 и др.) характеризуются относительно высокими плотностями по сравнению с водой и нефтепродуктами ($\rho_6 = 1000 \div 1600 \text{ кг/м}^3$). Особенно эффективно применение подоб-

ных жидкостей в геологических разрезах с наличием соляных куполов. Они обезвоживают фильтрационные корки, уменьшают их объемы и позволяют использовать практически любые объемы буферных жидкостей вплоть до полной замены ими бурового раствора в скважине. Известны и другие, более тяжелые буферные жидкости.

Растворы кислот предназначены для удаления фильтрационной корки и остатков бурового раствора со стенок скважины в интервале продуктивного пласта. Подобные буферные жидкости рекомендуется использовать при цементировании скважин, к качеству изоляции которых предъявляются особо высокие требования. Это относится, в частности, к скважинам, пробуренным с промывкой карбонатно-глинистым раствором на нефтяных месторождениях, имеющих водоплавающую залежь, или в случаях, когда нефтеносный пласт отделен от водоносного пропластком горных пород малой мощности.

Применяется 8—15%-ный водный раствор соляной кислоты или водный раствор сульфаминовой кислоты 20%-ной концентрации.

Объем буферной жидкости для разрушения фильтрационной корки должен быть равен объему кольцевого пространства скважины в интервале продуктивного пласта.

Аэрированную буферную жидкость рекомендуется использовать при наличии в разрезе зон поглощений, затрудняющих цементирование при больших коэффициентах уширения ствола.

Применение водопесчаных эрозионных буферных жидкостей целесообразно при цементировании скважин, у которых ствол имеет большие каверны и стенки сложены глинистыми породами.

Незамерзающая буферная жидкость состоит из 30%-ного раствора диэтиленгликоля в воде и кварцевого песка, имеющего размер зерен 0,10—0,15 мм, с концентрацией 40 г/л. Температура замерзания такой суспензии примерно минус 30 °С, что значительно ниже температуры в зоне вечной мерзлоты и обеспечивает работу в зимнее время.

Буферная жидкость с малой водоотдачей используется при цементировании обсадных колонн на месторождениях с низкими градиентами пластовых давлений, при наличии в разрезе поглощающих пластов или малопрочных пропластков, склонных к осыпям и обвалам при воздействии на них воды, при спуске обсадных колонн секциями со стыковкой их в открытом стволе. Особенно нежелательно попадание воды из буферной жидкости в продуктивные горизонты нефтяных скважин, поскольку это снижает проницаемость их призабойной зоны.

Вязкоупругий разделитель обеспечивает полноту вытеснения бурового раствора цементным при существующей технологии цементирования и предотвращает смешивание цементного

раствора с буровым, имеющимся в скважине. Способность его принимать форму канала, по которому он проходит, обеспечивает вытеснение бурового раствора как в суженных, так и в расширенных частях ствола скважины. Однако этот разделитель имеет ряд недостатков, пока ограничивающих его применение.

Для цементирования объем вязкоупругого разделителя должен быть получен из расчета обеспечения 20—25 м столба в кольцевом пространстве.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под реологическими свойствами буровых и тампонажных растворов?
2. Какие режимы движения растворов Вам известны?
3. Какие факторы технологии цементирования определяют качество цементирования?

Глава III

ЦЕМЕНТИРОВОЧНЫЕ АГРЕГАТЫ И ЦЕМЕНТНО-СМЕСИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Ежегодно в Советском Союзе проводится более 20 тыс. цементирования нефтяных и газовых скважин. Этот процесс осуществляется комплексом специального оборудования, которое расставляют в соответствии с заранее разработанной схемой. Одна из таких схем расстановки и обвязки оборудования для случая, когда для приготовления цементного раствора требуется 40—60 т сухого тампонажного материала, показана на рис. 30, а. Схема расстановки оборудования с использованием усреднительной (для «усреднения» параметров тампонажного раствора) емкости приведена на рис. 30, б.

ЦЕМЕНТИРОВОЧНЫЕ АГРЕГАТЫ

Цементировочные агрегаты предназначены для нагнетания тампонажного раствора и продавочной жидкости в скважину, а также для подачи затворяющей жидкости в смесительное устройство при приготовлении раствора. Кроме того, они используются для промывки и продавки песчаных пробок, опрессовки труб, колонны, манифольдов, гидравлического перемешивания раствора и т. д.

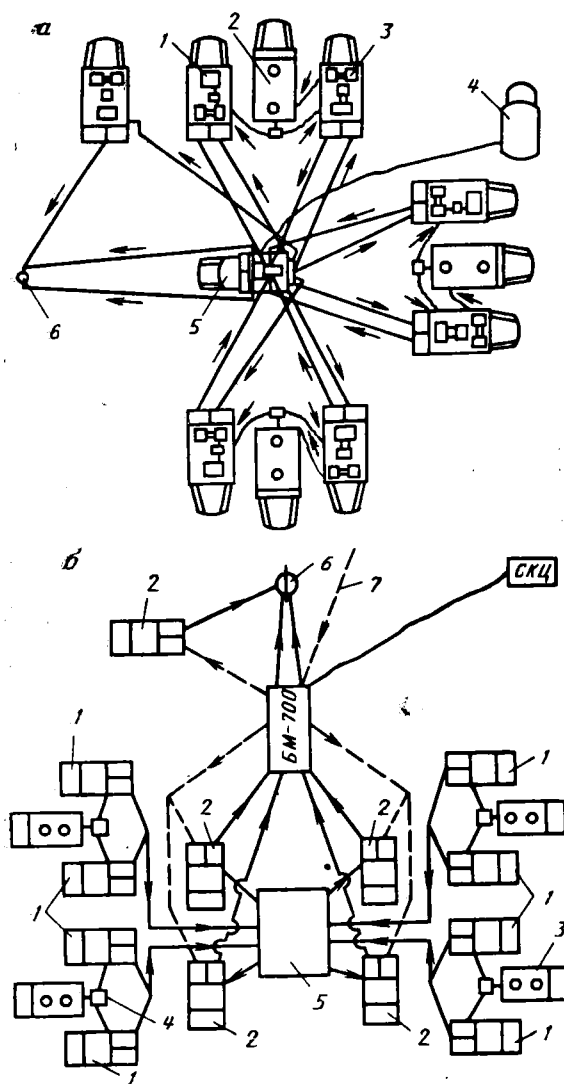


Рис. 30. Схемы расстановки и обвязки оборудования при цементировании скважин:

а: 1 — цементировочные агрегаты ЗЦА-400А, 2 — цементно-смесительные машины 2СМН-20, 3 — цементировочные агрегаты ЦА-320М, 4 — станция контроля цементирования СКЦ-2М, 5 — блок манифольда 1БМ-700, 6 — цементировочная головка; б: 1 — цементировочный агрегат ЦА-320М, 2 — цементировочный агрегат ЗЦА-400А, 3 — цементно-смесительная машина 2СМН-20, 4 — бак для затворения цемента, 5 — усреднительная емкость, 6 — цементировочная головка, 7 — линия подачи продажной жидкости к ЦА

Цементировочные агрегаты, как правило, выполняются са-
моходными и монтируются на шасси грузовых автомобилей;
однако имеются агрегаты в специальном исполнении (на са-
нях, гусеничном ходу, в блочном исполнении) для использова-
ния в различных условиях.

Рассмотрим конструкции и технические характеристики не-
которых цементировочных агрегатов.

Техническая характеристика цементировочного агрегата ЦА-320М

Тип агрегата	Передвижной на шасси автомобиля
Максимальное давление при подаче 2,9 л/с, МПа	32
Максимальная подача при давлении 4 МПа, л/с	23
Габаритные размеры, мм:	
длина	10425
ширина	2650
высота	3225
Общая масса агрегата, включая снаряжение (за- правку), кг	17500
Наибольшая мощность, кВт	177

Цементировочный насос 9Т

Тип	Горизонтальный, двух- поршневой, двусторонне- го действия
Гидравлическая мощность, кВт	93
Передачное число глобоидной передачи	20,5
Ход поршня, мм	250

Вспомогательный двигатель

Модель	ГАЗ-51А
Максимальная мощность, кВт	52
Максимальная частота вращения вала двига- теля, об/мин	280

Водоподающий насос 1В

Тип	Вертикальный, трехплун- жерный, одностороннего действия
Диаметр плунжера, мм	125
Ход плунжера, мм	170
Частота вращения коленчатого вала, об/мин	140
Подача, л/с	13
Давление, МПа	1,5
Включенная передача	II
Вместимость, м ³ :	
мерного бака	6,4 (две полости по 3,2 м ³)
цементного бака	0,25
Условный диаметр проходного сечения приемных трубопроводов насосов 9Т и 1В, мм	100

Цементировочный агрегат ЦА-320М (рис. 31). Оборудова-
ние агрегата смонтировано на шасси автомобиля КрАЗ-257

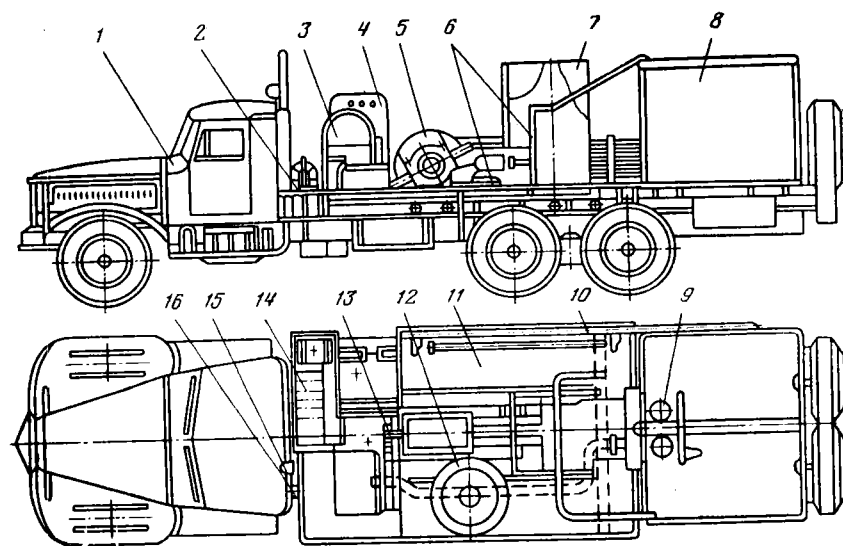


Рис. 31. Цементирующий агрегат ЦА-320М:

1 — кабина; 2 — коробка сбора мощности; 3 — насос 1В; 4 — двигатель ГАЗ-51А; 5 — двухпоршневой насос 9Т; 6 — обвязка агрегата; 7 — защитный кожух насоса 9Т; 8 — мерный бак; 9 — донные клапаны; 10 — гибкий металлический шланг; 11 — платформа агрегата; 12 — цементомешалка; 13 — карданный вал; 14 — шарнирные колена; 15 — фара и электрооборудование; 16 — выхлопная труба

грузоподъемностью 10—12 т, оснащенного четырехтактным двигателем внутреннего сгорания. На шасси автомобиля установлены рамы, на которых монтируется оборудование: двухпоршневой насос 9Т, вертикальный трехплунжерный насос 1В и двигатель ГАЗ-51А с коробкой передач для его привода, защитный кожух насоса 9Т, мерный бак, трубопроводы и арматура и т. д. Режим работы агрегата приведен в табл. 5.

На нагнетательных трубопроводах насосов 9Т и 1В установлены манометры, а у насоса 9Т, кроме того, предохранительный клапан.

Приемная линия насоса 9Т с помощью установленного на ней трехходового крана позволяет забирать жидкость из мерного бака и цементного бачка, устанавливаемого, как правило, на земле. В нижней части мерного бака установлены донные клапаны, которые позволяют соединить одну или другую половину бака с небольшой дополнительной камерой, соединенной с приемными трубопроводами обоих насосов. Мерные баки оснащены замерными рейками с ценой деления 0,1 м³.

Основным узлом агрегата является цементирующий насос 9Т (рис. 32). Это горизонтальный, поршневой, двухцилиндровый насос двустороннего действия. Он предназначен для за-

Таблица 5

Режимы работы агрегата ЦА-320М (расчетный при объемном коэффициенте $\eta=0,9$)

Режим	Частота вращения вала двигателя, об/мин	Включенная передача	Частота вращения коренного вала насоса, об/мин	Давление (МПа) при диаметре втулки, мм			Подача (л/с) при диаметре втулки, мм		
				100	115	127	100	115	127
На максимальную подачу	1700	II	28	30,5*	22,5*	18,2*	3,0	4,1	5,1
		III	54	15,9	11,7	9,5	5,8	7,9	9,8
		IV	83	10,26	7,6	6,1	9,0	12,2	15,1
		V	125	6,9	5,0	4,0	13,5	18,3	23,0
На максимальное давление	1600	II	27	32,0*	23,0*	18,5*	2,9	4,0	4,9
	1500	III	48	18,0	13,4	10,7	5,2	7,0	8,7
		IV	73	11,7	8,7	7,0	7,9	10,7	13,3
		V	110	7,8	5,8	4,7	11,9	16,1	20,0

* Допустима кратковременная работа.

качки и продавки тампонажного и бурового растворов в скважину.

Водоподающий насос 1В — вертикальный, трехплунжерный, предназначенный для подачи жидкости в гидровакуумное смесительное устройство при приготовлении раствора.

Трансмиссионный вал насоса (рис. 33) приводится во вращение от двигателя ГАЗ-51А через цепную муфту, а с трансмиссионного вала на коленчатый вал насоса вращение передается цилиндрическими зубчатыми колесами.

Гидравлическая часть насоса состоит из чугунной клапанной коробки с установленными в ней тремя всасывающими и тремя нагнетательными клапанами.

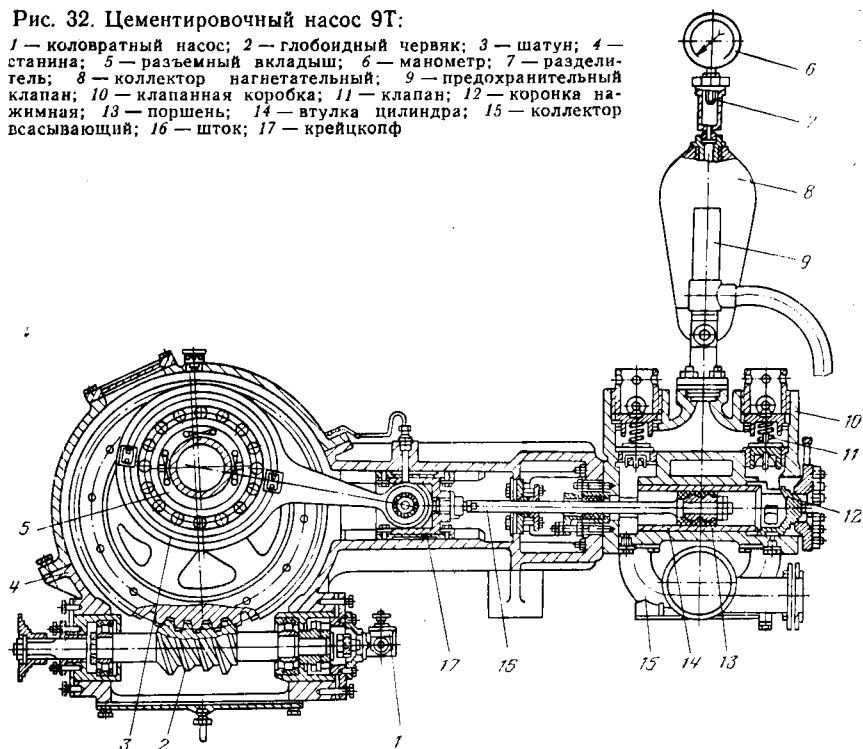
Для соединения нагнетательной линии агрегата с устьем скважины служит разборный трубопровод, состоящий из труб высокого давления и шарнирных колен.

Вода поступает из водопровода в одну из половин мерного бака, из которого она подается в цементосмеситель, где смешивается с цементом и образует цементный раствор, который поступает в цементный бачок и оттуда насосом 9Т в скважину.

По окончании закачки цементного раствора водоподающий насос останавливают, мерный бак быстро отключают от промыслового водопровода, подключают к заранее подготовленно-

Рис. 32. Цементиловочный насос 9Т:

1 — коловратный насос; 2 — глобонный червяк; 3 — шатун; 4 — станина; 5 — разъемный вкладыш; 6 — манометр; 7 — разделитель; 8 — коллектор нагнетательный; 9 — предохранительный клапан; 10 — клапанная коробка; 11 — клапан; 12 — коронка нажимная; 13 — поршень; 14 — втулка цилиндра; 15 — коллектор всасывающий; 16 — шток; 17 — крейцкопф



му трубопроводу бурового раствора и заполняют раствором с помощью бурового насоса.

Буровой раствор закачивают буровым насосом в одну из половин мерного бака. В это время из второй половины мерного бака буровой раствор забирают насосом 9Т и подают в скважину. Для обеспечения нормальной работы агрегата необходимо, чтобы наполнение мерного бака проводилось быстрее, чем выкачивание жидкости при работе.

Цементиловочный агрегат 3ЦА-400А (рис. 34) имеет специальный двигатель и четырехскоростную коробку передач для привода трехцилиндрового цементиловочного насоса 11Т, расположенные на платформе агрегата, и предназначен для нагнетания в скважину жидкой смеси при цементировании, гидроразрыве пластов и других работах (табл. 6). Агрегат 3ЦА-400А состоит из следующих основных узлов, смонтированных на общей раме: трехпоршневого насоса двойного действия, силовой установки, коробки передач, промежуточного вала, редуктора, манифольда, мерного бака. Он не оснащен водоподающим насосом.

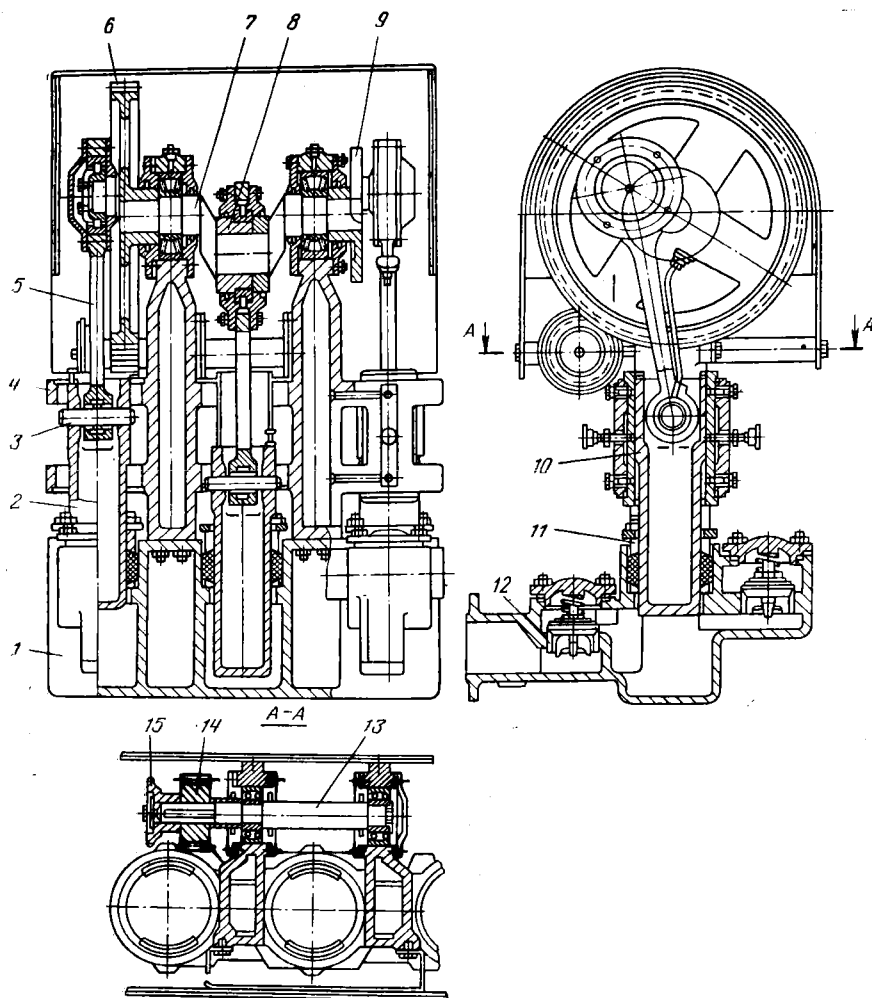


Рис. 33. Водоподающий насос 1В:

1 — клапанная коробка; 2 — плунжер; 3 — палец крейцкопфа; 4 — станина; 5 — шатун; 6 — зубчатое колесо; 7 — коленчатый вал; 8 — разрезной вкладыш; 9 — кривошип; 10 — накладка; 11 — сальник; 12 — клапан; 13 — трансмиссионный вал; 14 — шестерня; 15 — полумуфта цепная

Манифольд агрегата состоит из приемных и нагнетательных линий с установленными на них пробковыми кранами диаметрами 25,4; 50,8; 101,6 и 127 мм, предохранительным клапаном гвоздевого типа, компенсатора и манометра на давление 60 МПа с масляным разделителем.

Мерный бак вместимостью 6 м³ разделен на две равные части и имеет донные клапаны.

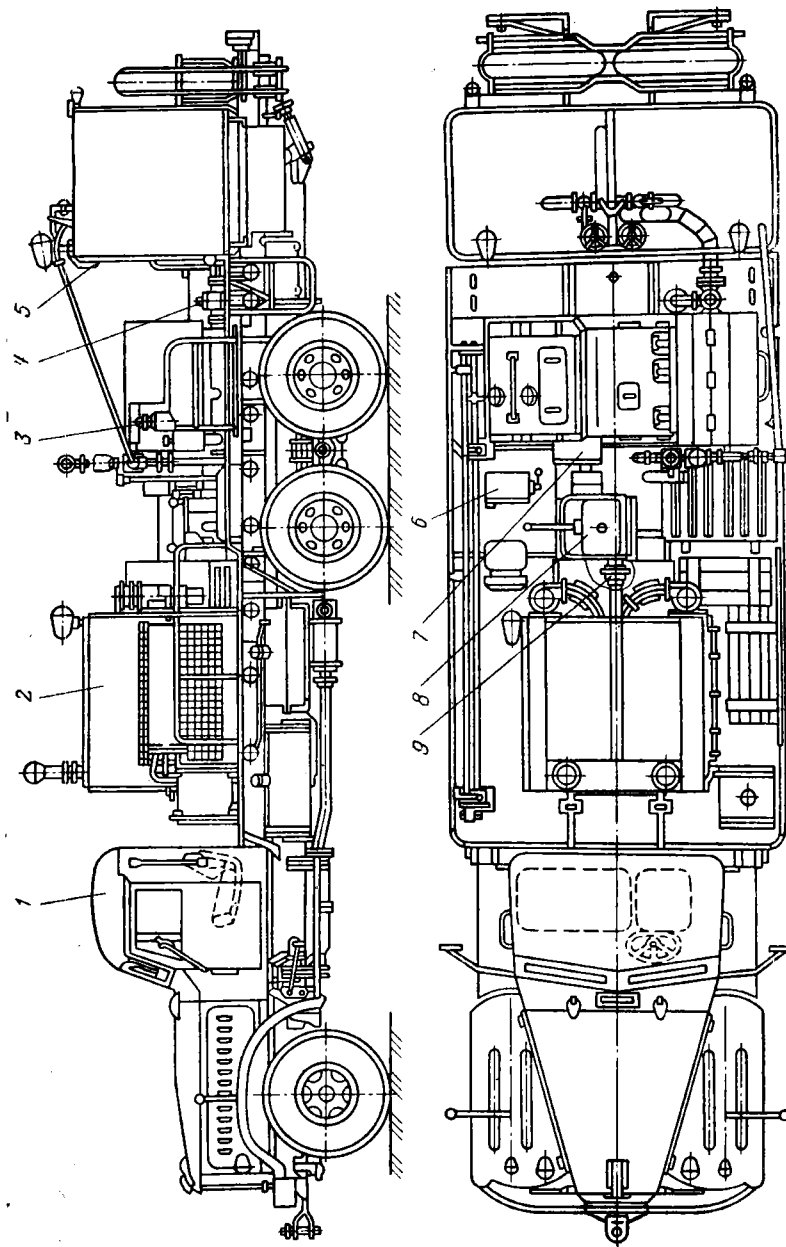


Рис. 34. Цементирующий агрегат ЗЦА-400А:

1 — кабина; 2 — силовая установка; 3 — насос; 4 — манифольд; 5 — мерный бак; 6 — пост управления; 7 — редуктор с муфтой; 8 — коробка передач; 9 — промежуточный вал

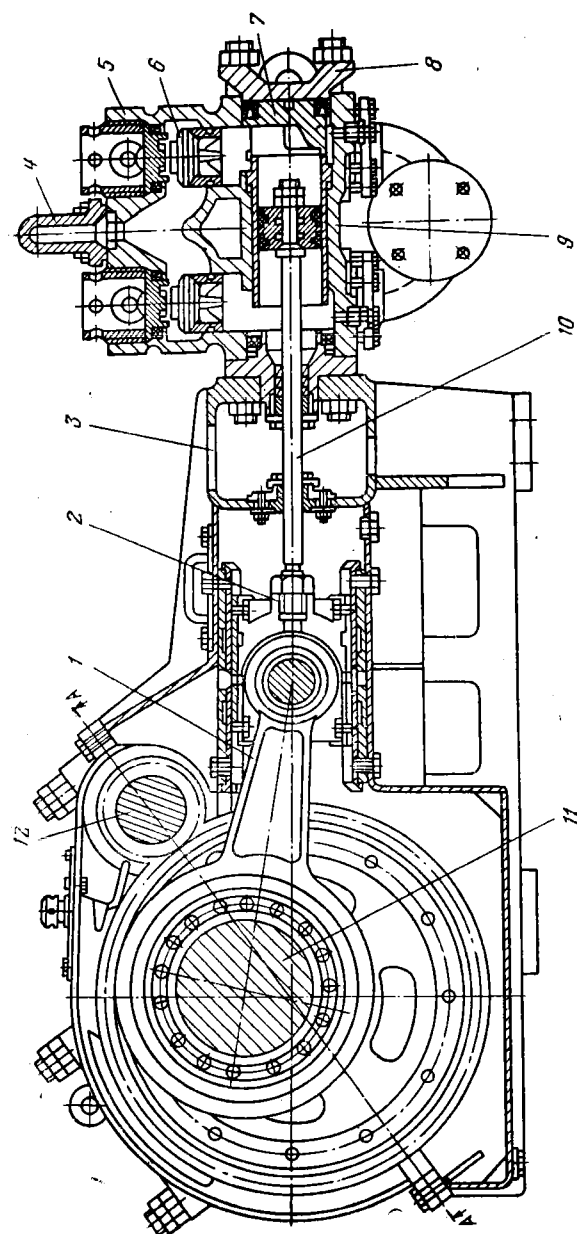


Рис. 35. Насос 11Т:

1 — шатун; 2 — крейковид; 3 — станная; 4 — коллектор; 5 — клапанная коробка; 6 — клапан; 7 — нажимная коробка; 8 — цилиндр;
 9 — крышка; 10 — поршень; 11 — шток; 12 — трансмиссионный вал

Таблица 6

Режимы работы агрегата ЗЦА-400А

Включенная передача	Частота вращения коренного вала насоса, об/мин	Давление (МПа) при диаметре втулки, мм			Подача (л/с) при диаметре втулки, мм		
		110	125	140	110	125	140
I	43,2	40	30	23,5	6,6	8,8	11,2
II	62	27,5	21	16,2	9,5	12,6	16,1
III	91,8	18,5	14	11	14,1	18,6	23,8
IV	127	13,5	10	8	19,5	25,8	33,0

Цементировочный насос 11Т, установленный на агрегате, имеет три горизонтальных цилиндра, в которых работают поршни (рис. 35).

Основные технические данные цементировочного агрегата ЗЦА-400А

Тип агрегата	Передвижной, на шасси автомобиля
Максимальное давление при подаче 2,9 л/с, МПа	40
Максимальная подача при давлении 4 МПа, л/с	33
Габаритные размеры, мм:	
длина	10770
ширина	2900
высота	3270
Общая масса агрегата, включая снаряжение (заправку), кг	22500

Монтажная база

Тип автомобиля	Трехосный грузовой КрАЗ-257
Грузоподъемность, т	10—12
Двигатель:	
модель	ЯМЗ-238
максимальная частота вращения вала двигателя, об/мин	2100
наибольшая мощность, кВт	177

Цементировочный насос 11Т

Тип	Трехцилиндровый, горизонтальный, двойного действия
Гидравлическая мощность, кВт	258
Ход поршня, мм	220
Наибольшее число двойных ходов в 1 мин	127

Манифольд и прочее оборудование

Вместимость мерного бака, м ³	6
Условный диаметр проходного сечения трубопровода, мм:	
приемного	125

раздаточного	100
нагнетательного	50
Общая длина разборного трубопровода, мм	22000
Номинальная мощность двигателя В2-500А-С2 при 1800 об/мин, кВт	368
Наибольший крутящий момент при 1100—1200 об/мин, Н·м	2250
Эксплуатационная мощность при 1600 об/мин, кВт	344
Устойчивая частота вращения вала двигателя на холостом ходу, об/мин	≥ 600

Коробка передач 4КПм

Наибольшая передаваемая мощность при 1800 об/мин, кВт	368
Число ступеней	4
Передаточные числа для передач:	
I	4,66
II	3,26
III	2,2

Основой гидравлической части насоса являются три клапанные коробки, крепящиеся к станине.

Поршни насосов и втулки предусмотрены сменными с диаметрами 110, 125, 140 мм, в результате обеспечивается работа при давлениях соответственно 40, 30 и 23,5 МПа.

В манифольд агрегата входят приемный, нагнетательный и раздающий трубопроводы. Приемный трубопровод насоса 11Т оборудован трехходовым краном и позволяет принимать жидкость из мерной емкости агрегата и цементного бачка, расположенного на земле. Раздающий трубопровод также имеет трехходовой кран. Нагнетательный трубопровод оборудован воздушным колпаком, предохранительным клапаном, манометром с разделителем и проходными кранами высокого давления.

Для набора затворяющей и продавочной жидкостей в задней части агрегата устанавливают мерный бак сварной конструкции, разделенный перегородкой; вместимость бака 6 м³. Внутри каждого отсека (рис. 36) имеются вертикальные рейки с делениями, цена которых 0,1 м³.

Отсеки первого бака наполняются по трубопроводу, проходящему через днище емкости. На конце каждого из ответвлений установлен проходной кран с коленом.

Жидкость можно отбирать насосом отдельно из каждого отсека. Отстой и промывочная вода сливаются из бака при открытии сливной конусной пробки.

Пульт управления агрегата расположен на его платформе со стороны приводной части насоса и включает в себя рабочее кресло машиниста, рычаги, педали и приборный щиток.

Цементировочный агрегат 4ЦА-100 (рис. 37). Оборудование смонтировано на шасси трехосного грузового автомобиля. При-

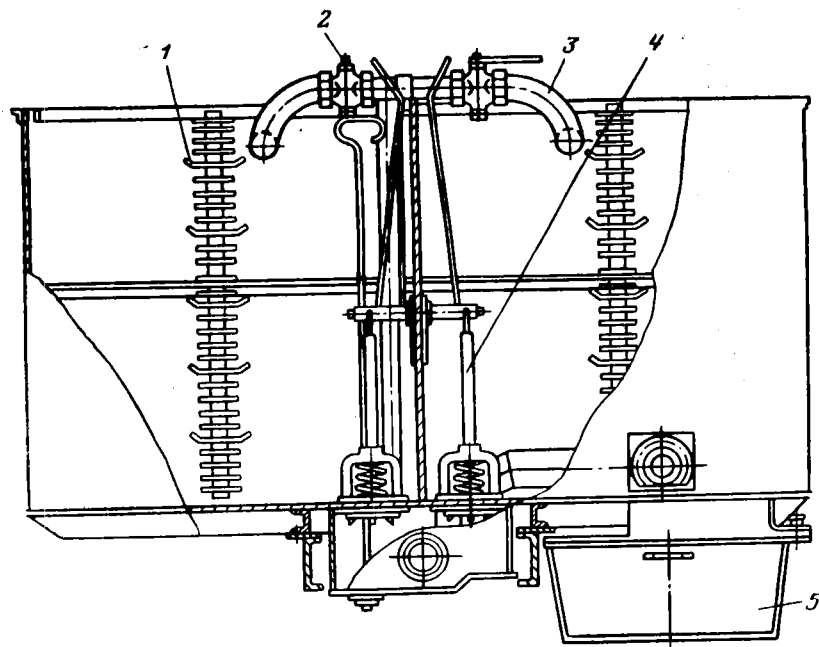


Рис. 36. Мерный бак с донными клапанами:
1 — мерная рейка; 2 — кран проходной диаметром 76,2 мм; 3 — патрубок; 4 — донные клапаны; 5 — цементный бачок

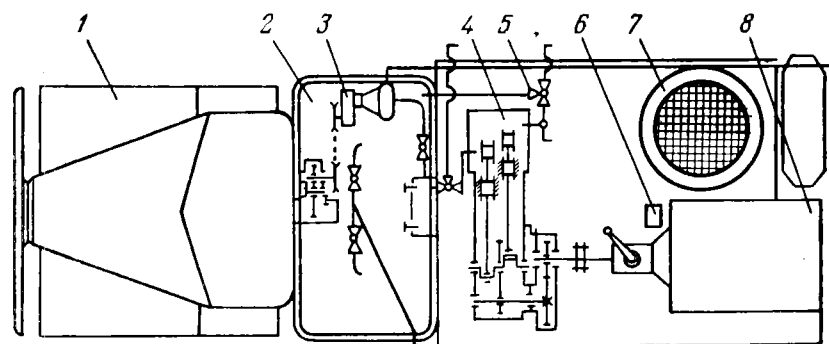


Рис. 37. Цементирувочный агрегат 4ЦА-100:
1 — шасси автомобиля; 2 — мерная емкость; 3 — водоподающий блок; 4 — насос; 5 — ма-
нифольд; 6 — пост управления; 7 — смешительное устройство; 8 — силовая установка

вод цементирующего насоса осуществляется от силовой установки, расположенной на платформе агрегата, включающей пятискоростную коробку передач и фрикционную муфту. Двигатели силовой установки и автомобиля карбюраторные. На агрегате установлен горизонтальный двухпоршневой цементирующий насос 11ГрЦ и водоподающий насос ЗК-6 с приводом от тягового двигателя автомобиля.

ЦЕМЕНТИРОВОЧНЫЕ АГРЕГАТЫ В СПЕЦИАЛЬНОМ ИСПОЛНЕНИИ

Для цементирования скважин в труднодоступных районах разработан комплекс оборудования, состоящий из цементирующего агрегата, цементовозов и смесительного блока. Каждый агрегат представляет единый блок, который может применяться не только при цементировании скважин, но и для проведения ряда других работ. Смесительный блок может быть использован при цементировании обсадных колонн с помощью буровых насосов, для подачи воды и т. д. (табл. 7).

Цементирующие агрегаты этого типа отличаются друг от друга транспортными базами и способами их доставки к месту проведения работ. Они могут быть смонтированы на раме (5ЦА-320) для транспортирования на внешней подвеске вертолета, на санях (5ЦА-320С), транспортируются тягачом, а также на прицепе с болотными гусеницами (5ЦА-320ГБ) и буксируются болотным трактором С-100Б.

Цементирующие агрегаты типа 5ЦА-320 состоят из силовой установки, включающей двигатель внутреннего сгорания пятискоростной коробки передач, цементирующего насоса 9Т, мерного бака вместимостью 4 м³, вспомогательного оборудования и пульта управления, смонтированных на транспортной базе. На раме предусмотрены четыре пальца, к которым крепятся тросы для транспортировки агрегата на внешней подвеске вертолета МИ-6.

Цементирующий агрегат 5ЦА-320С отличается от базовой модели наличием специальных саней, к которым крепится весь агрегат.

Агрегат ЦА-320А (рис. 38) отличается от агрегата ЦА-320М наличием водоподающего блока, в который вместо плунжерного насоса 1В входит центробежный. Режимы работы агрегата ЦА-320А приведены в табл. 8.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЦЕМЕНТИРОВОЧНЫХ АГРЕГАТОВ

К основным недостаткам существующих цементирующих агрегатов следует отнести: недостаточную гидравлическую мощность, невысокую работоспособность отдельных узлов (клапанов, поршней и цилиндрических втулок, уплотнений и т. д.), вы-

Техническая характеристика агрегатов типа 5ЦА-320

Режим	Частота вращения вала двигателя, об/мин	Включенная перер-дача	Частота вращения вала насоса, об/мин	Диаметр цилиндрической втулки, мм					
				100		115		127	
				Поддача насоса, л/с	Давление, МПа	Поддача насоса, л/с	Давление, МПа	Поддача насоса, л/с	Давление, МПа
Кратковременный, 10% от времени цикла ($N = 112,2$ кВт)	2000	II	33,6	3,56	32,0*	4,75	23,0*	5,95	18,5*
		III	64,2	6,80	16,8	9,08	12,6	11,36	10,0
		IV	97,5	10,30	11,1	13,79	8,3	17,25	6,6
		V	147,8	15,65	7,3	20,90	5,4	26,16	4,4
То же ($N = 105,6$ кВт)	1800	II	30,2	3,20	32,0*	4,27	2,3*	5,34	18,5*
		III	57,7	6,11	17,6	8,16	13,2	10,21	10,5
		IV	87,8	9,30	11,6	12,42	8,6	15,54	6,9
		V	133,0	14,08	7,6	18,81	5,7	23,54	4,6
Нормальный ($N = 94,7$ кВт)	1500	II	25,2	2,67	32,0*	3,56	23,0*	4,46	18,5*
		III	48,1	5,09	18,9	6,80	14,2	8,51	11,3
		IV	73,2	7,75	12,4	10,35	9,3	12,96	7,4
		V	110,9	11,75	8,2	15,69	6,1	19,63	4,9

* При этих давлениях допустима кратковременная работа.

Режимы работы цементировочного агрегата ЦА-320А

Режим	Частота вращения вала двигателя, об/мин	Включенная передача	Число двойных ходов насоса в 1 мин	Диаметр сменной втулки, мм					
				100		115		127	
				Подача, л/с	Давление, МПа	Подача, л/с	Давление, МПа	Подача, л/с	Давление, МПа
Кратковременный, 10% от времени цикла ($N=112,2$ кВт)	2000	II	33,6	3,56*	32,0*	4,75	23,0*	5,95	18,5*
		III	64,2	6,80	16,8	9,08	12,6	11,36	10,0
		IV	97,5	10,30	11,1	13,79	8,3	17,25	6,6
		V	147,8	15,65	7,3	20,90	5,5	26,16	4,4
При цементировании скважин и других кратковременных операциях ($N=105,6$ кВт)	1800	II	30,2	3,20	32,0*	4,27	23,0*	5,34	18,5*
		III	57,7	6,11	17,6	8,16	13,2	10,21	10,5
		IV	87,8	9,30	11,6	12,42	8,6	15,54	6,9
		V	133,0	14,08	7,6	18,81	5,7	23,54	4,5
Длительный ($N=94,7$ кВт)	1500	II	25,2	2,67	32,0*	3,56	23,0*	4,46	18,5*
		III	48,1	5,09	18,9	6,80	24,2	8,51	11,3
		IV	73,2	7,75	12,4	10,35	9,3	12,96	7,4
		V	110,9	11,75	8,2	15,69	6,1	19,63	4,9

Примечания: 1. Коэффициент подачи 0,9. 2. Категорически запрещается использование I передачи для привода цементировочного насоса 9Г. 3. При давлениях, указанных звездочками, допустима кратковременная работа.

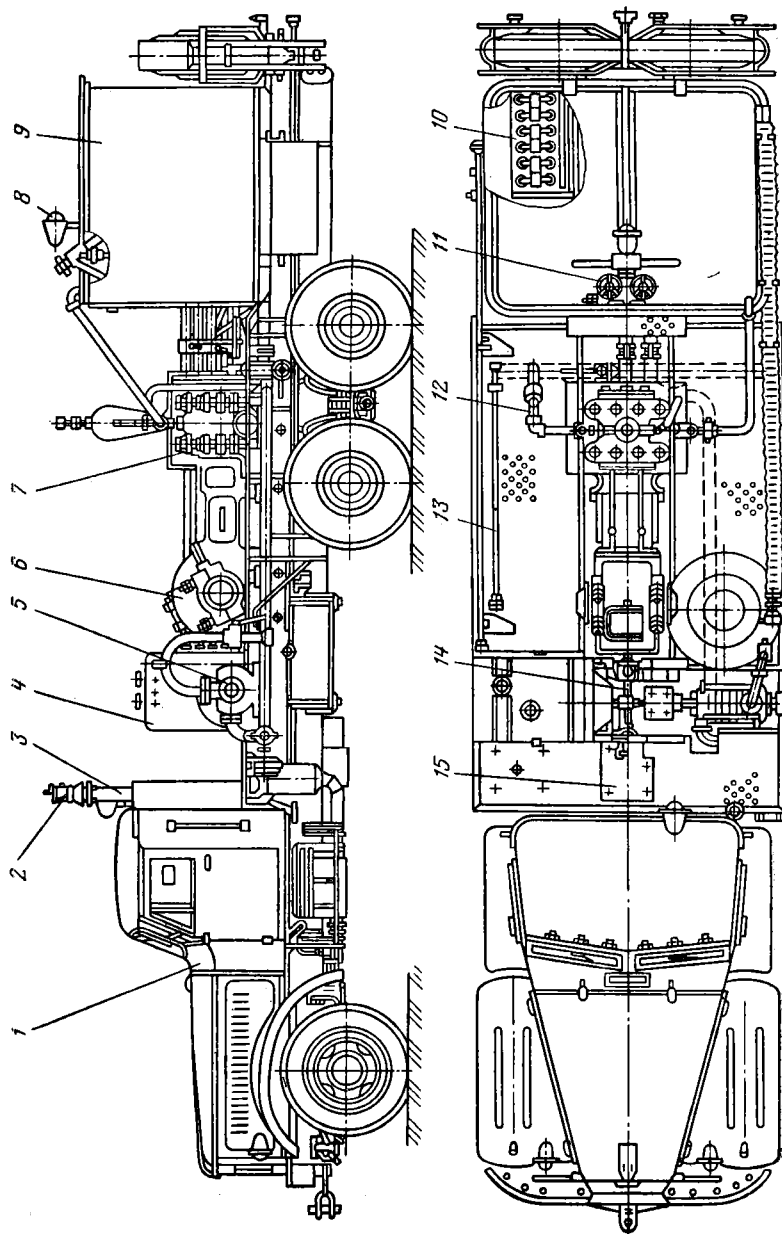


Рис. 38. Цементи́ровочный агрегат ЦА-320А:

1 — шасси автомобиля; 2 — искрогаситель; 3 — выхлопная труба; 4 — двигатель ГАЗ-51А; 5 — центробежный водоподающий насос; 6 — цементи́ровочный насос 9Т; 7 — кожух ограждения насоса; 8 — фары; 9 — мерный бак; 10 — колено гибкого металлического шланга; 11 — донные клапаны; 12 — нагнетательный трубопровод; 13 — труба гибкого металлического шланга; 14 — карданный вал; 15 — коробка отбора мощности

сокую неравномерность давления, ненадежную работу запорной арматуры и гибкого металлического шланга, непригодность к работе при низких температурах, невысокую проходимость шасси автомобиля и некоторые другие.

В настоящее время создан размерный ряд цементи́ровочных агрегатов и цементно-смесительных машин. Типы и основные параметры нефтепромысловых передвижных насосных установок (так называются цементи́ровочные и насосные агрегаты) регламентированы техническими условиями на их производство (ТУ 26-16-52—77, ТУ 26-16-148—82, ТУ 26-16-196—87, ТУ 26-16-213—87). Предусмотрено создание трех типов насосных установок: с мерным баком (УНБ), с цистерной для транспортирования рабочей жидкости (УНЦ) и без специального оборудования (УН). Установки насосные с мерным баком (цементи́ровочные агрегаты) будут выпускаться пяти типов, каждая на определенную гидравлическую мощность (73,6; 117,8; 294,4; 463,7 и 910 кВт). Чтобы получить различные технические характеристики установок той же полезной мощности, предусматривается применение в насосах различных гидравлических блоков. Разработаны и испытаны несколько модификаций установок насосных на 117,8; 294,4 и 463,7 кВт. Основные технические данные установок типа УНБ приведены в табл. 9.

Техническая характеристика установки УНБ-630

Полезная мощность, кВт	434,2
Наибольшее давление, МПа	70
Подача при наибольшем давлении, л/с	4,8
Давление при наибольшей подаче, МПа	12

Цементи́ровочный насос:

тип	Горизонтальный, трех- плунжерный, одинарного действия, с двумя смен- ными гидравлическими частями на давления 32 и 70 МПа
диаметры сменных плунжеров, мм	80 (для $p=100$ МПа), 90, 110, 115 и 140
ход плунжера, мм	160
наибольшая частота ходов, об/мин	283
Водоподающий блок с центробежным водопода- ющим насосом ЦНС60-198:	
подача, л/с	16,6
наибольшее давление, МПа	1,98

Таблица 9

Основные технические данные насосных установок типа УНБ

Число насосов	Полезная мощность, кВт	Режим наибольшего давления		Режим наибольшей подачи			
		Наибольшее давление нагнетания, МПа	Идеальная подача, л/с	Идеальная подача, л/с	Давление нагнетания, МПа		
1	74	16	4,7	12,5	6,0		
		20	3,7	10,0	7,5		
		25	3,0	8,0	9,4		
2	118	25	4,7	25,0	4,8		
		32	3,7	20,0	6,0		
		40	3,0	16,0	7,5		
		50	2,4	12,5	9,6		
		63	1,9	10,0	12,0		
	294	40 50 63 80 100	7,5	40 32 25 20 16	7,5		
			5,9		9,4		
			4,7		12,0		
			3,7		15,0		
			3,0		18,7		
	463		11,8	80 64 50 40 32	23,6 29,6		
			9,4				
			7,5				
			5,9				
			4,7				
	917		23,0			80	23,6
			19,0			64	29,6
			15,0			50	
			11,8			40	
			9,4			32	

Подпорный блок с грунтовым центробежным насосом 5ГруЛ-12:

подача, л/с	41,6
наибольшее давление, МПа	0,165
Габаритные размеры установки УНБ2-630, мм:	
длина	10420
ширина	2900
высота	3500
Масса, кг	22160

ЦЕМЕНТНО-СМЕСИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Специальные цементно-смесительные машины предназначены для приготовления цементных растворов при цементировании скважин, различных тампонирующих смесей; они могут

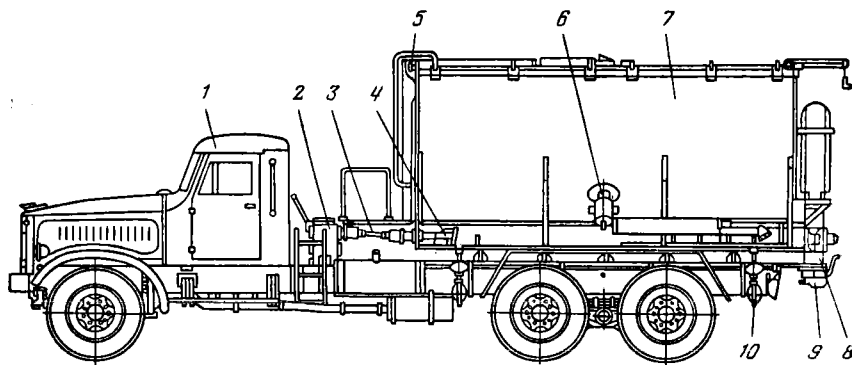


Рис. 39. Цементно-смесительная машина 2СМН-20:

1 — кабина автомобиля; 2 — коробка отбора мощности; 3 — карданный вал; 4 — разгрузочные (дозировочные) шнеки; 5 — привод погрузочного шнека; 6 — погрузочный шнек; 7 — бункер; 8 — приемная камера; 9 — гидровакуумное смесительное устройство; 10 — домкраты

быть использованы для приготовления из глинопорошков нормальных и утяжеленных буровых растворов.

С применением этих машин механизмируются трудоемкие работы, повышается качество и стабильностьготавливаемых растворов, снижаются потери цемента и улучшаются условия труда обслуживающего персонала.

В соответствии с назначением и характером работы смесительные машины монтируются на автомобилях или автоприцепах.

Основными узлами смесительных машин являются бункер, погрузочно-разгрузочный механизм и смесительное устройство для приготовления растворов.

Машина 2СМН-20 рассчитана на перевозку 9 т сухого цемента. По прибытии на место и после установки на откидные домкраты ее догружают до полной грузоподъемности при помощи съемного вертикального загрузочного шнека (рис. 39).

Техническая характеристика машины 2СМН-20

Транспортная грузоподъемность, т	8—9
Вместимость бункера, м ³	14,5
Производительность при изготовлении цементного раствора, л/с	20
Плотность приготавливаемого раствора, г/см ³ :	
цементного	1,7—2,1
цементно-песчаного	1,9—2,3
цементно-бentonитового	1,4—1,6
глинистого	1,02—1,4
утяжеленного глинистого	1,35—2,3
Давление жидкости в линии к смесителю, МПа	0,8—1,5
Смесительное устройство	Вакуумно-гидравлическое

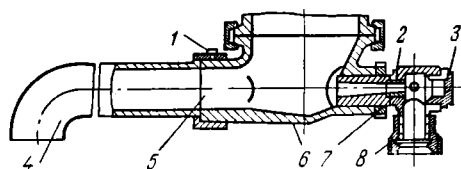


Рис. 40. Смесительное устройство вакуумно-гидравлического типа:

1 — стопорный болт; 2 — сменная насадка; 3 — пробка; 4 — напорная труба; 5 — диффузор; 6 — приемная камера; 7 — гайка; 8 — гайка с уплотнительным корпусом; 9 — отводная труба; 10 — кран; 11 — штуцерная камера

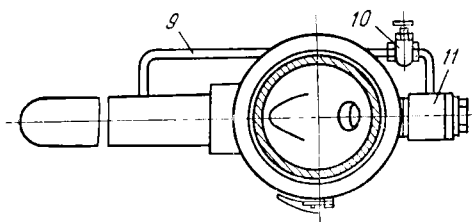
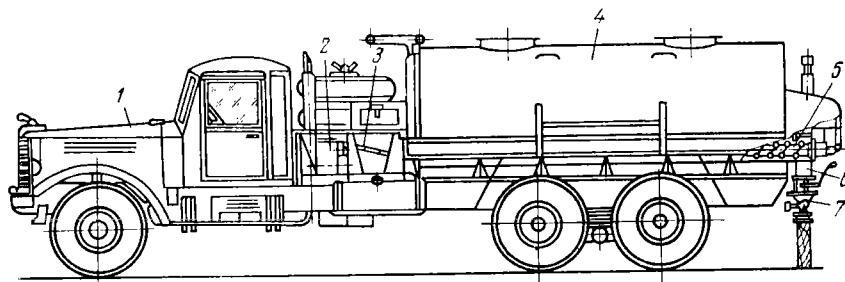


Рис. 41. Смесительная машина 1CM-10:

1 — шасси; 2 — коробка отбора мощности; 3 — карданный вал; 4 — бункер; 5 — дозирующий шнек; 6 — приемная воронка; 7 — смесительное устройство



Максимальная потребляемая мощность, кВт	29,4
Подача загрузочного шнека, т/ч	12—15
Масса, кг	13500
Габаритные размеры, мм:	
длина	9580
высота с грузом	3510
» без груза	3550
ширина в транспортном положении	2700
» в рабочем положении	4000

Количество подаваемого цемента регулируется изменением частоты вращения горизонтальных шнеков-дозаторов. Догрузка на месте проведения работ осуществляется специальным загрузочным шнеком при подаче от 12 до 15 т/ч или автоцементовозами с пневматической разгрузкой при подаче 1 т/мин.

Приемная воронка предназначена для приема цемента, подаваемого двумя шнековыми транспортерами, и для направления его в смесительное устройство. Разрежение создается струей жидкости, вследствие чего подаваемый шнеками порошкообразный материал всасывается в смеситель приемной воронки и интенсивно перемешивается в турбулентном потоке жидкости в напорной трубе.

Смесительное устройство (рис. 40) состоит из приемной камеры с диффузором, переходящим в напорную трубу и штуцерную камеру со сменной насадкой. Приемная камера изготавливается из легкого сплава и своим фланцем крепится к приемной воронке.

Для догрузки 2СМН-20 тампонажными материалами на месте проведения работ применяют загрузочный шнек, подача которого составляет 12—15 т/ч.

Режимы работы цементно-смесительного оборудования представлены в табл. 10.

Смесительная машина 1СМ-10 (рис. 41) имеет бункер для тампонажного материала меньшей вместимости, чем на 2СМН-20.

Конструкция 1СМ-10 также проще; здесь нет загрузочного устройства, а также опорных домкратов. Грузоподъемность ее составляет 10 т. Машину загружают на механизированном складе через люки, расположенные в верхней части бункера.

Цементно-смесительный агрегат 1АС-20 (рис. 42, а) предназначен для аккумуляирования и транспортирования сухого материала и автономного (без цементировочного агрегата) приготовления тампонажного раствора. Агрегат 1АС-20 по своей конструкции и технической характеристике блока, включающего трехплунжерный насос 1В, имеет приводной двигатель ГАЗ-51А с коробкой скоростей и манифольд для подачи затворяющей жидкости в гидровакуумное смесительное устройство. Водоподающий блок аналогичен водоподающему блоку цементировочного агрегата ЦА-320М.

Основные технические данные смесительного агрегата 1АС-20

Транспортная грузоподъемность, т	8
Масса аккумуляруемого цемента, т	20
Производительность при приготовлении раствора, л/с	20
Плотность приготавливаемого раствора, г/см ³	1,7—2,0*
Габаритные размеры, мм:	
длина	9580
высота с грузом	3510
» без груза	3550
ширина в транспортном положении	2800
» в рабочем положении	4000
Масса агрегата, кг:	
без заправки	15070
с заправкой и массой двух человек	15235
Распределение массы без нагрузки, кг:	
на переднюю ось	4825
на заднюю тележку	10410

* При использовании утяжеленных смесей возможно получение раствора большей плотности.

Распределение массы с нагрузкой 80 кН, кг:	
на переднюю ось	4825
на заднюю тележку	18410
Управление агрегатом	Централизованное из кабины автомобиля

Водоподающий блок

Тип насоса 1В	Трехплунжерный, вертикальный, одинарного действия
Диаметр плунжера, мм	125
Ход плунжера, мм	170
Передаточное число зубчатой передачи	3,88
Максимальная частота вращения коленчатого вала, об/мин	140
Подача, л/с	13
Давление, МПа	1,5
Потребляемая мощность, кВт	25,8
Диаметр трубопровода, мм:	
приемного	100
нагнетательного	50

Цементно-смесительный агрегат 2АС-20 (рис. 42,б) осуществляет транспортирование и аккумулялирование сухого материала, автономное транспортирование и аккумулялирование сухого материала, автономное приготовление тампонажного и глинистого растворов, а также песчано-жидкостных смесей.

Отличительная особенность 2АС-20 — наличие центробежного водоподающего насоса 4К-6 вместо трехплунжерного насоса-1В, установленного на агрегате 1АС-20. Привод насоса 4К-6 осуществляется от тягового двигателя автомобиля через коробку мощности и карданный вал.

Оборудование цементно-смесительной машины СМП-20 (рис. 43) смонтировано на автомобильном полуприцепе грузоподъемностью 20 т. Бункер смесительной машины СМП-20 имеет более жесткую раму, чем у машины 2СМН-20. Разгрузочные шнеки отличаются от шнеков машин 2СМН-20 и СМ-10 большей длиной, а также разным направлением лопастей: левый шнек имеет левые витки, а правый шнек — правые. Во время работы шнеки вращаются в противоположные стороны, что улучшает транспортировку цемента вдоль днища бункера. Технические характеристики СМП-20 и 2СМН-20 аналогичны.

Цементно-смесительная машина СМ-4М предназначена для транспортирования сухого цемента и механизированного приготовления цементного раствора. Она представляет собой сочетание ряда узлов бункера дозирующего шнека, привода шнека, смесительного устройства и контрольно-измерительных приборов (рис. 44).

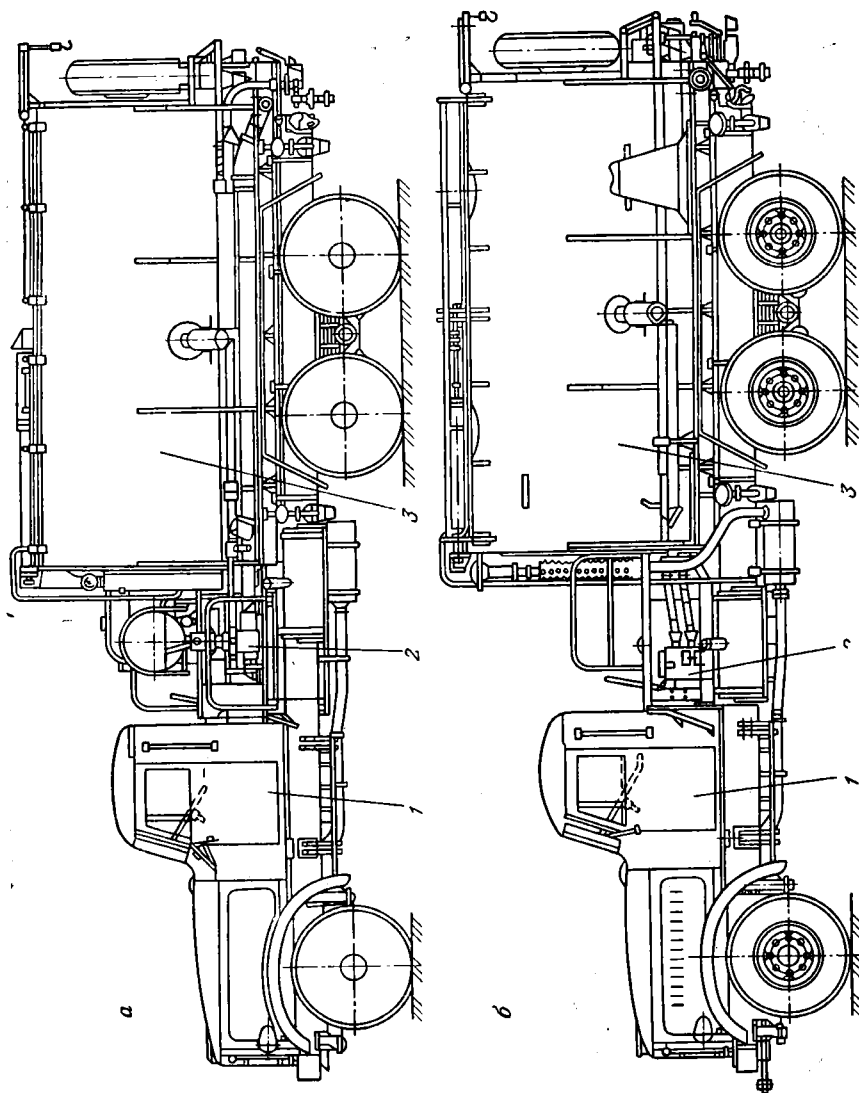
Таблица 10

Режимы работы цементно-смесительного оборудования при приготовлении тампонажных растворов из различных сухих материалов

Тампонажный материал	Плотность, г/см ³		Водосмесе- вое отноше- ние	Диаметр насоса в смеситель- ном устрой- стве, мм	Давление нагнетания жидкости затворения, МПа	Включен- ная пере- дача	Теоретиче- ская произ- водитель- ность Це- ментно-Сме- сительной машины 2СМН-20, м/с
	сухого ма- териала	приготов- ляемого раствора					
Облегченный портландцемент для «холодных» скважин	2,65—2,73	1,42—1,5	0,9—1,05	14—16	1,0—1,2	II	17—20
То же, для «горячих» скважин	2,73—2,81	1,50—1,60	0,9—1,05	14—16	1,0—1,2	II	16—20
Портландцемент для «холодных» и «горячих» скважин	3,12—3,50	1,82—1,85	0,45—0,5	12—14	1,0—1,5	II—III	10—13
Песчаный портландцемент для «холодных» скважин	2,99—3,02	1,82—1,85	0,45—0,5	12	1,0—1,5	II—III	9,5—11,5
То же, для «горячих» скважин	2,89—2,90	1,82—1,85	0,45—0,5	12	1,0—1,5	II—III	9,5—11,5
Утяжеленный цемент УЦГ-1	3,45—3,55	2,05—2,15	0,45—0,5	10	2,5—3,0	III	8,5—10,5
То же, УЦГ-2	3,55—3,65	2,16—2,25	0,32	10	2,5—3,0	III	8,5—10
Утяжеленный шлаковый цемент:							
УШЦ1-120	3,45—3,55	2,05—2,15	0,35	10	2,5—3,0	III	8,5—10,5
УШЦ2-120	3,55—3,65	2,16—2,25	0,32	10	2,5—3,0	III	8,0—10
УШЦ1-200	3,45—3,55	2,05—2,15	0,35	10	2,5—3,0	III	8,5—10,5
УШЦ2-200	3,55—3,60	2,16—2,25	0,32	10	2,5—3,0	III	8,0—10
Шлакопесчаный цемент сов-местного помола ШПЦС-120	280	1,78—1,82	0,45	12—14	1,0—1,5	II—III	10—13,5
То же, ШПЦС-200	280	1,78—1,83	0,42	12—14	1,0—1,5	II—III	10—13,5

Рис. 42. Цементно-
смесительные агре-
гаты:

а — 1АС-20, б —
2АС-20; 1 — кабина;
2 — коробка отбора
мощности, 3 — бункер



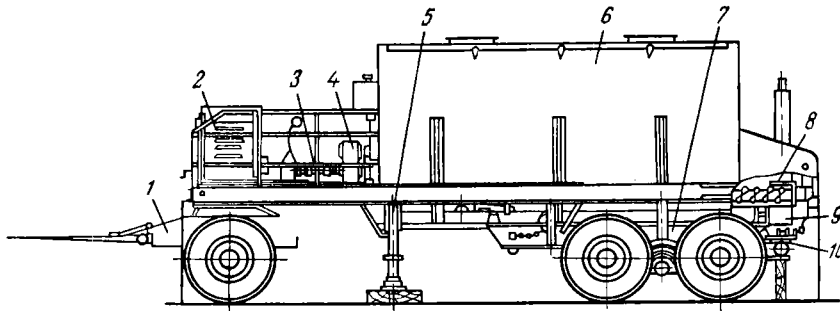


Рис. 43. Цементно-смесительная машина СМН-20:

1 — прицеп; 2 — двигатель; 3 — вал; 4 — коробка передач; 5 — опора; 6 — бункер; 7 — рама; 8 — разгрузочный шнек; 9 — приемная камера; 10 — смесительное устройство

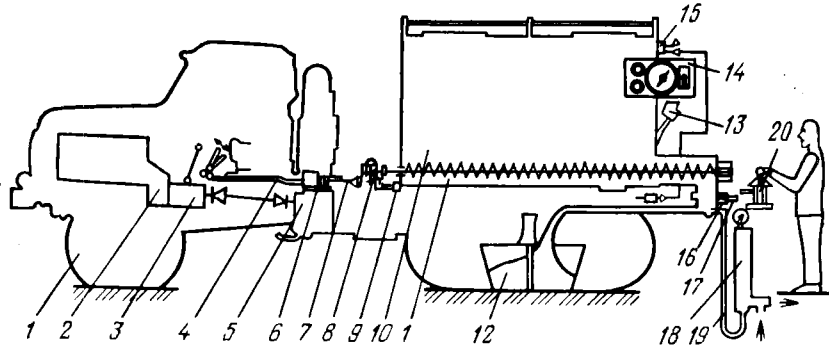


Рис. 44. Схема управления цементно-смесительной машиной СМ-4М:

1 — шасси автомобиля ЗИЛ-131А; 2 — двигатель автомобиля; 3 — коробка передач; 4 — управление коробкой отбора мощности; 5 — коробка раздаточная; 6 — коробка отбора мощности; 7 — вал карданный; 8 — редуктор; 9 — датчик тахометра; 10 — бункер; 11 — шнек; 12 — бачок цементирующего агрегата; 13 — фара поворотная с выключателем; 14 — щиток приборов с тахометром, включением зажигания и двумя контрольными лампами; 15 — вибратор пневматический С-80; 16 — штуцер сменный; 17 — шибер приемной воронки; 18 — регулятор давления; 19 — труба обводная; 20 — рычаг дублирующего управления с педалью

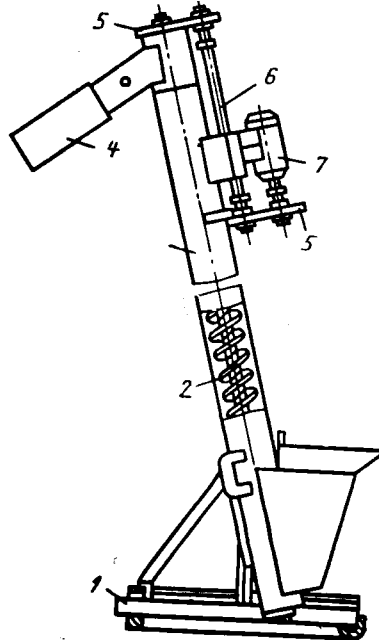


Рис. 45. Шнековый погрузчик ПШ:

1 — основание; 2 — шнек; 3 — труба; 4 — поворотный патрубок; 5 — редуктор; 6 — карданный вал; 7 — электродвигатель

Режимы работы машины СМ-4М для получения раствора
плотностью 1,85 г/см³

Производи- тельность, л/с	Частота вра- щения, об/мин	Давление перед смесительным устрой- ством (МПа) при диаметре отвер- стия штуцера, мм					Расход во- ды, л/с
		11,0	12,35	13,5	14,6	15,6	
6,75	61	1,0	0,65	0,45	—	—	4,10
8,25	76	—	0,7	0,7	0,52	—	5,15
10,00	91	—	1,0	1,0	0,74	0,54	6,25

Рекомендуемые режимы машины СМ-4М приведены в табл. 11.

Бункер представляет собой емкость с наклонными боковыми стенками и днищем, выполненным в виде корыта для шнека. На внутренних частях передней и задней стенок бункера имеются три метки. Нижняя метка соответствует объему бункера 1 м³, средняя — 2 м³, и верхняя — 3 м³, бункер крепится к раме автомобиля с помощью стремянок и кронштейна.

Погрузчик шнековый. При погрузочных работах применяются шнековые погрузчики ПШ (рис. 45). В нижней части погрузчика имеется приемная воронка, в верхней — поворотный патрубок, к которому присоединяется рукав.

Смесительный агрегат ЗАС-30 (рис. 46) предназначен для транспортирования и аккумуляирования цемента, а также для

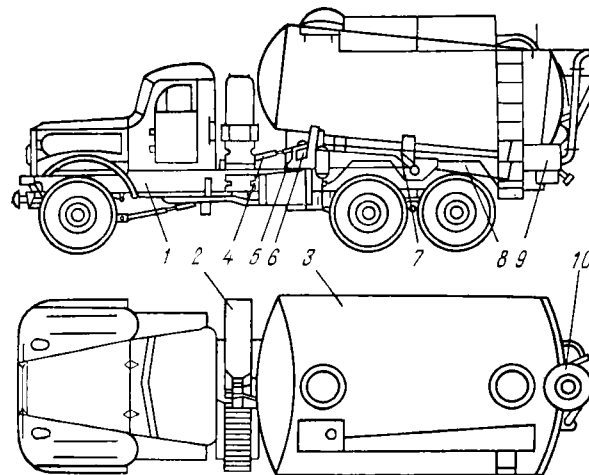


Рис. 46. Агрегат смесительный ЗАС-30:

1 — кабина; 2 — коробка отбора мощности; 3 — цистерна; 4 — трансмиссия; 5 — ротационный компрессор; 6 — шестеренчатый насос; 7 — манифольд; 8 — система пневморазгрузки; 9 — пост управления; 10 — сепаратор

приготовления цементного раствора. Основное его отличие от других отечественных цементно-смесительных машин и агрегатов заключается в использовании пневматического способа транспортирования сухого материала вместо механического.

Агрегат ЗАС-30 состоит из цистерны, установленной на шасси автомобиля повышенной проходимости КрАЗ-255Б; компрессора и водоподающего насоса, приводимых в действие от двигателя автомобиля через коробку отбора мощности; трансмиссии, манифольда, системы разработки и поста управления.

Техническая характеристика цементно-смесительного агрегата ЗАС-30

Транспортная грузоподъемность, т	6—7
Масса цемента, т	20
Производительность, л/с	30
Плотность приготавливаемого раствора, г/см ³	1,3—2,4
Система разгрузки	Пневматическая
Подача, т/мин	2,2
Подача ротационного компрессора РК-6/1, м ³ /мин	6,0
Максимальное давление, МПа	0,25
Давление в цистерне, МПа	0,06
Подача насоса 4К-6 (при давлении 2 МПа), л/с	2,5
Потребляемая мощность, кВт	45,2—55,2
Габаритные размеры, мм:	
длина	9200
ширина	2850
высота	3680
Масса агрегата (с полной нагрузкой), кг	19675

Разгрузочное устройство цистерны расположено в задней ее части, поэтому цистерна установлена на шасси автомобиля под углом 60° к горизонтали.

В нижней части цистерны расположены так называемые аэроднища, предназначенные для создания эффекта текучести сухого материала в процессе его разгрузки с помощью сжатого воздуха. Каждый из двух разгрузочных патрубков цистерны оснащен заслонками, перекрывающими проход при продувке разгрузочной линии. На разгрузочных патрубках имеются люки, предназначенные для удаления лежалого цемента и камней.

В приемной воронке поддерживается определенный уровень цемента, что способствует получению более стабильного по плотности раствора.

Агрегат оснащен системой пневморазгрузки цемента: манифольдом для приема жидкости затворения из мерных баков цементировочных агрегатов или из других устройств и подачи ее в смесительное устройство, смесительным устройством гидроракуумного типа и постом управления, где сосредоточены приборы контроля и рычаг управления механизмами агрегата.

Система загрузки агрегата позволяет механизированно за-

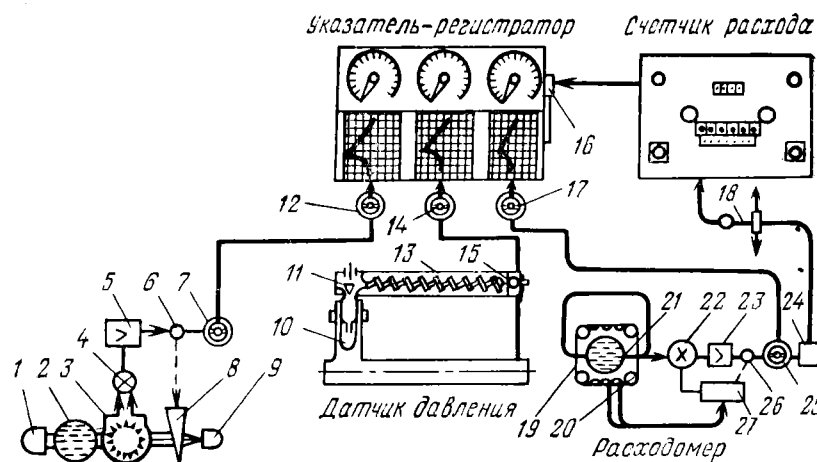


Рис. 47. Принципиальная схема станции цементирования СКЦ-2М:

1 — источник радиоактивного излучения; 2 — участок трубопровода датчика плотности; 3 — вращающийся барабан приемных счетчиков; 4, 22 — элементы сравнения; 5, 23 — усилители; 6, 26 — серводвигатели; 7, 15, 25 — сельсин-датчики; 8 — круговой компенсационный клин; 9 — малый компенсационный источник радиоактивного излучения; 10 — разделитель; 11 — регулирующая дроссель; 12 — следящий сельсин манометра; 13 — геликсная пружина; 14 — следящий сельсин расходомера; 16, 17 — следящий сельсин расходомера; 18 — двухпозиционная муфта-двигатель; 19 — датчик расхода; 20 — система питания обратной связи автокомпенсатора; 21 — электрод; 24 — преобразователь; 27 — орган введения обратной связи

гружать в цистерну цемент, доставленный на площадку в мешках. Для этого используется нагнетательный трубопровод компрессора, загрузочный бункер и труба загрузочная, расположенная по левой стороне цистерны. Самозагрузка осуществляется за счет вакуума, создаваемого в цистерне ротационным компрессором.

Пульт управления агрегатом расположен в задней части агрегата. Он оснащен следующими средствами контроля и управления.

СТАНЦИЯ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ И САМОХОДНЫЙ БЛОК МАНИФОЛЬДА

Для контроля основных параметров тампонажного раствора и режимов его нагнетания в скважину применяют станцию контроля цементирования СКЦ-2М (рис. 47). В состав станции входят самоходная лаборатория, смонтированная в кузове автомобиля КАВЗ, в которой расположена вторичная и вспомогательная аппаратура, и самоходный блок манифольда 1БМ-700, смонтированный на шасси автомобиля ЗИЛ-131, на котором установлены напорный и раздающий коллекторы, разборный трубопровод и комплект датчиков.

С помощью приборов станции осуществляется контроль и регистрация следующих основных технологических параметров: давления, мгновенного расхода, суммарного объема и плотности закачиваемой жидкости.

Станцию СКЦ-2М можно использовать при проведении гидроразрыва пласта и других технологических операций с применением электропроводных сред при давлении до 40 МПа.

Плотность раствора, закачиваемого в скважину, измеряется радиоактивным плотномером ПЖР-2М. Принцип действия плотмера основан на явлении поглощения пучка гамма-излучения при прохождении последним слоя жидкости. Интенсивность поглощения этих лучей меняется в зависимости от плотности жидкости.

Техническая характеристика станции СКЦ-2М

Диапазон измерения:	
давления, МПа	0—40
расхода мгновенного, л/с	5—100
плотности, г/см ³	1,0—2,0
Емкость счетчика, м ³	9999
Основная приведенная погрешность измерения, %:	
давления	±2,5
мгновенного расхода	±2,5
суммарного расхода (относительная погрешность)	±2,5
плотности (от диапазона измерения 1 г/см ³)	±3,0
Скорость перемещения диаграммы указателя-регистратора, мм/ч	600
Питание:	От сети переменного тока или от автономного источника
напряжение, В	220±10%
частота, Гц	50±4%
Потребляемая мощность, Вт	800

Самоходный блок манифольда 1БМ-700 (рис. 48) предназначен для соединения напорных трубопроводов агрегатов с устьем скважины, а также для раздачи продавочной жидкости агрегатам при цементировании.

Техническая характеристика блока манифольда 1БМ-700

Напорный коллектор

Максимальное рабочее давление, МПа	70
Условный внутренний диаметр, мм	100
Число подсоединяемых линий (от агрегатов)	6
Число линий, отводимых к устью скважины	2
Условный диаметр проходного сечения трубопроводов, мм	50

Раздающий коллектор

Максимальное рабочее давление, МПа	2,5
Условный внутренний диаметр, мм	100
Число подсоединяемых линий	10
Условный внутренний диаметр подсоединяемых трубопроводов, мм	50

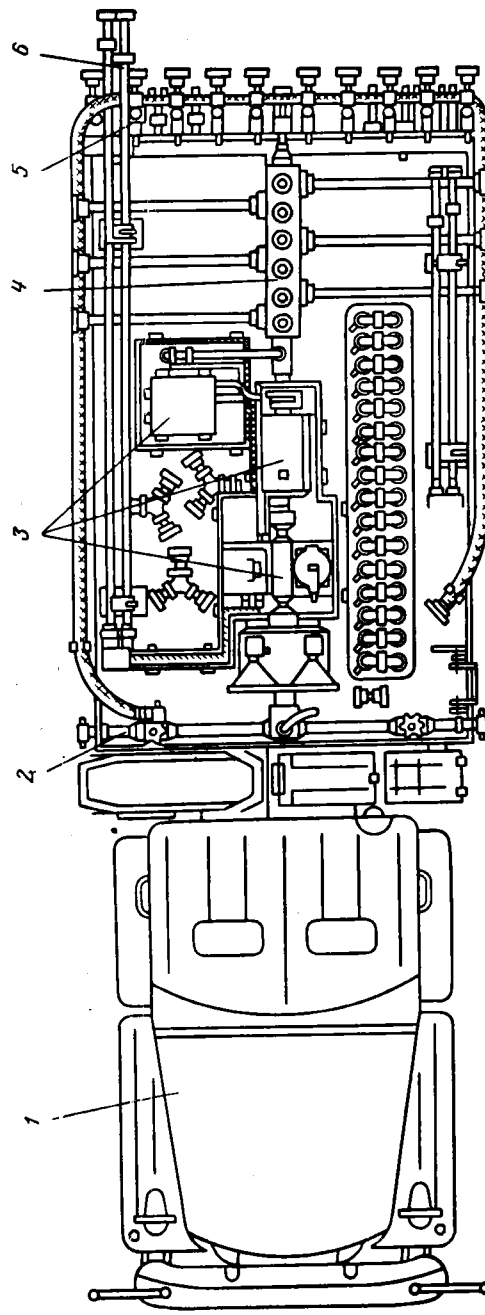


Рис. 48. Самоходный блок манифольда ИМ-700:

1 — шасси автомобиля; 2 — напорная линия; 3 — датчики плотности, расхода и давления; 4 — напорный коллектор; 5 — разделяющий кран; 6 — разборный трубопровод

Разборный трубопровод

Число труб	23
Общая длина трубопровода, м	80
Условный внутренний диаметр, мм	50
Число шарнирных колен для соединения труб	16
Габаритные размеры, мм:	
длина	7690
ширина	2500
высота	2895
Масса (с полной заправкой, включая массу двух чел- век), кг	8440

Напорный коллектор включает клапанную коробку с шестью отводами для подсоединения напорных трубопроводов агрегатов и трубопровод с условным внутренним диаметром 100 мм, на котором монтируются датчики СКЦ. Трубопровод заканчивается тройником, к одному из отводов которого подсоединен предохранительный клапан, а к двум другим — линии, отводимые к арматуре, установленной на устье скважины.

Раздающий коллектор представляет собой трубу с условным внутренним диаметром 100 мм, к которому приварены 10 ниппелей. На каждом ниппеле имеется пробковый кран с ввинченным в него уплотнительным конусом для подсоединения разборного трубопровода.

Подсоединение так называемых «вилки», входящих в комплект блока манифольда, к напорному или раздающему коллекторам позволяет увеличить число линий соответственно от 6 до 10 или от 10 до 14.

Для погрузки и выгрузки различных приспособлений и арматуры, которая обычно перевозится на площадке рамы блока манифольда, предусмотрена поворотная стрела грузоподъемностью 400 кг.

При обслуживании блока манифольда необходимо весьма тщательно соблюдать все правила техники безопасности, поскольку кроме высокого давления жидкости при цементировании, представляющего опасность, на блоке имеется радиоактивный источник.

СХЕМЫ РАСЧЕТА ПРОЦЕССА ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН

Расчеты при цементировании скважин — важная часть проектирования этого заключительного этапа строительства. Однако точный расчет всего процесса цементирования провести пока невозможно, так как отсутствуют данные о реологических свойствах тампонажного раствора об истинных размерах и конфигурации ствола скважины из-за трудностей при определении местных сопротивлений и т. д. Поэтому применяют стохастический подход (вместо детерминированного) к гидравлическому процессу цементирования (ВНИИКРнефть).

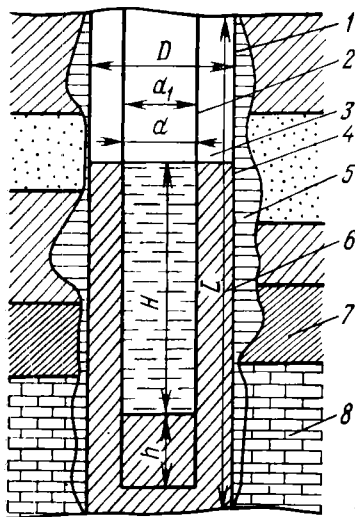


Рис. 49. Схема скважины для расчета процесса цементирования:

1 — номинальный диаметр скважины; 2 — обсадная колонна; 3 — буровой раствор; 4 — уровень подъема тампонажного раствора; 5 — каверна; 6 — тампонажный раствор; 7 — горные породы; 8 — цементный стакан

В соответствии с конкретными местными условиями создаются свои методы работы, главным образом с учетом давления гидроразрыва пластов (В. М. Карпов, В. Г. Добрянский, А. А. Мовсумов, В. Н. Муняев и др.). Рассмотрим более общие случаи.

Расчет сплошного одноступенчатого цементирования обсадной колонны

Этот расчет включает:

- 1) установление количества сухого цемента (или смеси цемента с наполнителями), выбор типа цемента;
- 2) определение необходимого количества воды и реагентов для затворения тампонажного цемента, определение объема продажной жидкости;
- 3) установление допустимого времени цементирования скважины, выбор рецептуры тампонажного раствора;
- 4) определение необходимого числа агрегатов и цементно-смесительных машин.

Иногда определяют максимально возможное давление в конце процесса цементирования.

1. Зная статическую $t_{з.ст}$ температуру в скважине, определяем динамическую (при промывке) температуру

$$t_{з.д} = t_{з.ст} + t_{y0} - t_y - \Delta t_{п}, \quad (7)$$

где $t_{з.д}$ и $t_{з.ст}$ — температуры бурового раствора у забоя, соответственно динамическая и статическая; t_{y0} и t_y — температуры «нейтрального» слоя земли и бурового раствора на устье

при циркуляции через 1—2 цикла; Δt_n — разность температур выходящего из скважины и закачиваемого в нее бурового раствора.

До температуры 50 °С применяют цементы для «холодных» скважин; если температура в скважине составляет 50—90 °С, используют цементы для «горячих» скважин; при более высоких температурах и давлениях применяют цементы для глубоких скважин (цементно-песчаные, цементы на основе доменных шлаков и др.).

Подбирая тип тампонажного цемента и зная его физические характеристики, можно определить требуемое его количество.

2. На рис. 49 показана схема скважины. Объем скважины с учетом коэффициента кавернозности k на высоте подъема цементного раствора H с учетом объема цементного стакана будет соответствовать объему цементного раствора

$$V_{ц.р} = \frac{\pi}{4} [k(D^2 - d^2)H + d_1^2 h] \quad (8)$$

и

$$V_{ц.р} = (V - V_k) + 0,785, \quad (8')$$

где h — высота оставленного в скважине цементного стакана (расстояние от башмака колонны до стоп-кольца), м; D , d , d_1 — соответственно диаметр скважины, наружный и внутренний диаметры обсадной колонны, м; V — объем ствола скважины в интервале цементирования, определяемый на основании данных профилометрии, м³; V_k — объем обсадной колонны по наружному диаметру труб на длине участка цементирования, м³.

Коэффициент кавернозности k обычно изменяется от 1,2 до 2,5. При расчетах для цементирования предпочтительно пользоваться определенными геологической службой для конкретных скважин коэффициентами кавернозности или руководствоваться данными ранее зацементированных скважин.

3. Для приготовления 1 м³ тампонажного раствора при заданном (обычно равном 0,5) водоцементном отношении m с плотностью воды ρ_v необходимо иметь q тонн цемента плотностью $\rho_{ц}$ (табл. 12):

$$q = \frac{\rho_{ц}\rho_v}{\rho_v + m\rho_{ц}}. \quad (9)$$

Тогда плотность тампонажного раствора

$$\rho_{ц.р} = q(1 + m). \quad (10)$$

Практически $\rho_{ц.р}$ определяют ареометром.

4. Общая масса цемента составит

$$G_{ц} = k_{ц}qV_{ц}, \quad (11)$$

Плотность тампонажных цемента

Цемент	ρ_t , г/см ³	Цемент	ρ_t , г/см ³
Для «горячих» скважин (ГОСТ 1581-85)	3,1	УШЦ2-120	3,6
УШГ-1	3,5	УШЦ1-200	3,4
УШГ-2	3,7	УШЦ2-200	3,6
УШЦ1-120	3,4	ШПЦС-120	2,8
		ШПЦС-200	2,8
		Шлаковый	2,9

где k_u — коэффициент, учитывающий потери цемента при погрузочно-разгрузочных работах ($k_u = 1,03 \div 1,05$).

Число n_1 цементно-смесительных машин принимается с учетом расчетного объема тампонажного цемента при условии, что в каждую из них можно загрузить примерно 20 т материала: $n_1 = G_u/20$.

Общий объем воды при этом составит

$$V_v = G_u / (k_u k_v \rho_v), \quad (12)$$

где k_v — коэффициент, учитывающий потери воды ($k_v = 1,03 \div 1,05$).

5. Из рис. 49 следует, что объем $V_{ж}$ продажной жидкости для транспортирования цементного раствора в затрубное пространство можно определить по формуле

$$V_{ж} = \pi \Delta d^2 / 4 (L - h), \quad (13)$$

где Δ — коэффициент сжимаемости продажной жидкости, изменяющийся в широких пределах (1,01—1,10).

Более точный расчет объема продажной жидкости с учетом ее сжимаемости состоит в следующем:

$$V_{ж} = \Delta \left(\sum_{i=1}^{i=n} \pi d_i^2 / 4 l_i - \pi d^2 / 4 h \right), \quad (14)$$

где n — число секций обсадной колонны, различающихся по внутреннему диаметру; d_i — внутренние диаметры труб каждой секции, м; l_i — длины секций обсадных труб, м; $\sum_{i=1}^n l_i = L$ (L — глубина спуска обсадной колонны, м).

Использование принятых $\Delta = 1,03 \div 1,05$ при расчете газовых скважин во многих случаях приводит к уменьшению объемов на 8—10% против фактических в связи с неточным замером и подсчетом объема закачиваемого в скважину бурового раствора при продажке и более высокой его сжимаемости вследствие газирования.

Способность к дегазации буровых растворов различна. Для уточнения объема продажной жидкости при цементировании необходимо определить количество газа (воздуха) в газированном растворе. Это можно осуществить бóльшим (например, в 2—3 раза) разбавлением бурового раствора водой. При резком снижении вязкости и статического напряжения сдвига буровой раствор свободно отделяется от газа и за короткий отрезок времени практически полностью дегазируется.

Объемную долю x газа определим из выражения

$$x = 3 - (\rho_{\text{ф}} + 2)/\rho_{\text{р}}, \quad (15)$$

где $\rho_{\text{ф}}$ и $\rho_{\text{р}}$ — плотности соответственно газированного и разбавленного буровых растворов (взято бурового раствора 1 л, а воды — 2 л).

Например, газированный буровой раствор, имеющий плотность $\rho_{\text{ф}} = 1,3$ г/см³, разбавлен водой в соотношении 1 : 2. Плотность оказалась равной 1,12 г/см³. Следовательно, в нормальных условиях он содержит 5% газа, что составляет 0,05 м³ в 1 м³ раствора, т. е. можно определить объем продажной жидкости с учетом сжимаемости бурового раствора. Тогда объем продажной жидкости определится добавлением к расчетной величине $\Delta_{\text{ж}}$ объема ΔV раствора, равного объему газа при данной объемной доле его содержания, т. е.

$$V = V_{\text{ж}} + aV_{\text{ж}} = V_{\text{ж}}(1 + a), \quad (16)$$

т. е. $\Delta = 1 + a$.

6. Возможное максимальное давление в конце продавки можно определить по формуле

$$p = p_1 + p_2, \quad (17)$$

где p_1 — давление, требуемое для преодоления разности плотностей растворов в трубах и затрубном пространстве,

$$p_1 = \frac{1}{10} [(H - h)(\rho_{\text{ц.р}} - \rho_{\text{ж}})]. \quad (18)$$

Гидравлические потери давления p_2 точно рассчитать пока невозможно. Экспериментальные формулы также не могут характеризоваться высокой точностью.

Для приблизительных расчетов иногда используют ориентировочные формулы:

1) Н. И. Шацова:

а) для скважин глубиной до 1000 м $p_2 = 0,01 + 0,8$ МПа;

б) — — — — — более 1000 м $p_2 = 0,01 + 1,6$ МПа;

2) М. А. Красина: $p_2 = 0,021 + 0,6$ МПа;

3) В. А. Воловика: $p_2 = 0,001$ МПа;

4) Г. М. Гевиняна: $p_2 = \alpha B^{0,33} Q^{0,5} / \eta L$ МПа (α — коэффициент, зависящий от диаметра колонны и подачи насоса, равный

0,1—0,2; B — вязкость бурового раствора по СПВ-5, с; L — глубина скважины, тыс. м; η — коэффициент просвета скважины).

Результаты, полученные по приведенным формулам, значительно отличаются друг от друга. Следовательно, давление, развиваемое цементировочными агрегатами, должно составить $p_{об} > p = p_1 + p_2$.

7. При определении допустимого времени цементирования следует исходить из необходимости накопления запаса времени 5—10 мин на каждые 1000 м глубины скважины. Допустимое время цементирования $T_{доп}$ (в мин) должно соответствовать времени схватывания с учетом указанного запаса

$$T_{доп} < T_{схв} + (5 - 10) C, \quad (19)$$

где C — глубина скважины, км (причем до 2000 м запас времени, указанный в скобках, принимается равным 5 мин, при большей глубине он принимается равным 8—10 мин на 1000 м).

8. Требуемое число цементировочных агрегатов

$$n = T_{об} / T_{доп}, \quad (20)$$

где $T_{об} = t_{ц} + t_{пр} + 10$ мин — продолжительность цементирования скважин одним агрегатом; $t_{ц}$ — время закачки цементного раствора; $t_{пр}$ — время продавки цементного раствора; 10 мин — время на освобождение цементировочной пробки.

При нормальном цементировании практически весь цементный раствор (за исключением цементирования глубоких скважин с большой высотой подъема раствора в затрубном пространстве) закачивают агрегатами на IV скорости, т. е. при их максимальной подаче. В этом случае суммарные потери давления p_{2IV} не должны превышать максимального давления агрегатов $p_{ц.аIV} : p_{2IV} \leq p_{ц.аIV}$.

Тогда время закачки цементного раствора агрегатами на IV скорости составит

$$t_{ц} = t_{ц.р} / q_{IV}, \quad (21)$$

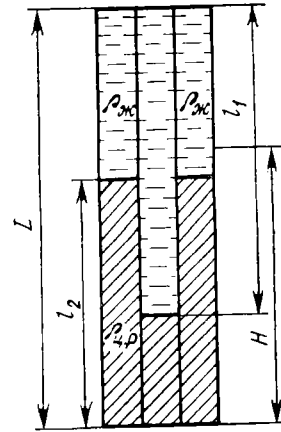
где q_{IV} — подача цементировочных агрегатов на IV скорости.

После закачки всего цементного раствора и освобождения цементировочной пробки начинают продавку на максимально возможной скорости для обеспечения турбулентного режима движения цементного раствора в затрубном пространстве скважины.

Если есть опасность гидроразрыва пластов при цементировании, процесс ограничивают давлением гидроразрыва пластов и исходя из этого давления задают скорость продавки, а часто специально подбирают тампонажный раствор, руководствуясь возможностями снижения плотности.

Рис. 50. К расчету процесса цементирования

Обычно продавка цементного раствора начинается на IV скорости агрегатов. По мере увеличения высоты подъема цементного раствора в затрубном пространстве давление возрастает, что требует переключения агрегатов на более низкие скорости. Как правило, процесс цементирования скважин, особенно глубоких, заканчивается при работе цементировочных агрегатов на I скорости. Время продавки цементного раствора можно определить по формуле



$$t_{\text{пр}} = \frac{V_{\text{жIV}}}{q_{\text{IV}}} + \frac{V_{\text{жIII}}}{q_{\text{III}}} + \frac{V_{\text{жII}}}{q_{\text{II}}} + \frac{V_{\text{жI}}}{q_{\text{I}}}, \quad (22)$$

где $V_{\text{жIV...I}}$ — объем бурового раствора для продавки на соответствующей скорости агрегата; $q_{\text{IV...I}}$ — подача цементировочного агрегата на соответствующей скорости.

Для определения времени $t_{\text{пр}}$, необходимого для продавки цементного раствора, зафиксируем некоторый момент расположения его в скважине (рис. 50) и запишем систему уравнений, характеризующих:

— равенство давлений в трубах и затрубном пространстве

$$(L - l_2) \rho_{\text{ж}} + l_2 \rho_{\text{ц.р}} - 10 p_2 = l_1 \rho_{\text{ж}} + (L - l_1) \rho_{\text{ц.р}} + 10 p_{\text{ц.а}}; \quad (23)$$

равенство объемов цементного раствора в затрубном пространстве и трубах

$$V_{\text{ц.р}} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) l_2 + \frac{\pi d_1^2}{4} (L - l_1), \quad (24)$$

где $p_{\text{а}}$ — максимальное давление на агрегате при работе его на n -й скорости; $V_{\text{ц.р}}$ принято без учета k .

Совместным решением системы уравнений (23) и (24) относительно l_1 получаем (полагая $\pi d_1^2/4 = F_1$ и $\pi(D^2 - d^2)/4 = F_2$)

$$l_1 = \frac{F_2 h}{F_1 + F_2} + \frac{10 F_2 (\rho_{\text{ц.а}} - \rho_2)}{(F_1 + F_2) (\rho_{\text{ц.р}} + \rho_{\text{ж}})} + \frac{h F_1 - V_{\text{ц.р}}}{F_1 + F_2}, \quad (25)$$

где l_1 — высота закачанной в трубы продавочной жидкости на максимальной скорости.

Таким же образом подсчитывают высоту закачанной продавочной жидкости на меньших скоростях, т. е. высоту столба продавочной жидкости в обсадной колонне в момент перехода на меньшую скорость. Однако следует помнить, что вместо $p_{\text{а}}$

для IV скорости надо подставить p_a для меньшей скорости и заменить l_{IV} на l_n , где $n=III, II, I$ (скорости).

Суммарная подача насосов цементируемых агрегатов должна быть такой, чтобы тампонажный раствор двигался в затрубном пространстве с заданной скоростью, обеспечивающей полное вытеснение промывочной жидкости

$$Q_{ц. а} = 0,1 \frac{\pi}{4} (D_c^2 - d_n^2) v_{з. п}, \quad (26)$$

где $v_{з. п}$ — заданная скорость движения тампонажного раствора в затрубном пространстве, м/с; D_c, d_n — соответственно фактический средний диаметр скважины и наружный диаметр обсадной колонны, см.

Цементирующие агрегаты должны иметь суммарную мощность, обеспечивающую создание давления, необходимого при заданном темпе нагнетания, позволяющего поднять тампонажный раствор на заданную высоту,

$$N_{ц. а} = 0,1 (D_c^2 - d_n^2) p_{ц. а} v_{з. п}, \quad (27)$$

где $p_{ц. а}$ — заданное давление в напорной линии цементируемого агрегата, МПа; остальные обозначения те же, что и в формуле (26).

Необходимое число цементируемых агрегатов и цементно-смесительных машин можно определить исходя из полученных по приведенным выше зависимостям данных и технических данных этого оборудования. Причем наиболее важными условиями являются проведение цементирования за отводимое на эту операцию время и обеспечение поднятия тампонажного раствора на заданную высоту.

Таким образом, число цементируемых агрегатов, необходимых для цементирования, можно определить по формуле

$$n_a = N_{ц. а} / N_a, \quad (28)$$

где N_a — гидравлическая мощность агрегата, или

$$n_a = Q_{ц. а} / q_{ц. а}. \quad (28')$$

Округлять следует в большую сторону. Кроме того, необходимо предусматривать резерв (1—2 агрегата).

Число цементно-смесительных машин, одновременно участвующих в процессе приготовления тампонажного раствора, определяют исходя из условия соблюдения одинакового темпа приготовления и нагнетания тампонажного раствора

$$n_{с. м} = Q_{ц. а} / q_{с. м}, \quad (29)$$

где $q_{с. м}$ — средняя производительность цементно-смесительной машины.

$$n'_{с.м} = G_{т.м}/q_{с.м}, \quad (30)$$

где $q_{с.м}$ — количество сухого тампонажного материала, загружаемого в бункер цементно-смесительной машины в стационарных условиях, т.

Гидравлический расчет цементирования

Гидравлический расчет цементирования обсадных колонн (в приведенном варианте) проводят для определения необходимой суммарной подачи цементировочных агрегатов из условия обеспечения максимально возможной скорости v восходящего потока бурового и тампонажного растворов в затрубном пространстве, допустимого давления на цементировочной головке p_r и на забое скважины (или в интервале пласта с наименьшим градиентом гидроразрыва) p_z , а также выбора цементировочного оборудования и определения продолжительности процесса в соответствии с расчетным режимом цементирования и сроком загустевания тампонажного раствора.

Принимаются следующие граничные условия:

$$p_r \leq p_y/1,5; \quad (31)$$

$$p_z \leq p_{г.п}/(1,2 \div 1,5); \quad (32)$$

$$t_{ц} = t_{зак} + t_{пр} + 10 \leq 0,75t_{зат}, \quad (33)$$

где p_y — допустимое давление на устьевое цементировочное оборудование (цементировочную головку, обвязку, насосы и др.), МПа; $p_{г.п}$ — давление гидроразрыва пород на забое скважины или в интервале пласта с наименьшим градиентом гидроразрыва, МПа; $t_{зак}$ — время приготовления и закачивания тампонажного раствора, ч; $t_{пр}$ — время продавливания тампонажного раствора, включая время на получение давления «стоп», ч; $t_{зат}$ — время загустевания тампонажного раствора, определяемое с помощью консистометра, ч.

Рекомендуется следующий порядок расчета.

1. Исходя из конкретных геолого-технических условий и практики цементирования скважин в данном районе принимают максимально возможную скорость восходящего потока бурового и тампонажного растворов в скважине v к моменту окончания продавки, когда возникают наиболее опасные условия гидроразрыва пород.

2. Максимальное ожидаемое давление на цементировочной головке в соответствии с принятой величиной v составит

$$p_r = p_{г.с} + p_r + p_k,$$

где $p_{г.с}$ — максимальная ожидаемая разность гидростатических давлений в трубах и затрубном пространстве в конце процесса цементирования; p_t , p_k — гидравлические сопротивления соответственно в трубах и затрубном пространстве при принятом значении v ;

$$p_{г.с} = 0,1 [(L - H) (\rho_{ж} - \rho_{п.р}) + (H - h) (\rho_{ц.р} - \rho_{п.р})],$$

где L — глубина скважины (длина обсадной колонны); H — высота подъема тампонажного раствора от башмака колонны; h — высота цементного стакана в колонне; $\rho_{ж}$, $\rho_{ц.р}$, $\rho_{п.р}$ — плотности соответственно бурового, тампонажного растворов и продавочной жидкости;

$$p_t = 82,6 \lambda \rho_{ц.р} \frac{Q^2 L}{d_b^5};$$

$$p_k = 82,6 \lambda \rho_{ц.р} \frac{Q^2 L}{(D - d_n)^3 (D + d_n)},$$

где λ — коэффициент гидравлических сопротивлений, для практических расчетов принимаемый равным 0,035; D , d_b , d_n — соответственно средневзвешенный диаметр скважины, внутренний и наружный диаметры обсадных труб;

$$Q = 0,785 (D^2 - D_n^2) v.$$

3. Максимальное ожидаемое давление на забое скважины p_z составит

$$p_z = p'_{г.с} + p_k,$$

где

$$p_{г.с} = 0,1 [(L - H) \rho_{ж} + H \rho_{ц.р}].$$

4. Проверяют соответствие расчетных значений p_t и p_z условиям (31) и (32). В случае невыполнения одного из неравенств следует скорректировать величину v и провести повторный расчет до выполнения заданных ограничений.

5. В соответствии с расчетными значениями Q и p_t выбирают тип цементировочных агрегатов, число которых n_1 определяется соотношением $n_1 = Q/q$, где q — подача одного агрегата при давлении $\geq p_t$.

6. Требуемое количество цементно-смесительных машин n_2 в зависимости от соотношения расчетного объема тампонажного раствора $V_{ц.р}$ и внутреннего объема цементируемой обсадной колонны $V_{в.к}$ рекомендуется определять из следующих соотношений:

а) если $V_{т.р} \geq V_{в.к}$, то $n_2 = Q'/q_{см}$, где $Q = n_1 q$ — суммарная подача ЦА при закачке тампонажных растворов, л/с; $q_{см}$ — производительность одной цементно-смесительной машины, л/с;

б) если $V_{т.р} < V_{в.к}$, то $n_2 = G/G_6$, где G — требуемая суммарная масса сухого тампонажного материала, т; G_6 — вместимость бункера смесителя (по насыпной массе, т).

7. Определяют продолжительность времени цементирования в соответствии с условием (33).

Приготовленный тампонажный раствор закачивают в обсадную колонну, как правило, при максимальной подаче цементировочного агрегата. В этом случае

$$t_{зак} = 1000V_{ц.р}/60\Sigma q,$$

где Σq — суммарная подача одновременно работающих агрегатов при закачке тампонажного раствора.

В случаях, когда $V_{ц.р} > V_{в.к}$, подачу последних порций тампонажного раствора снижают и соответственно рассчитывают время $t_{зак}$.

Продавливание тампонажного раствора обычно начинают при максимальной подаче цементировочного агрегата. По мере выхода тампонажного раствора в затрубное пространство и увеличения высоты его столба за колонной в связи с ростом давления на головке в определенные моменты времени возникает необходимость последовательного снижения скорости продавливания.

При выборе подачи цементировочных агрегатов, участвующих в закачивании и продавливании тампонажных растворов, следует исходить из максимально допустимой скорости подъема растворов в затрубном пространстве с точки зрения предупреждения гидроразрыва пород.

Общее время продавливания тампонажного раствора определяется выражением

$$t_{пр} = \Sigma V_{при}/Q_i,$$

где $V_{при}$ — объемы продавочной жидкости, закачиваемые на i -й скорости работы ЦА; Q_i — суммарная подача ЦА на i -й скорости работы.

Для определения $V_{при}$ решается система уравнений, составленных в соответствии со схемой, показанной на рис. 50:

$$(L - l_2) \rho_{ж} + l_2 \rho_{ц.р} + 10(p_T + p_K) = l_1 \rho_{ж} + (L - l_1) \rho_{ц.р} + 10p_i;$$

$$V_{ц.р} = 0,785(D^2 - d_n^2) l_2 + 0,785 d_b^2 (L - l_1),$$

где p_i — допустимое давление на ЦА при работе его на i -й скорости; l_1 , l_2 — соответствующие положения уровней тампонажного раствора в трубах и затрубном пространстве к моменту окончания работы ЦА на i -й скорости.

Обозначив $F_1 = 0,785 d_b^2$ и $F_2 = 0,785(D^2 - d_n^2)$, после решения системы уравнений относительно l_1 , получим

$$l_1 = \frac{F_2 L}{F_1 + F_2} - \frac{10 F_2 (p_i - p_T - p_K)}{(F_1 + F_2) (\rho_{ц.р} - \rho_{ж})} - \frac{L F_1 - V_{т.р}}{F_1 + F_2}.$$

Таблица 13

Площадь кольцевого сечения между двумя обсадными колоннами
в зависимости от соотношения их диаметров

Диаметр колонны, мм		Площадь кольцевого сечения, м ²	Диаметр колонны, мм		Площадь кольцевого сечения, м ²
наружной	внутренней		наружной	внутренней	
426	351	0,033	299	168	0,039
426	340	0,0385	299	146	0,0444
426	324	0,0471	273	219	0,0127
426	299	0,0594	273	194	0,0207
407	340	0,0259	273	178	0,0254
407	324	0,0346	273	168	0,0282
407	299	0,0468	273	146	0,0336
407	273	0,0585	273	140	0,0349
377	299	0,0295	273	127	0,0375
377	273	0,0412	273	114	0,0401
377	245	0,0526	245	194	0,0102
377	219	0,0621	245	178	0,0149
351	273	0,0271	245	168	0,0176
351	245	0,0385	245	146	0,023
351	219	0,048	245	140	0,0244
351	194	0,056	245	127	0,0268
340	245	0,033	245	114	0,0295
340	219	0,0425	219	168	0,00895
340	194	0,0505	219	146	0,0142
340	178	0,0552	219	140	0,0157
324	245	0,0254	219	127	0,0186
324	219	0,035	219	114	0,0209
324	194	0,043	194	146	0,00652
324	178	0,0476	194	140	0,00785
324	168	0,0504	194	127	0,0104
299	245	0,014	194	114	0,013
299	219	0,0235	178	127	0,0073
299	194	0,0316	178	114	0,0099
299	178	0,0362	168	114	0,00745

По полученным значениям l_1 для каждой скорости работы ЦА определяют соответствующие величины $V_{пр}$, а затем $t_{пр}$.

8. Рецептуру тампонажного раствора выбирают с учетом необходимости обеспечения величины $t_{заг}$, согласно условию (33).

9. Для облегчения расчета в табл. 13—16 приведены некоторые справочные данные.

Во ВНИИКРнефти разработан (В. М. Мильштейн) порядок и варианты выбора цементировочного оборудования.

В зависимости от условий цементирования применяют три типа точек затворения, отличающихся числом входящих в их состав цементировочных агрегатов (ЦА) и цементно-смесительных машин (СМН). Каждый тип точки затворения делят

**Теоретический объем (в м³) 1 м внутреннего пространства
обсадных труб в зависимости от диаметра и толщины их стенки**

Диаметр обсадной трубы, мм	Толщина стенки трубы, мм							
	6	6,5	7	8	9	10	11	12
114	0,0082	—	0,0078	0,0075	0,0072	—	—	—
127	0,0103	—	0,0101	0,0097	0,0093	—	—	—
140	0,0131	—	0,0127	0,0123	0,0119	0,0115	0,0112	—
146	—	0,0141	0,0137	0,0133	0,0129	0,0125	0,0121	—
168	—	0,0191	0,0186	0,0181	0,0177	0,0172	0,0167	0,0163
178	—	—	0,0211	0,0206	0,0201	0,0196	0,0192	0,0186
194	—	—	0,0254	0,0249	0,0243	0,0238	—	0,0227
219	—	—	0,033	0,0323	0,0317	0,0311	—	0,0298
245	—	—	0,0419	0,0412	0,0405	0,0397	—	0,0383
273	—	—	0,0526	0,0518	0,0510	0,0502	—	0,0495
299	—	—	—	0,0628	0,0620	0,0611	0,0602	0,0593
324	—	—	—	—	0,0736	0,0730	0,0719	0,0711
340	—	—	—	—	0,0814	0,0803	0,0795	0,0786
351	—	—	—	—	0,087	0,086	0,0849	0,0839
377	—	—	—	—	0,102	0,100	0,0989	0,0978
407	—	—	—	—	0,119	0,117	0,116	0,115
426	—	—	—	—	—	0,129	0,128	0,127
508	—	—	—	—	—	—	0,185	—

на ряд подтипов в зависимости от качественного состава техники: марки ЦА и СМН и диаметра цилиндрических втулок ЦА.

В трех разделах табл. 17 для каждого типа точки затворения обозначены название и количество ЦА и СМН по маркам.

В последние годы при цементировании применяют усреднительные емкости для повышения качества тампонажного раствора. Серийный выпуск этих машин еще не налажен, поэтому тампонажные конторы изготавливают их собственными силами, в связи с чем конструкции их разные.

Настоящей методикой предусмотрены варианты выбора всего стандартного оборудования и усреднительных емкостей, конструкция которых обеспечивает непрерывную работу при приготовлении двух видов тампонажных растворов для одной операции цементирования.

Расчет проводят в следующем порядке.

I. Определяют время приготовления и закачивания тампонажного раствора при условии

$$t_3 + t_0 + t_n = t_{\Sigma} \leq 0,75 t_{\text{нст}}; \quad (34)$$

1) при использовании одного вида тампонажного материала ($G_2=0$)

$$t_{\Sigma} - t_0 - t_n \geq t_3 = \frac{V_{\text{тр}}}{Q_{3, \text{min}} \cdot 6 \cdot 10^{-2}}; \quad (35)$$

Таблица 15

Площадь кольцевого сечения между стенкой скважины и обсадной колонной в зависимости от диаметров труб и скважины (без учета коэффициента каверности)

Диаметр, мм		Площадь кольцевого сечения, м ²	Диаметр, мм		Площадь кольцевого сечения, м ²
скважины	обсадной трубы		скважины	обсадной трубы	
540	426	0,0864	269	219	0,0192
490	426	0,046	320	194	0,0509
490	407	0,0589	295	194	0,0388
445	407	0,0259	269	194	0,0273
490	377	0,0769	243	194	0,0168
445	377	0,0438	295	178	0,0443
490	351	0,0918	269	178	0,0318
445	351	0,0587	243	178	0,0214
394	351	0,0251	214	178	0,0111
445	340	0,0644	295	168	0,0461
394	340	0,0306	269	168	0,0346
370	340	0,0165	243	168	0,0242
445	324	0,0725	214	168	0,0138
394	324	0,039	190	168	0,0062
370	324	0,0251	269	146	0,0401
445	299	0,0752	243	146	0,0297
394	299	0,0517	214	146	0,0192
370	299	0,0373	190	146	0,0116
346	299	0,0232	243	140	0,0308
394	273	0,0634	214	140	0,0203
370	273	0,049	190	140	0,0127
346	273	0,0355	161	140	0,005
320	273	0,0216	243	127	0,0337
370	245	0,0604	214	127	0,0232
346	245	0,0469	190	127	0,0156
320	245	0,0333	161	127	0,0075
295	245	0,0212	214	114	0,0258
346	219	0,0564	190	114	0,0181
320	219	0,0428	161	114	0,0101
295	219	0,0307	145	114	0,0063

2) при использовании двух видов тампонажного материала ($G_2 \neq 0$)

$$t_3 = \frac{V'_{\text{тр}}}{Q_{3, \text{min}} \cdot 6 \cdot 10^{-2}} + \frac{V''_{\text{тр}}}{Q_{3, \text{min}} \cdot 6 \cdot 10^{-2}}; \quad (36)$$

3) при $G_2 = 0$ и применении усреднительной емкости

$$t_3 = \frac{V_{\text{тр}} + V_{\text{оср}}}{Q_{3, \text{min}} \cdot 6 \cdot 10^{-2}}; \quad (37)$$

4) при $G_2 \neq 0$ и применении усреднительной емкости

$$t_3 = \frac{V'_{\text{тр}} + V_{\text{оср}}}{Q_{3, \text{min}} \cdot 6 \cdot 10^{-2}} + \frac{V''_{\text{тр}} + V_{\text{оср}}}{Q_{3, \text{min}} \cdot 6 \cdot 10^{-2}}. \quad (38)$$

Теоретический объем скважины (в м³) в зависимости от ее глубины и диаметра долота

Глубина скважины, м	Диаметр долота, мм					
	190	214	243	269	295	320
50	1,42	1,80	2,32	2,84	3,42	4,02
100	2,83	3,60	4,64	5,68	6,83	8,04
200	5,67	7,20	9,27	11,36	13,66	16,08
300	8,50	10,80	13,91	17,04	20,49	24,11
400	11,33	14,38	18,54	22,72	27,32	32,15
500	14,17	17,98	23,18	28,40	34,17	40,19
600	17,00	21,57	27,81	34,08	40,99	48,23
700	19,83	25,17	32,45	39,76	47,82	56,27
800	22,66	28,76	37,08	45,44	54,65	64,30
900	25,50	32,36	41,72	51,12	61,49	72,34
1000	28,33	35,95	46,35	56,80	68,31	80,38
2000	56,66	71,90	92,70	113,6	136,6	160,8
3000	84,99	107,8	139,1	170,4	204,9	241,1
4000	113,3	143,8	185,4	227,2	273,2	321,5

Глубина скважины, м	Диаметр долота, мм					
	346	370	394	445	490	540
50	4,70	5,38	6,10	7,77	9,43	11,45
100	9,40	10,75	12,19	15,54	18,85	22,89
200	18,80	21,50	24,38	31,08	37,70	45,78
300	28,19	32,25	36,57	46,62	56,55	68,67
400	37,59	43,00	48,76	62,16	75,40	91,56
500	46,99	53,75	60,95	77,70	94,25	114,5
600	56,39	64,50	73,14	93,24	113,1	137,3
700	65,79	75,25	85,33	108,8	132,0	160,2
800	75,18	86,00	97,52	124,3	150,8	183,1
900	84,58	96,75	109,7	139,9	169,7	206,0
1000	93,98	107,5	121,9	155,4	188,5	228,9
2000	188,0	215,0	243,8	310,8	377,0	457,8
3000	281,9	322,5	365,7	466,2	565,5	676,7
4000	375,9	430,0	487,6	621,6	754,0	905,6

В случае $t_3 > t_{\text{ц}} - t_0 - t_{\text{п}}$ увеличивают $t_{\text{нсп}}$ до соответствующего значения изменением рецептуры тампонажного раствора.

II. Определяют тип точки затворения при:

цементировании кондукторов и колонн, спущенных в интервалы с температурой $T_{\text{ц}} \leq 22^\circ\text{C}$ и $G_2 = 0$ (тип 1),

$$\frac{V_{\text{тр}40}}{q_3 \cdot 6 \cdot 10^{-2} G} \geq t_3 \quad \text{и} \quad G = 0 \quad (\text{тип } 2); \quad (39)$$

Типы и подтипы точек затворения и их технические характеристики

Тип точки затворения	Подтип точки затворения	Марка и число цементно-смесительных машин и цементировочных агрегатов (диаметр их сменных втулок, мм)	Цементировочное			
			для приготовления и за- качивания цементного раствора		[ρ _з]	t _з max
			Подача, л/с			
			q' _з	q'' _з	Допустимое давление при закачивании, МПа	Продолжительность за- творения и закачивания раствора при полной загрузке бункера, мин
			Раствор нормаль- ной плотности, В/Ц-0,5	Облегченный рас- твор, В/Ц-1,0		
1	1.1	СМН-20+ЦА-320М (115)	10	—	7,6	24
	1.2	СМН-20+ЦА-320М (125)	12	—	5,8	24
2	2.1	СМН-20+ЦА-320М (115)+ +ЦА-320М (115)	12	20	14,0	24
	2.2	СМН-20+ЦА-320М (100)+ +ЦА-320М (100)	12	17	9,5	28
	2.3	СМН-20+ЦА-320М (125)+ +ЦА-320М (125)	12	20	10,3	24
	2.4	2АС-20+ЦА-320М (115)+ +3ЦА-400 (125)	12	20	14,0	24
	2.5	2АС-20+ЦА-320М (100)+ +3ЦА-400 (110)	12	19	16,5	25
	2.6	2АС-20+3ЦА-400 (110)+ +3ЦА-400 (110)	12	19	27,5	25
	2.7	2АС-20+3ЦА-400 (125)+ +3ЦА-400 (125)	12	20	14,0	24
3	3.1	СМН-20+СМН-20+ЦА-320М (115)+ +ЦА-320М (115)	12	20	14,0	50
	3.2	СМН-20+СМН-20+ЦА-320М (100)+ +ЦА-320М (100)	12	17	9,5	58
	3.3	СМН-20+СМН-20+ЦА-320М (125)+ +ЦА-320М (125)	12	20	10,3	50
	3.4	2АС-20+СМН-20+ЦА-320 (100)+ +3ЦА-400 (110)	12	19	16,5	52
	3.5	2АС-20+СМН-20+ЦА-320 (100)+ +3ЦА-400 (125)	12	20	14,0	50
	3.6	2АС-20+2АС-20+3ЦА-400 (110)+ +3ЦА-400 (110)	12	19	27,5	52
	3.7	2АС-20+2АС-20+3ЦА-400 (125)+ +3ЦА-400 (125)	12	20	14,0	50

Примечания: 1. Подача утяжеленного раствора при В/Ц-0,35 равна 9 л/с.

3. Число резервных ЦА равно 1.

5. Число автоцистерн АЦН-11 для облегченных растворов 2-й точки затворения рав-
нолегченных — 2.

Таблица 17

оборудование					Резервный и дополнительный цементировочный агрегат: марка, диаметр сменных цилиндровых втулок (мм)	Стоимость работы точки затворения при максимальной нагрузке СМН цементом без стоимости пробега машины, руб. (по расценкам ППР для IV пояса)
для продавливания						
$q'_{п}$	$p'_{п}$	$q''_{п}$	$p''_{п}$	N		
Максимальная общая подача агрегатов, входящих в состав точки затворения, л/с	Предельное (максимальное) давление на агрегате при максимальной подаче, МПа	Подача агрегата при максимальном давлении, развиваемом агрегатами, л/с	Максимальное давление, развиваемое агрегатами, МПа	Общая гидравлическая мощность агрегатов точки затворения, л/с		
10,7 14,5	7,8 5,8	1,74 2,35	32,0 24,0	55,7 56,4	ЦА-320М (115) ЦА-320М (125)	106,84 106,84
21,4	7,8	3,48	32,0	111,4	ЦА-320М (115)	283,93
17,3	9,5	2,80	40,0	112,0	ЦА-320М (100)	283,93
29,0	5,8	4,70	24,0	112,0	ЦА-320М (125)	283,93
34,1	7,8	10,5	30,0	315,0	ЗЦА-400 (125)	315,96
28,15	9,5	8,0	40,0	320,0	ЗЦА-400 (110)	315,96
39,0	13,5	13,2	40,0	528,0	ЗЦА-400 (110)	347,99
46,8	10,0	17,6	30,0	528,0	ЗЦА-400 (125)	347,99
21,4	7,8	3,48	32,0	111,4	ЦА-320М (115)	317,93
17,3	9,5	2,8	40,0	112,0	ЦА-320М (100)	317,93
29,0	5,8	4,7	24,0	112,8	ЦА-320М (125)	317,93
28,15	9,5	8,0	40,0	320,0	ЗЦА-400 (110)	349,96
32,0	9,5	11,35	30,0	340,5	ЗЦА-400 (125)	349,96
39,0	13,5	13,2	40,0	528	ЗЦА-400 (110)	381,99
46,8	10,0	17,6	30,0	528	ЗЦА-400 (125)	381,99

2. Максимальная цементность 1-й и 2-й точек затворения равна 20, а 3-й — 40 т.
 4. 1-й тип точки применяется главным образом при цементировании кондукторов.
 но 1, а АЦН-21 для 3-й точки затворения: для растворов нормальной плотности равна 1,

невыполнении условия (39) или $G_2 \neq 0$ (тип 3).

III. Определяют количество точек затворения n_0 :

для типов 1 и 2 при $G_2 = 0$ по наибольшему значению частного от $G/20$ и $Q_{з \text{ min}}/q_з$, округляя до целого числа; $q_з$, выраженное в виде $q_з''$, условно принимать равным 17 л/с;

для типа 3 при $G_2 = 0$ n_0 по наибольшему значению частного от $G/40$ и $Q_{з \text{ min}}/q_з$ и при $G_2 \neq 0$ вместо $Q_{з \text{ min}}/q_з$ принять $G_{i \text{ max}}/20$, где $G_{i \text{ max}}$ — наибольшее количество из двух применяемых видов тампонажного материала, т. е. n_0 определяют по наибольшему значению частного от формул $G_{i \text{ max}}/20$ и $Q_{з \text{ min}}/q_з$.

IV. Определяют подтип точки затворения, выбирая в соответствующем разделе табл. 16 вариант с учетом следующих условий:

$$N = \min; \quad G_T = \min; \quad (40)$$

$$n_0 q'_{\text{п}} \leq Q_{\text{п max}} \quad \text{при} \quad P_{Q \text{ max}} < P'_{\text{п}}; \quad (41)$$

$$n_0 q''_{\text{п}} \leq Q_{\text{п max}} \quad \text{при} \quad P_{Q \text{ max}} < P''_{\text{п}}. \quad (42)$$

V. Определяют число цементно-смесительных машин (СМН) для:

$$\text{типов 1 и 2} \quad n_{\text{СМН}} = n_0 + 1; \quad (43)$$

$$\text{типа 3 при } G_2 = 0 \quad n_{\text{СМН}} = 2n_0 + 1; \quad (44)$$

$$\text{при } G_2 \neq 0 \quad n_{\text{СМН}} = G_1/20 + G_2/20 + 1. \quad (45)$$

Число резервных СМН определяют по вероятности безотказной работы, равному 0,94. При этом оно практически равно 1 (в бункер резервной СМН загружают 10 т тампонажного материала, предназначенного для цементирования продуктивной зоны).

VI. Определяют число цементировочных агрегатов (ЦА).

1) При использовании усреднительной емкости применяют дополнительное число ЦА для откачивания тампонажного раствора в скважину. Для типа 1 точки затворения

$$n_{\text{ца отк}} = Q_{з \text{ min}}/q_з; \quad (46)$$

для типов 2 и 3

$$n_{\text{ца отк}} = Q_{з \text{ min}}/q_i. \quad (47)$$

Марку и диаметр втулок цементировочных агрегатов выбирают по табл. 16 в колонке 3 для соответствующего подтипа точки затворения, а q_i — для соответствующего $p_з$. При $n_0 \geq 2$ следует выбирать 3ЦА-400.

2) Определяют число ЦА, необходимых для закачивания продажной жидкости, которое иногда бывает больше числа ЦА для приготовления и закачивания тампонажного раствора.

Для типа точки затворения 1 при использовании усреднительной емкости и дополнительного ЦА

$$n_{\text{ца пр}} = \frac{Q_{\text{п max}}}{q_i} - (n_0 + n_{\text{ца отк}}); \quad (48)$$

при отсутствии усреднительной емкости

$$n_{\text{ца пр}} = \frac{Q_{\text{п max}}}{q_i} - n_0. \quad (49)$$

Для типа точки затворения 2 или 3 для соответствующих $p_{\text{п}}'$ и $p_{\text{п}}''$ при использовании усреднительной емкости

$$n_{\text{ца пр}} = \frac{Q_{\text{п max}}}{q_i} - (2n_0 + n_{\text{ца отк}}); \quad (50)$$

$$n_{\text{ца пр}} = \frac{Q_{\text{п min}}}{q_i} - (2n_0 + n_{\text{ца отк}}), \quad (51)$$

выбирая наибольшее значение; при отсутствии усреднительной емкости

$$n_{\text{ца пр}} = \frac{Q_{\text{п max}}}{q_i} - 2n_0; \quad n_{\text{ца пр}} = \frac{Q_{\text{п min}}}{q_i} - 2n_0, \quad (52)$$

выбирая наибольшее значение (при отрицательном значении дополнительных ЦА для продавливания не требуется, т. е. $n_{\text{ца пр}} = 0$).

3) Определяют число резервных ЦА по значениям вероятности безотказной работы, равным для ЦА-320М — 0,93; для ЗЦА-400 — 0,90. Таким образом, один резервный агрегат принимают на 16 участвующих в процессе ЦА-320М и на 10 — ЗЦА-400. Для упрощения расчета независимо от марки ЦА принимаем 1 резервный ЦА на каждые 10, рассчитанных по пп. 1) и 2).

4) Общее число цементировочных агрегатов для типов: точки затворения 1

$$n_{\text{ца}} = n_0 + n_{\text{ца отк}} + n_{\text{ца пр}} + n_{\text{рез}}, \quad (53)$$

точек затворения 2 и 3

$$n_{\text{ца}} = 2n_0 + n_{\text{ца отк}} + n_{\text{ца пр}} + n_{\text{рез}}. \quad (54)$$

VII. Количество автоцистерн для воды затворения, не вмещающейся в мерных емкостях ЦА, определяют в случае отсутствия на буровой постоянно действующего водисточника

$$n_{\text{ац}} = \frac{KV_{\text{ж.з}} - 6n_{\text{ца}}}{\omega_{\text{ц}}}, \quad (55)$$

где $\omega_{\text{ц}}$ — вместимость цистерны, равная у АНЦ-11 — 11, у 4ЦР — 9, АЦПП-21 — 21 м³; K — коэффициент запаса, принимаемый равным 1,2.

Исходная информация (а)

Время начала схватывания тампонажного раствора $t_{\text{нсц}}$, мин	Время зарядки и промывки линий t_0 , мин	Подача при закачивании тампонажного раствора, л/с		Масса тампонажного раствора, т, вида		Объем тампонажного раствора, м ³ , вида	
		$Q_{\text{з max}}$	$Q_{\text{з min}}$	$I (G_1)$	$II (G_2)$	$I (v'_{\text{тр}})$	$II (v''_{\text{тр}})$
120		5	27	75 (облегченный цемент)	24 (цемент нормальной плотности)	74	19

Максимальное давление при закачивании тампонажного раствора $p_{\text{з}}$, МПа	Объем продавленной жидкости $V_{\text{п}}$, м ³	Максимальная подача при продавливании $Q_{\text{п max}}$, л/с	Давление на ЦА при продавливании с максимальной подачей $p_{Q \text{ max}}$, МПа	Максимальное давление при продавливании p_{max} , МПа	Подача ЦА с максимальным давлением при продавливании $Q_{p \text{ max}}$, МПа	Давление $p_{\text{стоп}}$, МПа
8	48	54	6	18	10	2

Объем жидкости затворения $V_{\text{ж.з.}}$, м ³	Максимальная динамическая температура в интервале цементирования $T_{\text{ц}}$, °C	Наличие постоянного водонепроницаемого вала на буровой ВИ, (—) (+)	Время продавливания тампонажного раствора $t_{\text{ц}}$, мин	Наличие усреднительной емкости, ее вместимость OE , м ³	Вместимость автоцистерны $W_{\text{а}}$, м ³
90	90	—	35	9	11

Выходная информация (б)

Время за- качивания, мин, тампо- нажного рас- твора вида		Подтип точки за- творения	Число це- ментно-сме- сительных машин		Число точек затво- рения	Цементировочные агрегаты				Число	
I (t_1)	II (t_2)		С.МН-20	2АС-20 или ЗАС-30		ЦА-320М		ЗЦА-400		автоцистерн $n_{\text{ац}}$	комплектов СКЦ-2М с БМ-700
						Число агре- гатов	Диаметр сменных втулок, мм	Число агре- гатов	Диаметр сменных втулок, мм		
73	25	3.1	6	—	4	11	115	—	—	4	1

VIII. Определяют необходимое количество СКЦ-2М с БМ-700 при:

$$Q_{п\max} \leq 100 \text{ л/с} \quad \text{или} \quad Q_{з,\max} \leq 100 \text{ л/с} - \text{один комплект}; \quad (56)$$

$$Q_{п\max} \geq 100 \text{ л/с} \quad \text{или} \quad Q_{з,\max} \geq 100 \text{ л/с} - \text{два комплекта}; \quad (57)$$

Пример 5. Определить необходимое количество цементирующей техники и марку машин с указанием диаметра сменных цилиндрических втулок цементирующих агрегатов для цементирования эксплуатационной колонны скважины месторождения Жонажол.

С учетом диаметра скважины, внутреннего и внешнего диаметров колонны, данных кавернометрии и всех других условий крепления, а также данных рассчитанного режима цементирования получены соответствующие сведения (табл. 18).

1. Определяют время затворения цемента по формуле (38):

$$t_3 = \frac{74 + 9}{19 \cdot 6 \cdot 10^{-2}} + \frac{19 + 9}{19 \cdot 6 \cdot 10^{-2}} = 98 \text{ мин.}$$

Проверяют условие $t_3 > t_{ц} - t_o - t_n$:

$$t_3 = 98 > (120 - 5 - 35) \cdot 0,75.$$

В этом случае пересматривают рецептуру тампонажных растворов в целях обеспечения $t_{нсц}$, которое должно быть не менее $(73 + 25 + 5 + 35) : 0,75 = 184$ мин.

2. Определяют тип точки затворения. В связи с тем, что $G_2 \neq 0$, принимают тип 3.

3. Определяют число точек затворения по формуле (11):

$$n_0 = 74/20 \cong 4.$$

Проверяя по формуле $Q_{зтип}/q_3$, $n_0 = 4$.

4. Определяют подтип точки затворения. По условиям (40) — (42) подтип точки затворения принимают равным 3.1.

5. Определяют число цементно-смесительных машин по формуле (20):

$$n_{смн} = \frac{74}{20} + \frac{24}{20} + 1 = 6.$$

6. Определяют число цементирующих агрегатов. Для откачивания тампонажного раствора из усреднительной емкости число дополнительных ЦА находят по уравнению (47)

$$n_{ца\text{отк}} = \frac{2 \cdot 19}{21,4} = 2.$$

Число дополнительных ЦА для закачивания продажной жидкости определяют по условиям (50), (51)

$$n_{ца\text{пр}} = \frac{2(54 - 4 \cdot 21,4)}{21,4} - 2 \cong -3;$$

$$n_{ца\text{пр}} = \frac{2(10 - 4 \cdot 3,48)}{3,48} - 2 = -3.$$

В этом случае дополнительных ЦА для закачивания продажной жидкости не требуется.

Общее число ЦА, включая резервный,

$$n_{\text{ца}} = 2 \cdot 4 + 2 + 1 = 11.$$

7. Определяют число автоцистерн для воды затворения по формуле (55):

$$n_{\text{ца}} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 90 - 6 \cdot 11}{11} = 4.$$

8. Определяют необходимое количество комплектов СКЦ-2М с БМ-700, условно по уравнению (56) принимают его равным 1.

Практическое занятие

Провести расчет сплошного одноступенчатого цементирования обсадной колонны для случая: глубина скважины $L = 2500$ м, высота подъема тампонажного раствора $l_2 = 2000$ м, высота цементного стакана 20 м, диаметр скважины (долота) $D = 243$ мм, диаметр $d = 146$ мм, плотность жидкости бурового раствора) $\rho_{\text{ж}} = 1,2$ г/см³, плотность цементного раствора $\rho_{\text{р.ц}} = 1,9$ г/см³, коэффициент кавернозности 1,3.

Лабораторная работа № 1

Определение коэффициента сжимаемости газированного бурового раствора Δ .

2. Испытуемый глинистый раствор (1 л) плотностью $\rho_{\text{ф}}$ разбавляют водой до получения раствора плотностью $\rho_{\text{р}}$.

2. Смесь перемешивают в емкости до прекращения выделения пузырьков газа.

3. По формуле $x = 3 - (\rho_{\text{ф}} + 2) / \rho_{\text{р}}$ подсчитывают объемную долю газа в растворе и затем определяют Δ .

Контрольные вопросы

1. Какие типы цементировочных агрегатов Вам известны?
2. Для какой цели применяют цементно-смесительные машины?
3. Что такое коэффициент сжимаемости газированного бурового раствора?
4. Что такое высота подъема тампонажного раствора?
5. Что понимается под термином тампонажный раствор?

Требования к тампонажным материалам для цементирования нефтяных и газовых скважин в основном определяются геолого-техническими условиями в скважинах. Проблема выбора материалов сложна. Тампонажный раствор должен оставаться подвижным во время транспортирования в затрубное пространство и сразу же после прекращения процесса затвердеть в безусадочный камень с определенными физико-механическими свойствами. Указанные процессы происходят в стволе скважины сложной конфигурации, где температуры и давления изменяются с глубиной, имеются поглощающие и высоконапорные пласты, а также пласты с наличием минерализованных вод, нефти и газа. При таких изменяющихся условиях один тип цемента или одна и та же рецептура тампонажного раствора не может быть одинаково приемлемой. Один тип цемента не может отвечать всем требованиям, связанным с разнообразием условий даже в одной скважине.

Перспективы сверхглубокого¹ бурения в настоящее время таковы, что уже выделен ряд объектов для проводки скважин на глубины до 15 000 м.

Геометрия заколонного пространства. Пространство скважины, где формируется и впоследствии работает и разрушается тампонажный камень, представляет собой «сосуд» без строго «выраженного» дна и ограниченного стенками — стенкой скважины и наружной поверхностью обсадной колонны. Этот «сосуд» называют заколонным пространством.

Размеры его (объем и расстояние между стенками), даже при фиксированной глубине, оснащении определенным количеством технологической оснастки и т. д., не являются постоянными как во время транспортирования тампонажного раствора, так и в процессе работы тампонажного камня.

Увеличение давления в обсадной колонне приводит к уменьшению объема заколонного пространства. Понижение скорости вытеснения бурового раствора тампонажным также способствует уменьшению этого объема, так как количество вытесняемого бурового раствора понизится, в том числе раствора, который находится в кавернах различного размера.

¹ Понятие «глубокая», «сверхглубокая» скважина определяется уровнем развития техники, технологии бурения и степенью изученности этих вопросов.

Конфигурация стенки скважины существенно меняется как по длине, так и по периметру (диаметру), что, бесспорно, является одной из принципиальных особенностей формирования цементного камня в условиях скважины.

Влияние этого фактора проявляется в двух направлениях. Чем «неправильнее» форма, т. е. чем больше она отличается от цилиндрической, тем труднее вытеснить буровой раствор из заколонного пространства. Чем больше количество выступов и сужений и чем они резче, тем больше при использовании без специальной химической обработки портландцементного или шлакового растворов образуется водных карманов вдоль ствола скважины. При твердении тампонажного раствора в наклонных скважинах облегчается образование каналов в самом тампонажном растворе за счет прохождения седиментационных процессов. Последнее не имеет существенного значения, если фильтрация тампонажного раствора близка к нулю. Наименьшее значение оказывает конфигурация заколонного пространства при использовании отверждаемых буровых растворов, разработанных во ВНИИКРнефти.

Вытеснить из стеклянного цилиндрического сосуда полностью буровой раствор практически невозможно при разовой непродолжительной операции. Из сосуда с конфигурацией заколонного пространства скважины вытеснить буровой раствор полностью невозможно даже при теоретическом рассмотрении этой задачи.

Для осуществления процесса цементирования с наибольшим вытеснением бурового раствора тампонажным следует выполнить ряд специальных мероприятий, которые также потенциально не обеспечат полного вытеснения бурового раствора тампонажным, однако в интервалах обязательного заполнения тампонажным раствором этого добиться можно. Необходимо обеспечить контактирование тампонажного раствора со стенкой скважины и обсадной колонной. Применение комплекса технологических мероприятий с расхаживанием обсадных колонн при использовании скребков и других приспособлений изменит условия формирования тампонажного раствора.

Качественное цементирование скважин следует планировать на стадии бурения, обеспечивая как можно более цилиндрический ствол и ровную стенку.

ТЕМПЕРАТУРА И ДАВЛЕНИЕ В СКВАЖИНАХ

К наиболее важным факторам, определяющим выбор тампонажных материалов, особенно для глубоких и сверхглубоких скважин, следует отнести температуру, давление и состав пластовых минерализованных вод.

Увеличение глубин нефтяных и газовых скважин сопровождается постоянным ростом забойных температур. На разбури-

ваемых площадях Советского Союза забойные температуры изменяются в очень широких пределах.

В районах Краснодарского края в интервалах залегания преимущественно терригенных третичных и отчасти меловых отложений средние геотермические градиенты¹ до глубины примерно 2700 м изменяются в пределах 2,25—2,59 °C/100 м. К 1970 г. достигнуты глубины 4500—6000 м, на которых температура окружающих пород составляет 190—200 °C.

В третичных и меловых отложениях нефтегазовых районов Ставропольского края геотермический градиент до глубин 2100 м изменяется в пределах 3,48—8,61 °C/100 м, в майкопских отложениях он возрастает до 10,7 °C/100 м. На площадях Озек-Суат, Зимняя Ставка, Камыш-Бурун на глубинах около 4000 м температуры достигают 140—150 °C. Забойные температуры 175—186 °C зарегистрированы в скв. 6 Прасковейская, скв. 1 и 2 Александровская и скв. 18 Журавская. В скв. 1 Галюгаевская на глубине 5500 м температура составляла около 200 °C. Самая высокая температура на площадях Краснодарского края отмечена в скв. 1 Медведовская — 216 °C на глубине 6087 м.

В Чечено-Ингушетии геотермическая характеристика разрезов скважин отличается значительным влиянием циркуляции пластовых вод, что обеспечивает возникновение очагов тепла в местах залегания водоносных горизонтов. В связи с этим геотермический градиент изменяется по разрезу в существенных пределах и в отложениях, перекрывающих водоносные горизонты, достигает 12—16 °C/100 м. В Узбекской ССР при бурении скважин на глубине 5500 м зарегистрирована температура 224 °C.

В зарубежной практике бурения отмечена температура 237,7 °C (Юго-Западный Техас, США).

Для выбора рецептуры тампонажного раствора при цементировании скважин не всегда можно по установленному геотермическому градиенту точно вычислить температуру забоя скважин.

Высокие температуры оказывают существенное влияние как на технологию проводки и крепления скважин, так и на выбор применяемых при этом материалов. Увеличение глубин скважин до 10 000—15 000 м приведет к дальнейшему возрастанию роли температурного фактора в процессах, связанных с бурением. Поэтому оценка забойных температур в сверхглубоких скважинах имеет первостепенное значение.

¹ Под геотермическим градиентом понимается изменение температуры окружающих пород при углублении на следующие 100 м; размерность °C/100 м.

На поверхности Земли температура колеблется в зависимости от времени суток и года. Амплитуда поверхностных колебаний температуры с глубиной быстро уменьшается. Температурные волны, вызванные суточными колебаниями температуры, проникают на глубину до 1 м. Значительно больше глубина проникновения годовых волн — она достигает 30 м и более.

Глубина, ниже которой практически не сказывается влияние поверхностной температуры, называется глубиной «нейтрального слоя». Для различных районов эта глубина колеблется от 10 до 30 м. Ниже нейтрального слоя температура непрерывно возрастает с глубиной.

В земной коре действуют горное давление, характеризующее естественное напряженное состояние пород, и давление флюидов, находящихся в горных породах. Эти давления определяют необходимые параметры промысловых жидкостей и усилия, действующие на обсадные колонны, забойное и устьевое оборудование скважины.

Горное давление, как существующее в породах напряжение, вызывается действием сил тяжести вышележащих пород, тектоническими процессами, изменениями температурного поля, физико-химическими процессами образования и превращения горных пород и др.

Различают вертикальную и горизонтальную составляющие горного давления, которые называют соответственно полным и боковым горными давлениями.

Обычно давление флюидов в залежах воды, нефти и газа приблизительно равно условному гидростатическому давлению, за величину которого принимается вес столба пресной воды, равный по высоте глубине залегания залежи. Однако имеются залежи, где давления флюидов превышают обычные в 1,3—1,6 раза и даже достигают горного давления. Такие давления называют аномально высокими пластовыми давлениями (АВПД).

Количество нефтяных и газовых залежей с АВПД на глубинах до 3500—4000 м сравнительно невелико и не превышает 10—15%. При дальнейшем увеличении глубин объем флюидных скоплений с АВПД возрастает. Абсолютная величина АВПД тем больше, чем глубже оно встречено.

Давление в пласте может быть и ниже гидравлического.

Отношение пластового давления к давлению столба воды на данной глубине называется коэффициентом аномальности:

$$a = p_{пл} / p_{ст}$$

В СССР известны пласты с коэффициентом аномальности, равным 1,5—2,0 и выше (Краснодарский край, Чечено-Ингушская и Дагестанская АССР, Украинская, Азербайджанская ССР и другие районы).

При цементировании скважин необходимо знать статическую и динамическую температуры. Статическая температура — это температура пород нетронутого массива. В скважинах температура забоя принимается близкой к статической, если буровой раствор в ней не циркулирует в течение 2—4 сут.

Под динамической температурой понимается установившаяся (постоянная) температура в скважине на некоторой глубине в процессе циркуляции в ней бурового раствора. Практически считается, что постоянная динамическая температура устанавливается в скважине после одного-двух циклов циркуляции бурового раствора. Динамическая температура всегда ниже статической. Разность температур зависит от ряда геолого-технических и технологических условий и составляет для скважин глубиной до 6000 м 10—40 °С. Однако в каждом конкретном случае ее следует проверять.

Для первичного цементирования скважин рецептуру тампонажного раствора подбирают с учетом динамической температуры, для проведения повторных цементирований тампонажные растворы подбирают исходя из статической температуры.

Подбирать рецептуры тампонажных растворов и определять их физико-механические свойства необходимо при совместном воздействии температуры и давления.

ПЛАСТОВЫЕ ВОДЫ

Минерализованные воды, находящиеся в пластах, могут привести к ускорению сроков схватывания движущегося в затрубном пространстве скважины тампонажного раствора. Совместное действие температуры, давления и пластовых вод разрушает камень многих типов тампонажных цементов. Поэтому выбору типа цемента с учетом его коррозионной стойкости против минерализованных пластовых вод следует уделять серьезное внимание.

По классификации Г. М. Сухарева, воды нефтяных и газовых месторождений могут быть разделены на сульфатно-натриевые, гидрокарбонатно-натриевые, хлормagneиные, хлоркальциевые. На нефтяных месторождениях наиболее распространены гидрокарбонатно-натриевые, среди которых на нефтяных промыслах СССР часто встречаются воды, относящиеся к подгруппам хлоридно-щелочных и сульфатно-хлоридно-щелочных.

Газы, содержащиеся в подземных водах, существенно влияют на их агрессивность. В водах зон затрудненного водообмена чаще всего встречаются углеводородные газы, углекислый газ, сероводород. При повышении температур реакционная способность пластовых вод возрастает.

В качестве примеров состава минерализованных пластовых вод можно привести следующие данные (табл. 19).

Химический состав пластовых вод (месторождения Краснодарского края)

Место отбора пробы воды	Содержание ионов, 10^{-3} моль					
	Cl	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺
Скв. 1 Медведовская, глубина 4280—4265 м (нижний мел)	930,0	6,40	1,28	227,00	14,06	696,60
Скв. 6 Южно-Советская, глубина 3008—3003 м (нижний мел)	263,0	18,80	3,77	5,05	1,55	278,90
Скв. 26 Северо-Ахтырская, глубина 1050—1029 м (карган)	779,7	20,54	0,96	14,65	3,67	782,91

Примечание. Ионов CO₃²⁻ нет.

ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ТАМПОНАЖНОГО РАСТВОРА И КАМНЯ

Подвижность тампонажного раствора. Наиболее важным свойством тампонажного раствора является его подвижность, способность легко прокачиваться по трубам в течение необходимого для проведения процесса цементирования времени. Подвижность (растекаемость) раствора устанавливается при помощи конуса АзНИИ ДН. Это свойство тампонажных материалов определяется природой вяжущего, тонкостью помола, водоцементным отношением, количеством, степенью загрязненности и удельной поверхностью наполнителя, добавок, а также условиями, в которых раствор пребывает в течение процесса цементирования, временем и способом перемешивания раствора. Требуемая подвижность раствора определяется техникой и технологией проведения тампонажных работ и может быть изменена в желаемую сторону.

Метод определения подвижности позволяет быстро подбирать количество воды при соответствующем составе смеси и может рассматриваться как ориентировочный. Для глубоких скважин с малыми зазорами растекаемость тампонажных растворов рекомендуется повышать до 22 см. Раствор считается соответствующим ГОСТ 1581—85, если диаметр круга расплывшегося раствора не менее 180 мм при водоцементном отношении 0,5.

Плотность тампонажного раствора — одна из важнейших его характеристик. В процессе цементирования скважины плотность — практически пока единственный критерий для оценки качества тампонажного раствора.

Колебания плотности тампонажного раствора при цементировании указывают на изменения его водоцементного отношения. Такие колебания считаются нарушением технологического режима процесса и могут привести к осложнениям, в частности к повышению давления при цементировании. Особенно трудно на практике придерживаться заданной рецептуры при затворении цементных смесей, дающих облегченные тампонажные растворы. Уменьшение плотности — это увеличение водоцементного отношения, что приводит к ухудшению свойств камня.

Учитывая, что водоцементное отношение определяет и другие физико-механические свойства, необходимо строго контролировать изменения плотности тампонажного раствора при цементировании и не допускать отклонений от заданной величины. Процесс цементирования проходит обычно нормально, если колебания плотности не превышают $0,02 \text{ г/см}^3$.

Сроки схватывания тампонажных растворов. Пригодность тампонажного раствора для транспортирования в затрубное пространство скважины оценивается сроками схватывания. Для определения этих сроков при температурах 22 и 75°C применяют прибор, называемый иглой Вика.

Началом схватывания называется время от момента затворения цемента водой до момента, когда игла, погружаясь в раствор, не доходит до нижней пластины на $0,5$ — $1,0$ мм. Концом схватывания тампонажного раствора называется время от момента затворения цемента водой до момента, когда игла, погружаясь в раствор, проникает в него не более чем на 1 мм.

Для определения сроков схватывания тампонажных растворов при высоких температурах и давлениях применяют специальный прибор — автоклав, рассчитанный на рабочее давление до 100 МПа и высокую температуру.

Автоклав (рис. 51) состоит из корпуса *2*, дна *1*, затвора *6* с уплотнением *5*, кассеты *4* с иглами *3*. Масса иглы в воде 300 ± 1 г. Кассета может быть рассчитана на 6 — 12 игл в зависимости от конструкции автоклава. Корпус, затвор, дно и уплотнения рассчитываются на проведение опытов при максимальных заданных давлениях и температурах.

В нижней части кассеты устанавливают кольцо Вика *15*. Иглы сбрасываются поворотом рукоятки *10* вала *12*, проходящего сквозь затвор *6* и имеющего уплотнение *11*. Вал *12* соединяется с венчиком *13*, на котором подвешиваются иглы. Венчик имеет вырез в виде сегмента, положение которого определяется по лимбу *8* и указателю *9*. При совмещении выреза на венчике с иглой последняя падает в кольцо Вика. Воздух из автоклава в процессе его герметизации выпускается с помощью полой иглы *7*. Датчик температуры помещен в термокарман *14*, заполненный трансформаторным маслом.

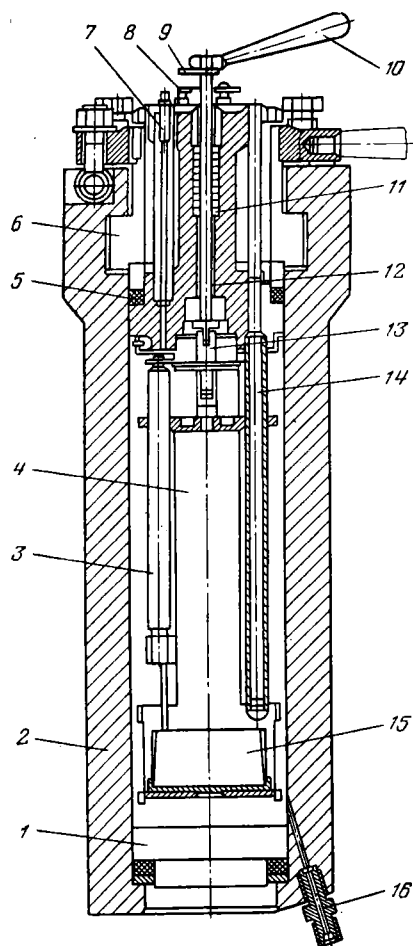


Рис. 51. Автоклав

Сброс первой иглы проводят согласно заданию, сброс последующей — в зависимости от результата сброса первой иглы. Если при сбросе иглы слышен четкий стук — проба тампонажного раствора находится в жидком состоянии. При глухом стуке или отсутствии его иглы сбрасывают через каждые 15 мин. После сброса последней иглы нагреватель отключают и автоклав охлаждается до температуры 75 °С.

После охлаждения и сброса избыточного давления автоклав вскрывают и по величине погружения игл в пробу определяют сроки начала и конца схватывания. Результаты опыта заносятся в журнал.

Внутренняя поверхность кольца Вика и донная пластина перед каждым опытом смазываются машинным маслом. Проверяется отсутствие течи на стыках деталей кольца наполнением его водой; при наличии течи кольцо бракуется.

Приготовленную пробу тампонажного раствора заливают в кольцо Вика, выравнивают поверхность ножом и устанавливают кольцо в кассету, заряженную иглами. Кассету помещают в автоклав и герметизируют его. Начальное давление (через штуцер 16) в автоклаве составляет 2,5—5 МПа, оно определяется усилием предварительного сжатия уплотнения затвора. Начало опыта фиксируется на диаграммных лентах записи температуры и давления. Указываются дата, номер опыта, время начала опыта.

Если автоклав вышел на режим по температуре, а давление в нем ниже режимного, то следует использовать гидравлический пресс для достижения режимного давления. После выхода на режим ток нагрева уменьшается до значения, обеспечивающего состояние теплового баланса.

В случае, если момент начала или конца схватывания экспериментально установить не удалось, строят график зависимости величины погружения игл во времени и путем экстраполяции определяют сроки схватывания. Опыт повторяют трижды и берут среднее арифметическое из трех результатов.

Сроки схватывания тампонажных растворов подбирают исходя из конкретных условий.

Консистенция тампонажного раствора. Для цементировании глубоких высокотемпературных скважин кроме сроков схватывания в статических условиях необходимо устанавливать изменение загустевания (консистенции) тампонажных растворов во времени в процессе их перемешивания.

Для указанной цели применяют консистометр КЦ-3, рассчитанный на рабочее давление до 100 МПа и температуру до 200 °С, и КЦ-4 для испытания тампонажных растворов при температуре до 250—300 °С и давлении до 150 МПа. Узлы консистометра смонтированы на одной раме в общем корпусе, который разделен на две части: в одной смонтирована гидравлическая система, в другой — электрическая.

Принципиальная схема КЦ-3 приведена на рис. 52. Принцип действия прибора состоит в измерении крутящего момента на лопатке 17, который возникает при вращении с заданной частотой стакана 18 с испытуемым цементным раствором. Лопатка 17 заторможена измерительной пружиной 9, угол закручивания которой с помощью торцового кулачкового устройства 10 преобразуется в линейное перемещение плунжера 11 дифференциально-трансформаторного датчика 12 и регистрируется малогабаритным самопишущим прибором 13 типа ДСМР-2, соединенным с блоком питания 14. Корпус датчика 12, полость которого связана с автоклавом высокого давления 19, и шток плунжера 11 выполнены из немагнитного материала, что позволяет компенсировать изменения их линейных размеров при изменениях температуры.

Стакан 18 с цементным раствором и лопаточным устройством помещают в автоклав, который заполнен маслом. Масло и цементный раствор разделены резиновой диафрагмой. Подогрев проводят внутренним электрическим нагревателем 20 типа ТЭН.

Для равномерного нагрева масла на внешней стороне стакана нарезан винтовой паз, который при вращении стакана направляет поток масла вниз. Теплоизоляционный кожух автоклава служит для снижения теплоотдачи. Скорость нагрева прибора 3—5 °С в 1 мин; она регулируется изменением мощности электронагревателя. Контроль, регистрация и автоматическое поддержание заданной температуры осуществляются с помощью термодпары 16, связанной с самопишущим потенциометром 15, имеющим регулирующее устройство.

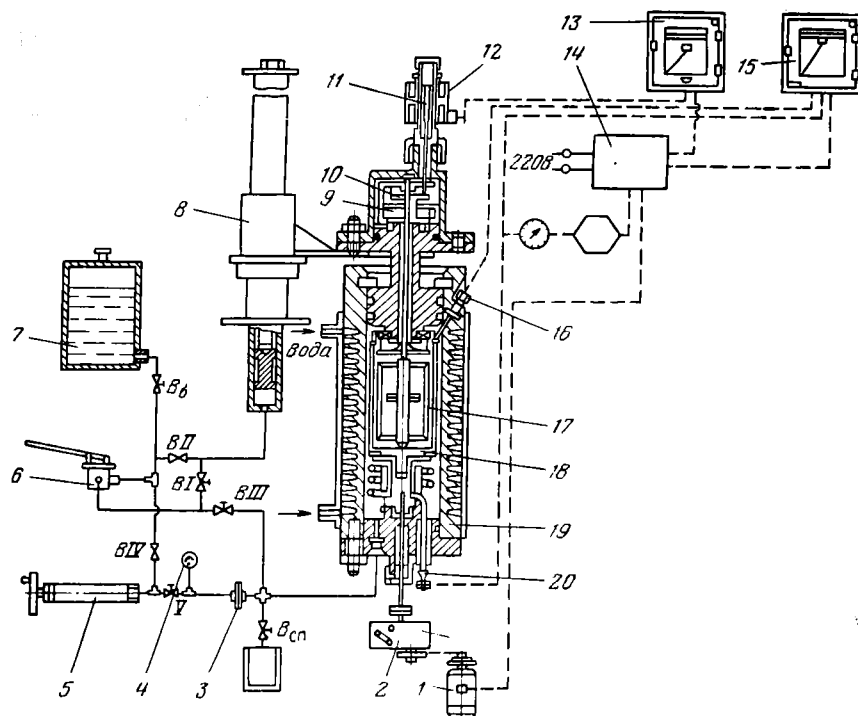


Рис. 52. Консистометр для определения времени загустевания тампонажных растворов

Автоклав заполняется маслом из бачка 7 ручным плунжерным насосом 6. Давление в автоклаве создается и регулируется с помощью ручного гидравлического пресса 5, рассчитанного на рабочее давление 100 МПа, и мультипликатора 10. Давление контролируется манометром 4. Разделитель 3 передает давление в линию, наполненную маслом.

Стакан 18 получает вращательное движение через двухскоростную коробку передач 2 от электродвигателя 1.

Автоклав за 15 мин охлаждается от максимальной температуры до температуры 40—50°C пропусканием воды между ребристой поверхностью автоклава и кожухом.

Автоклав разбирается просто и быстро благодаря наличию быстросъемного приспособления — вилки. Для подъема крышки смонтирован гидравлический подъемник 8, работающий от ручного плунжерного насоса 6.

Методика работы проста. Цементный раствор заливают в стакан 18 и вместе с лопаткой на крышке опускают в автоклав. После герметизации прибора создают заданные темпе-

ратуру и давление. Вращение стакана обеспечивает непрерывное перемешивание цементного раствора в нем и движение масла в автоклаве. Время загустевания цементного раствора фиксируется на ленте прибора 9 в виде кривой с резким перегибом и подъемом. Условным пределом степени загустеваемости тампонажного раствора считается 10 Па·с. Время достижения этого предела называется временем загустевания раствора.

Однако опыт показывает, что целесообразно ориентироваться на «условную» вязкость 5 Па·с, так как в условиях действия высоких температур и давлений она растет интенсивно. Прибор охлаждают и разбирают.

Консистометр КЦ-5 для определения времени загустевания тампонажных растворов при атмосферном давлении и температуре до 90—95°C более прост по конструкции и позволяет определять рассматриваемый параметр тампонажных растворов для скважин с менее жесткими условиями.

Вспенивание. При закачивании цементного раствора в скважину необходимо обеспечить точность подсчета объема прокачиваемого раствора, а также бесперебойность работы насосов.

Серьезные последствия вызывает вспенивание раствора при его обработке различными химическими реагентами. При их больших дозировках во время приготовления цементного раствора часто образуется много пены, которая в значительной степени затрудняет работы, а главное — дает неверное представление об объеме закачанного раствора в скважину и его плотности.

В связи с этим необходимо предварительно определить в лаборатории способность раствора к пенообразованию.

Водоотдача цементного раствора. Одним из самых важных свойств цементного раствора является его седиментационная устойчивость, водоотстой. Результатом неустойчивости раствора являются его расслоение, образование зон воды и цементного теста, несплошности цементного камня в затрубном пространстве скважины.

Радикальное мероприятие повышения стабильности тампонажных растворов — уменьшение его водоотдачи.

Принципиальная гидравлическая схема установки для определения водоотдачи представлена на рис. 53.

Установка УВЦ-1 смонтирована на общей раме и разделена на две изолированные части — гидравлическую и электрическую. В гидравлической части установлены автоклав 16, мультипликатор 3 с регистратором 4, гидравлический пресс 2, ручной пресс 1, предохранительный клапан, манифольд, два показывающих и один регистрирующий манометры и бачок.

В электрической части стенда смонтированы потенциометр ПСМР-2, вторичный прибор ДСМР-2 для регистрации давле-

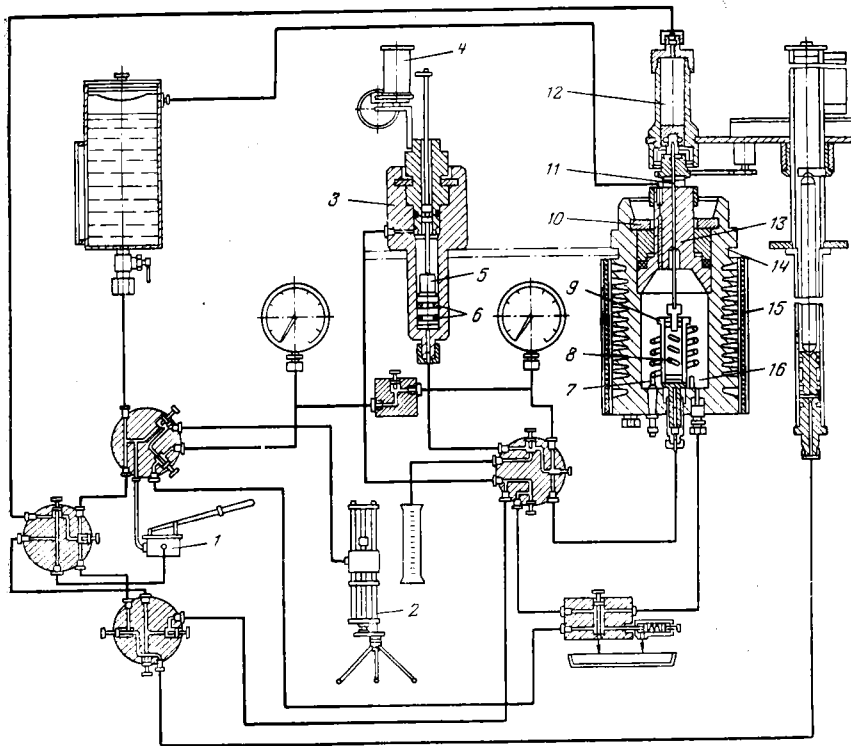


Рис. 53. Установка УВЦ-1 для определения водоотдачи тампонажного раствора

ния и лабораторный автотрансформатор типа ЛАТР. На лицевой панели укреплены амперметр и панель управления.

Автоклав 16 состоит из корпуса 14, вставки 13 и теплоизоляционного кожуха 15. Вставка удерживается в корпусе специальным замком-вилкой 10.

На наружной боковой поверхности корпуса автоклава нарезан винтовой паз (для протока воды с целью охлаждения), закрытый снаружи металлической рубашкой, приваренной к корпусу.

В днище корпуса закреплен трубчатый электронагреватель, выполненный в виде спирали 7, и карман термомпары. Внутри спирали нагревателя установлен съемный стакан 9, в который заливается испытуемый цементный раствор. В стакан также вставлена мешалка 8. Привод мешалки осуществляется через муфту от валика 11, расположенного в центре вставки 13. На верхнем конце валика 11 укреплен шкив для соединения с редуктором. Верхняя часть вставки 13 соединена с подъемни-

ком 12, позволяющим поднимать мешалку 8 из стакана с испытуемым раствором. Необходимые перепады давления при определении водоотдачи и водопроницаемости создаются мультипликатором, состоящим из корпуса, сменных втулок 6 и поршней 5.

Водоотдача тампонажных растворов должна быть низкой, приближающейся к водоотдаче высококачественных глинистых растворов.

При установлении предельно допустимой водоотдачи тампонажного раствора исходят из двух основных положений: 1) сохранение прокачиваемости раствора в течение всего процесса цементирования; 2) влияние проникновения фильтрата раствора в продуктивный пласт на изменение его коллекторских свойств.

При водоотделении тампонажный раствор загустевает и при определенном количестве отфильтровавшейся воды может потерять прокачиваемость, что, как правило, приводит к осложнениям. Проникновение фильтрата тампонажного раствора в продуктивный пласт ухудшает его проницаемость, что способствует удлинению периода освоения скважины.

Механическая прочность цементного камня. Механическая прочность цементного (тампонажного) камня является пока основной оценочной характеристикой тампонажных цементов. Механические свойства цементного камня характеризуются пределами прочности на изгиб образцов-балочек стандартного размера (в СССР) и на сжатие цилиндрических образцов (в США).

Когда говорят о механической прочности цементного камня, понимают обычно прочность, указанную в ГОСТ 1581—85. Ею обладает цементный камень через двое суток твердения в водной среде при некоторой (принятой за стандартную) температуре. В ГОСТ 1581—85 указаны нормы на цементный камень как на материал. Теоретические и экспериментальные работы показывают, а производственный опыт подтверждает, что при проведении первичного цементирования обсадных колонн требования прочности цементного камня могут быть понижены.

В зацементированном затрубном пространстве скважины могут возникать растягивающие, сжимающие и изгибающие напряжения. Однако можно заключить, что выбор вида испытания образцов в лаборатории пока не может определяться видами деформации в цементном кольце затрубного пространства скважины. Опыт показывает, что для установления качества тампонажного цемента могут быть приняты все виды испытаний, но предпочтение следует отдать изгибу и сжатию. Испытание образцов тампонажных цементов на сжатие может быть объяснено удобством проведения работ. Испытание образцов-балочек цементного камня дает возможность проводить дополнительные испытания на сжатие половинок балочек, т. е. полу-

чать сведения о качестве материала по пределам прочности на изгиб и сжатие.

Проницаемость камня из портландцемента. Плотный, непроницаемый цементный камень, не ухудшающий этого свойства под действием различных факторов (условий твердения, пластовых вод и т. д.), обладает значительно большей устойчивостью к агрессивным водам вследствие необъемного разрушения, отсутствия суффозии, выщелачивания и т. д. Обсадные трубы, обычно корродируемые пластовыми водами, при этом лучше сохраняются. При определенных условиях проницаемость цементного камня может являться причиной обводнения скважин, перетока нефти и газа из продуктивных горизонтов. При установлении через него фильтрации вод или газа разрушение камня интенсифицируется.

Проницаемость цементного камня не нормирована. Однако опыт и расчеты показывают, что для качественной изоляции продуктивных горизонтов следует применять тампонажные растворы, затвердевающие в камень с проницаемостью $(2 \div 4) \times 10^{-3}$ мкм².

Контрольные вопросы

1. Что понимается под условиями цементирования скважин?
2. Какие типы пластовых вод Вам известны?
3. Какие требования предъявляются к качеству цементирования скважин?
4. На каких приборах определяются сроки схватывания и время загустевания тампонажных растворов?
5. Что такое механическая прочность цементного камня?
6. Что понимается под проницаемостью цементного камня?

Глава V

СОСТАВ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА И ЕГО ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА

КЛАССИФИКАЦИЯ ТАМПОНАЖНЫХ ЦЕМЕНТОВ И РАСТВОРОВ

Рациональные области применения тампонажных цементов приведены в ГОСТ 25597—82 «Цементы тампонажные. Классификация».

Тампонажные цементы классифицируют по следующим признакам:

виду клинкера и составу основных компонентов,
температуре применения,
средней плотности тампонажного цементного теста,
устойчивости к воздействию агрессивных пластовых вод,
объемным деформациям при твердении.

По виду клинкера и составу основных компонентов тампонажные цементы подразделяют на:

тампонажные цементы на основе портландцементного клинкера,

тампонажные цементы на основе глиноземистого клинкера,
тампонажные цементы бесклинкерные.

Тампонажные цементы на основе портландцементного клинкера по вещественному составу в зависимости от содержания и вида добавок подразделяют на:

тампонажный портландцемент бездобавочный;

тампонажный портландцемент с минеральными добавками;

тампонажный портландцемент со специальными добавками, регулирующими свойства цемента. Перед наименованием такого цемента добавляется наименование добавки.

По температуре применения ($^{\circ}\text{C}$) тампонажные цементы подразделяют на цементы для:

низких температур — ниже 15,

нормальных температур — от 15 до 50,

умеренных температур — от 50 до 100,

повышенных температур — от 100 до 150,

высоких температур — от 150 до 250,

сверхвысоких температур — выше 250,

циклически меняющихся температур.

По средней плотности тампонажного цементного теста (г/см^3) цементы подразделяют на:

легкие — ниже 1,40,

облегченные — от 1,40 до 1,65,

нормальные — от 1,65 до 1,95,

утяжеленные — от 1,95 до 2,30,

тяжелые — выше 2,30.

По устойчивости тампонажного камня к воздействию агрессивных пластовых вод тампонажные цементы подразделяют на:

цементы, к которым не предъявляют требований по устойчивости тампонажного камня к агрессивности пластовых вод,

устойчивые к сульфатным пластовым водам,

устойчивые к кислым (углекислым, сероводородным) пластовым водам,

устойчивые к магниевым пластовым водам,

устойчивые к полиминеральным пластовым водам.

По объемным деформациям тампонажного камня при твердении в водной среде в 3-суточном возрасте цементы подразделяют на:

цементы, к которым требования не предъявляют, безусадочные с расширением не более 0,1%, расширяющиеся с расширением более 0,1%.

В зависимости от жидкости затворения тампонажные растворы могут быть разделены на водные, вододисперсионные, нефтецементные (дизельное топливо, керосин, нефти и др.).

По роду добавок-наполнителей тампонажные цементы разделяются на песчаные, волокнистые, гель-цементы, пуццолановые, перлитовые, гематито-магнетитовые, бентонитовые и др.

Различают тампонажные растворы обычные и с пониженной водоотдачей.

По срокам схватывания тампонажные растворы могут быть разделены на быстросхватывающиеся с началом схватывания раньше 0 ч 40 мин, ускоренно схватывающиеся с началом схватывания 0 ч 40 мин — 1 ч 20 мин, нормально схватывающиеся с началом схватывания более 4 ч 30 мин.

Цементы могут быть выделены по прочности камня и времени ее достижения: с высокой начальной прочностью и обычные.

В США выпускаются цементы семи классов, применяющиеся для цементирования скважин различной глубины с высокой и низкой забойными температурами. К некоторым цементам предъявляются требования высокой начальной прочности, повышенной сульфатостойкости и т. д. Цементы всех классов имеют основой портландцемент и поэтому для применения при высоких температурах и давлениях требуют введения замедлителей сроков схватывания. Кроме основных цементов, выпускаемых промышленностью США, соответствующие фирмы совместно с научно-исследовательскими организациями производят в небольших количествах как модифицированные (с различными добавками и наполнителями), так и бесклинкерные цементы применительно к конкретным условиям.

ТАМПОНАЖНЫЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

Тампонажный портландцемент представляет собой разновидность силикатного цемента. Это продукт, состоящий из смеси измельченных материалов заданного минерализованного состава. Основная часть портландцемента — клинкер, который получается обжигом специальной смеси известняка и глины (мергеля) до спекания (температура примерно 1450 °C) входящих в ее состав компонентов. Известь (мел, известняк) при обжиге дает оксид кальция, глина является источником кремнезема (SiO_2), глинозема (Al_2O_3) и оксида железа (Fe_2O_3).

При помоле к клинкеру добавляют 3—6% гипса для регулирования структурообразования цементного раствора и повышения начальной прочности цементного камня. Вводят также

10—15% минеральных добавок — шлака, трепела, опоки, известняка, песка и др. Они способствуют улучшению некоторых свойств раствора и камня и обеспечивают экономию дорогостоящего клинкера.

СОСТАВ КЛИНКЕРА

Тампонажный портландцемент (клинкер) состоит из оксидов, основные из которых следующие (в %):

Оксид кальция (CaO)	60—66
Кремнезем (SiO_2)	18—25
Глинозем (Al_2O_3)	4—8
Оксид железа (Fe_2O_3)	0,5—5,0

В зависимости от содержания указанных оксидов существенно изменяются свойства тампонажного раствора и камня.

Активные свойства тампонажного портландцемента определяются в основном химически связанным оксидом кальция (CaO) с кремнеземом, глиноземом и оксидом железа.

Кремнезем способствует образованию силикатов кальция и алюминия, придает цементу гидравлические свойства, т. е. способность затвердевать и длительное время работать в водной среде. Увеличение оксида железа в цементе приводит к замедлению процесса схватывания тампонажных растворов и снижает раннюю прочность цементного камня.

В качестве примесей в портландцементе содержатся еще некоторые оксиды (в %):

MgO	0,1—5,5	TiO_2	0,2—0,5
$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$	0,5—1,3	P_2O_5	0,1—0,3
SO_3	0,3—1,0	MnO	0,5—3,5

Оксид магния (MgO) в избыточных количествах (более 4,5%) вызывает увеличение объема и разрушение твердеющего цементного камня; это объясняется тем, что MgO , находясь в химически не связанном состоянии в клинкере, медленно гидратируется (вступает во взаимодействие с водой) в то время, когда раствор уже затвердел.

Диоксид титана (TiO_2) в количестве 4—5% при соответствующем уменьшении содержания кремнезема (SiO_2) повышает прочность камня из этого цемента.

Закись марганца MnO в количестве до 4% и фосфорный ангидрид (P_2O_5) до 1—2% не оказывают вредного действия на свойства раствора и камня, но P_2O_5 способствует замедлению сроков схватывания при нормальных условиях.

Содержание натриевой и калиевой щелочей в количестве более 0,3—0,4% нежелательно, так как приводит к резким колебаниям процессов схватывания раствора.

Свободный, т. е. химически не связанный, оксид кальция является вредной составляющей. Он появляется в клинкере в результате незавершенности процесса клинкерообразования вследствие неправильного составления сырьевой смеси, недостаточной ее гомогенности и несовершенного обжига. Свободный CaO , обожженный при температуре клинкерообразования, гидратируется значительно медленнее, чем основные соединения клинкера. В процессе его гидратации в уже затвердевшем цементном камне появляются внутренние напряжения, приводящие к неравномерности изменения объема. Для предотвращения указанных отрицательных последствий содержание свободного оксида кальция не должно превышать 1,0%.

При обжиге до температуры спекания (около 1450°C) все перечисленные оксиды, вступая во взаимодействие друг с другом, образуют искусственные минералы, называемые клинкерными.

Согласно классификации С. Д. Окорокова, в минералогическом отношении силикатные цементы, к которым относятся портландцементы, представляют смесь минералов-силикатов и минералов-плавней в соотношении примерно 3:1.

К минералам-силикатам относятся трехкальциевый $3\text{CaO} \times \text{SiO}_2$ и двухкальциевый $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ силикаты.

К минералам-плавням относятся следующие соединения: трехкальциевый алюминат — $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, пятикальциевый триалюминат — $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$, однокальциевый алюминат — $\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3$, четырехкальциевый алюмоферрит — $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, однокальциевый феррит $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, двухкальциевый феррит — $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, минерал Торопова — $46\text{CaO} \cdot 16\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{Fe}_2\text{O}_3$.

Кроме минералов, в силикатном цементе содержится стекловидная масса, представляющая собой эвтектический расплав, из которого не успели выделиться минералы ввиду быстрого охлаждения цементного клинкера. Количество ее составляет 5—12%. Стекло состоит в основном из незакристаллизовавшихся ферритов, алюминатов, двухкальциевого силиката, щелочных соединений, части содержащегося в клинкере оксида магния.

К важнейшим минералам относятся алит и белит. Алит состоит в основном из трехкальциевого силиката ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$). Белит представляет собой одну из модификаций двухкальциевого силиката ($\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$). Промежуточное вещество состоит в основном из целита. Оно заполняет промежутки между кристаллами алита и белита.

Свойства тампонажных портландцементов определяются в значительной степени важнейшими минералами, к которым относятся: трехкальциевый силикат — $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 (\text{C}_3\text{S})$, двухкальциевый силикат — $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 (\text{C}_2\text{S})$, трехкальциевый алюминат — $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 (\text{C}_3\text{A})$; четырехкальциевый алюмоферрит — $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛИНКЕРА

Наиболее точным методом определения состава клинкера является химический анализ. С его помощью можно определить содержание важнейших оксидов, зная которые нетрудно установить (путем соответствующих расчетов) содержание основных минералов и получить представление о некоторых свойствах изучаемого портландцемента. Такая оценка может быть дана портландцементу по расчетному минералогическому составу и коэффициенту насыщения и модулям.

Состав и свойства портландцемента зависят от вида сырья и химических реакций, происходящих при обжиге. При повышении температуры до предельной в обжигаемом сырье происходят существенные изменения. В правильно изготовленном портландцементе свободной извести должно содержаться не более 0,5 %.

КОЭФФИЦИЕНТ НАСЫЩЕНИЯ И МОДУЛИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

В результате процессов клинкерообразования оксид кальция связывается с кремнеземом, глиноземом и оксидом железа. Образуются соответствующие соли — силикаты, алюминаты, ферриты кальция. Поскольку в клинкере образуются свободные оксиды кальция и магния, то при расчете сырьевой смеси следует подбирать компоненты таким образом, чтобы кислотные оксиды могли связаться с нежелательными элементами, т. е. после полного связывания CaO некоторое количество кислотных оксидов остается связанным в менее основные соединения. В процессе клинкерообразования оксид железа и кремния насыщаются известью в первую очередь и полностью; не полностью насыщенным остается только кремнезем.

Для оценки степени насыщения кислотной части клинкера известью используют коэффициент насыщения (KH), выражающий отношение количества извести, связанной в клинкере, к теоретически возможному количеству для данного содержания кислотных оксидов

$$KH = \frac{\text{CaO} - \text{CaO}_{\text{своб}} - 1,65\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,7\text{SO}_3}{2,8\text{SiO}_2 - \text{SiO}_{2\text{своб}}}, \quad (58)$$

где $\text{CaO}_{\text{своб}}$ — оксид кальция, оставшийся несвязанным (свободным); $\text{SiO}_{2\text{своб}}$ — несвязанный (свободный) кремнезем.

Тампонажные портландцементы имеют высокий коэффициент насыщения, равный 0,85—0,95.

Многолетней практикой установлены и другие параметры (модули), характеризующие правильный химический состав цемента, соотношение между массовыми долями его основных оксидов (в %):

силикатный (кремнеземистый) модуль

$$n = \text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3); \quad (59)$$

глиноземный модуль

$$p = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3; \quad (60)$$

гидравлический (основной) модуль (редко применяется)

$$m = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}. \quad (61)$$

Установлены пределы изменения отношений: $n = 1,7 \div 3,5$; $p = 1,0 \div 3,0$; $m = 1,9 \div 2,4$.

РАСЧЕТНЫЙ И ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЙ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ СОСТАВЫ КЛИНКЕРА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

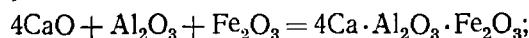
Пользуясь методиками В. А. Кинда и Р. Х. Богга, можно по содержанию оксидов рассчитать минералогический состав портландцементного клинкера (с допущениями).

В химии цемента имеются различия в обозначениях по сравнению с общепринятыми при краткой записи оксидов в клинкере: CaO обозначается буквой С, SiO₂ — S, Al₂O₃ — А, Fe₂O₃ — F, H₂O — Н.

При расчете минералогического состава принимают, что в состав клинкера входят только чистые минералы C₃S, C₂S, C₃A, C₄AF; алюминатная фаза представлена C₃A; сульфаты — сульфатом кальция. В расчете участвуют только главные оксиды — CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ и SO₃. При этом выделяется свободная известь CaO и несвязанный кремнезем SiO₂. Считается, что стекловидная фаза отсутствует.

Вычисленный с допущениями минералогический состав портландцементного клинкера — условный.

Допускается, что первым соединением, образующимся при обжиге сырья, является C₄AF, включающий Fe₂O₃. Стехиометрические отношения могут быть записаны следующим образом: молекулярные количества



массовые количества

$$(4 \cdot 56) + 102 + 159 = 485.$$

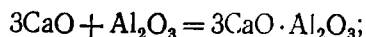
Следовательно, одна массовая доля Fe₂O₃ связывает

$$\frac{4 \cdot 57}{159} = 1,4 \% \text{ CaO} \quad \text{и} \quad 102/159 = 0,64 \% \text{ Al}_2\text{O}_3.$$

При этом образуется $485 : 159 = 3,04\%$ C₄AF от массы клинкера.

Тогда для определения четырехкальцевого алюмоферрита можно записать формулу: $C_4AF=3,04F$, где F — содержание Fe_2O_3 в клинкере, %.

Для оставшегося глинозема можно записать: молекулярные количества



массовые количества

$$(3 \cdot 56) + 102 = 270.$$

Следовательно, каждая массовая доля оставшегося Al_2O_3 связывает $(3 \cdot 56)/102 = 1,65\%$ CaO . При этом образуется $270 : 102 = 2,65\%$ C_3A . Тогда для определения трехкальцевого алюмината запишем формулу: $C_3A = 2,65 (A - 0,64F)$.

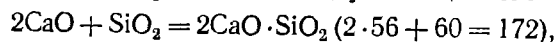
Часть оксида кальция связывается сульфатом: $CaO + SO_2 = CaSO_4 \cdot (56 + 80 = 136)$, т. е. каждая массовая доля SO_3 связывает $56 : 80 = 0,7\%$ CaO ; при этом образуется $1,7\%$ $CaSO_4$. Тогда запишем: $CaSO_4 = 1,7\%$.

Далее можно подсчитать, сколько остается извести.

Для образования силикатов кальция (C_3S и C_2S):

$$\begin{aligned} CaO - 1,4F - 1,65(A - 0,64F) - 0,7SO_4 = \\ = CaO - 1,65Al_2O_3 - 0,35Fe_2O_3 - 0,7SO_3. \end{aligned}$$

Для C_2S , который образуется до получения C_3S , количество CaO определится следующим образом. Вначале весь кремнезем реагирует с образованием двухкальцевого силиката

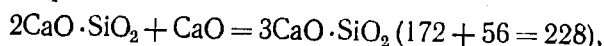


т. е. одна массовая доля кремнезема дает $172 : 60 = 2,8\%$ C_2S и связывается $1,87\%$ CaO .

Для образования трехкальцевого силиката C_3S остается

$$CaO - 1,65Al_2O_3 - 0,35Fe_2O_3 - 0,7SO_3 - 1,87SiO_2.$$

Запишем реакцию



т. е. одна массовая доля оставшегося CaO дает $228 : 56 = 4,07\%$ C_3S .

Теперь можно определить количество образующегося трехкальцевого силиката $3CaO \cdot SiO_2 (C_3S)$:

$$C_3S = 4,07 (CaO - 1,65Al_2O_3 - 0,35Fe_2O_3 - 1,87SiO_2 - 0,7SO_3).$$

Одна массовая доля дает $60 : 228 = 0,26\%$ SiO_2 . Остальное количество SiO_2 идет на образование C_2S :

$$\begin{aligned} C_2S = 2,8 [SiO_2 - 0,26 (4,07CaO - 6,72Al_2O_3 - 1,42Fe_2O_3 - \\ - 2,84SO_3 - 7,6SiO_2)] = 8,6SiO_2 + 5,07Al_2O_3 + 1,07Fe_2O_3 + \\ + 2,15SO_3 - 3,07CaO. \end{aligned}$$

Принятые ранее допущения существенно отличают расчетный минералогический состав клинкера от действительного. В изготовленном в заводских условиях клинкере фактическое количество алита выше, а белита ниже, чем получается согласно расчету.

Повышение содержания минералов-силикатов и повышение прочности камня из портландцемента связываются с увеличением силикатного модуля. Если при этом наблюдается снижение коэффициента насыщения, прочность камня уменьшается. Ускорение сроков схватывания обычно связывается с повышением глиноземного модуля.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Лучшим сырьем для производства портландцемента считается мергель. Наиболее желательно применение мергеля с соотношением известкового и глинистого компонентов, близким к применяемому в производстве портландцемента (примерно 78:22). При отсутствии мергелей вообще или мергелей заданного состава в качестве известкового компонента используют карбонаты кальция. Присутствие карбоната магния в карбонатах кальция не должно превышать 2,0—2,5%.

В качестве глинистого компонента чаще всего используют каолиновые компоненты с обычным содержанием 40—60% SiO_2 , 10—20% Al_2O_3 , 4—8% Fe_2O_3 , 2—12% CaO . Оксиды щелочных металлов, часто присутствующие в глинах, являются вредными и содержание их не должно превышать 5%. Вместо глинистого компонента (суглинки, лёссы, сланцы) часто применяют доменные гранулированные шлаки, нефелиновый шлак. К ним необходимо добавлять соответствующие компоненты для производства портландцемента.

При составлении искусственной сырьевой смеси или при переработке природных мергелей даже близкого к необходимому составу следует вводить корректирующие добавки. К ним относятся материалы, обычно содержащие преимущественно один какой-нибудь кислотный оксид (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3). При использовании доменных гранулированных шлаков или нефелинового шлака вводят некоторое количество (15—20%) CaO . Изменяя соотношение глинистого и известкового компонентов, можно изменить содержание группы оксидов, что не всегда приводит к желаемому результату. Поэтому вводят корректирующие добавки в виде отдельных кислотных оксидов. Кремнезем обычно вводят с опокой, кварцевым песком. Глинозем добавляют с бокситом, оксиды железа — с железной рудой, пиритовыми огарками, колошниковой пылью.

Процесс производства портландцемента. Для производства портландцемента применяют два способа — сухой и мокрый.

При сухом способе сырьевые компоненты дозируются после предварительного высушивания и измельчаются в мельницах до порошка с крупностью зерен до 100 мкм. Затем смесь корректируется и пневматическим путем гомогенизируется. В специальных печах ее обжигают. Существует несколько вариантов предварительного нагрева смеси до температуры 900—1000 °С. После предварительного нагрева смеси последняя поступает во вращающуюся печь (с частотой вращения 1 об/мин), футерованную изнутри. После охлаждения клинкер размалывают. При помоле к клинкеру добавляют гипс, шлак, песок или другие добавки; этот порошок и представляет собой цемент.

Большое распространение получил мокрый способ производства цемента. В этом случае измельчение и корректировка сырьевой смеси сопровождаются добавлением воды. Смесь легко гомогенизируется перемешиванием, перекачкой или другими способами. Так как смесь представляет собой сметанообразную массу, ее транспортировка, корректировка и перемешивание значительно облегчаются. Смесь обжигают в длинных (до 200 м) вращающихся печах, диаметр которых достигает 5 м. После охлаждения смесь измельчают в шаровых печах. При помоле вводят добавки, повышающие физико-механические свойства тампонажного портландцемента.

Отечественные цементные заводы выпускают несколько разновидностей портландцемента. Тампонажные портландцементы для «холодных» и «горячих» скважин относятся к активным быстрохватывающимся цементам.

СВОЙСТВА СУХОГО ЦЕМЕНТНОГО ПОРОШКА

В отличие от других строительных материалов свойства портландцементов проверяются после затвердения цементного раствора, хотя закладываются они при изготовлении цемента. Наиболее важны следующие свойства портландцемента.

Плотность. Из всех вяжущих тампонажный портландцемент обладает самой большой плотностью, равной в среднем 3,12—3,15 г/см³. Для тампонажных портландцементов плотность является характеристикой его свойств, так как от ее величины зависит плотность тампонажного раствора. По плотности тампонажного цемента можно определять наличие в нем утяжеляющих или облегчающих добавок.

Различают также насыпную массу (масса 1 л) порошка портландцемента. Она изменяется в рыхлом состоянии до 900—1100 г/л и в уплотненном состоянии до 1400—1700 г/л. Величиной насыпной массы пользуются при сооружении складских помещений и определении вместимости бункеров цементно-смесительных машин.

Тонкость помола. Это очень важное свойство не только портландцемента, но и цементов специального назначения. Тонкость

помола определяется с помощью сит (по остаткам на ситах не прошедшего через них цемента) и специальными приборами, на которых устанавливается удельная поверхность, т. е. суммарная поверхность частиц, содержащихся в 1 г цемента. Ее выражают в $\text{см}^2/\text{г}$.

Ситовый анализ позволяет быстро охарактеризовать гранулометрический (зерновой) состав цементного порошка. Обычно определяют относительное содержание фракции больше 70—90 мкм и фракций зерен меньше этой величины. Для указанной цели используют сито № 008 с величиной ячейки в свету 80 мкм. Используют также сито с числом отверстий 4900 на площади 1 см^2 . Размер ячейки в этом случае составляет 88 мкм.

Различные цементы, имея одинаковые остатки на ситах, могут резко отличаться количеством наиболее мелких фракций, что определяется размалываемостью клинкера и добавок, породой и количеством наполнителя, техникой помола и др. В обычных портландцементных фракционный состав примерно следующий: частиц размером <10 мкм — 30—40%, 10—20 мкм — 10—20%, 20—30 мкм — 10—20%, 30—50 мкм — 10—20%, >50 мкм — 10—25%. Крупные фракции содержат повышенное количество белита и ферритовой составляющей (как более трудно размалываемых компонентов); в мелких фракциях повышенное содержание алита.

На свойства цемента наибольшее влияние оказывают самые тонкие фракции. Их суммарная поверхность намного превосходит поверхность частиц более грубых фракций, хотя доля их в общей массе невелика. Наименьший размер зерен портландцемента, установленный на электронном микроскопе, равен приблизительно 0,5 мкм.

Удельную поверхность цемента и других порошкообразных материалов применительно к цементированию скважин определяют прибором ПСХ-2. Этот прибор основан на измерении удельной поверхности порошкообразных материалов методом воздухопроницаемости. Известны и другие приборы, основанные на таком же принципе (методы В. В. Товарова, Р. Л. Блейна, Ф. М. Ли и Р. Х. Нэрса и др.).

Тампонажные портландцементы имеют удельную поверхность, равную примерно 2500—4000 $\text{см}^2/\text{г}$. При помоле клинкера к нему добавляют активные минеральные добавки.

АКТИВНЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ДОБАВКИ К ВЯЖУЩИМ ВЕЩЕСТВАМ

Согласно ОСТ 21—9—81¹ активными минеральными добавками называются вещества (природные и искусственные), которые при смешении в тонкоизмельченном виде с воздушной

¹ ОСТ 21—9—81 «Добавки активные минеральные к вяжущим веществам».

известью и затворении водой образуют тесто, способное после твердения на воздухе продолжать твердеть и под водой. Добавки применяют при производстве различных видов цементов.

Активные минеральные добавки разделяются на две группы: I группа — природные (естественные) и II группа — искусственные.

I группа добавок

А. Добавки осадочного происхождения:

а) диатомиты — горные породы, состоящие преимущественно из скопления микроскопических панцирей диатомитовых водорослей и содержащие в основном кремнезем в аморфном состоянии;

б) трепелы — горные породы, состоящие из микроскопических, преимущественно округлых зерен и содержащие главным образом кремнезем в аморфном состоянии;

в) опоки — уплотненные диатомиты и трепелы;

г) глиежи — породы, образующиеся в результате природного обжига глины при подземных пожарах в угольных пластах.

Б. Добавки вулканического происхождения:

а) пеплы — породы, содержащие алюмосиликаты и находящиеся в природе в виде рыхлых, частично уплотненных отложений;

б) туфы — уплотненные и сцементированные вулканические породы;

в) пемзы — камневидные породы, характеризующиеся пористым губчатым строением (вспученное вулканическое стекло);

г) трассы — метаморфизованные разновидности вулканических туфов.

II группа добавок

а) кремнеземистые отходы — богатые кремнекислотой, полученные при извлечении глинозема из глины;

б) обожженные глины — продукт искусственного обжига глинистых пород и самовозгорающихся в отвалах пустых шахтных пород (глинистые и углистые сланцы);

в) топливные золы и шлаки — побочный твердый продукт, образующийся при сжигании при определенном температурном режиме некоторых видов топлива, в составе минеральной части которых преобладают кислотные оксиды;

г) доменные гранулированные шлаки — кислые и основные — силикатные расплавы, получаемые при выплавке чугуна и обрабатываемые в мелкозернистое состояние путем быстрого их охлаждения.

ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЕ ПРИ ТВЕРДЕНИИ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ

Гидратация портландцемента представляет собой экзотермический процесс и сопровождается выделением тепла.

Важнейшее влияние на тепловыделение цемента оказывает их химико-минералогический состав, определяющий в конечном счете скорость гидратации цемента. Меньшее влияние на термохимические свойства оказывают другие факторы: тонкость помола, сроки и условия хранения, способ помола и т. д. По величине и характеру развития тепловыделения во времени клинкерные минералы располагаются в следующий ряд: $C_3A > C_3S > C_4AF > C_2S$.

Если трехкальциевый алюминат и трехкальциевый силикат имеют наибольшую скорость тепловыделения в начальные сроки твердения, то двухкальциевый силикат, выделяя вначале малое количество тепла, в последующие сроки характеризуется повышенным тепловыделением.

Наибольшее количество тепла при твердении растворов из тампонажных портландцементов выделяется в первые три—пять дней. При повышении температуры окружающей среды сокращаются сроки наиболее интенсивного тепловыделения.

Весьма высокой скоростью тепловыделения отличается глиноземистый цемент, через трое—четверо суток твердения при комнатной температуре его тепловыделение близко к предельному.

Снижение эффекта тепловыделения может быть достигнуто введением в цементы большого количества наполнителей, но при этом резко изменяются другие физико-механические свойства раствора и камня.

Исходя из общих положений можно отметить, что некоторые добавки, относящиеся к пластифицирующим, располагаются на поверхности зерен в виде пленок определенной толщины и при некоторой температуре в течение определенного времени не пропускают воду, замедляя процессы гидролиза и гидратации цементных зерен. В данном случае тепловыделение в начальные сроки будет уменьшенным. С течением времени вследствие разрушения пленок поверхностно-активных веществ процессы твердения и тепловыделения будут протекать практически нормально.

Применение реагентов-ускорителей (например, $CaCl_2$) приводит к заметному ускорению и увеличению теплового эффекта в твердеющем цементном растворе — камне.

С повышением температуры скорость тепловыделения выше. С увеличением давления тепловыделение при твердении портландцементных растворов возрастает. Изменение водоцементного отношения от 0,3 до 0,6 при давлении 5—30 МПа заметно ускоряет процесс тепловыделения.

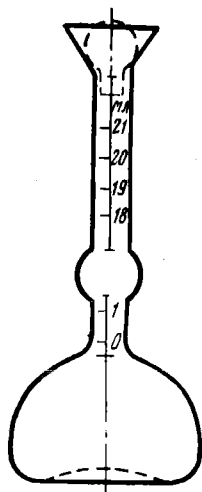


Рис. 54. Прибор Ле-Шателье для определения плотности цементного порошка

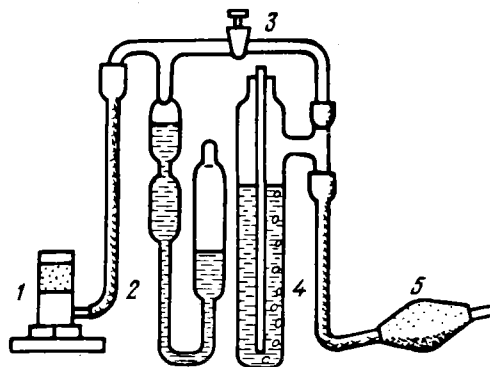


Рис. 55. Прибор для определения удельной поверхности цементного порошка

Практические занятия

1. Используя формулы (58)—(61), по известному химическому составу портландцемента рассчитать KH , n , p , m .
2. По методике, приведенной на стр. 122—123 настоящей главы, и известному химическому составу (содержание оксидов) рассчитать минералогический состав клинкера.

Лабораторная работа № 2

Определение физических свойств цементного порошка

1. Определение плотности цементного порошка¹.

Плотность цементного порошка определяют при помощи прибора Ле-Шателье (рис. 54).

Прибор помещают в стеклянный сосуд с водой так, чтобы вся его градуированная часть была погружена в воду. Во избежание всплывания его закрепляют в штативе. Необходимо, чтобы при отсчетах уровня жидкости в приборе температура воды в сосуде соответствовала температуре, при которой градуировался прибор.

Прибор наполняют безводным керосином до нижней нулевой черты, что определяется по нижнему мениску. После этого свободную от керосина часть прибора (выше нулевой черты) тщательно протирают тампоном из фильтровальной бумаги.

¹ По ГОСТ 310.1—76 «Цементы. Методы испытаний. Общие положения».

С точностью до 0,01 отвешивают 65 г цемента, предварительно высушенного в течение 2 ч при температуре 105—110 °С и охлажденного в эксикаторе. Цемент через воронку высыпают ложечкой небольшими равномерными порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе не поднимется до одного из делений в пределах верхней градуированной части прибора. Для удаления пузырьков воздуха прибор с содержимым вынимают из сосуда с водой и поворачивают его в наклонном положении в течение 10 мин на гладком резиновом коврике. После этого прибор снова помещают в воду, имеющую температуру градуировки прибора, не менее чем на 10 мин и отсчитывают уровень жидкости в приборе.

Плотность $\rho_{\text{ц}}$ цементного порошка (в г/см³) вычисляют по формуле: $\rho_{\text{ц}} = q/V$, где q — навеска цемента, г; V — объем жидкости, вытесненной цементным порошком, см³.

Плотность испытуемого цементного порошка вычисляют с точностью до 0,01 г/см³ как среднее арифметическое результатов двух определений, расхождение между которыми не должно превышать 0,02 г/см³.

II. Определение удельной поверхности цемента¹.

Удельная поверхность цементного порошка может быть определена методом воздухопроницаемости.

Схема прибора для определения удельной поверхности цемента изображена на рис. 55. Прибор состоит из пяти частей: гильзы 1, манометра-аспиратора 2, крана 3, регулятора разрежения 4 и источника разрежения 5 (груша или водоструйный насос).

Перед испытанием цемент просеивают через сито № 09 и навеску в 25 г сушат в течение 2 ч при температуре 105—110 °С в сушильном шкафу.

Проверяют герметичность гильзы и соединений прибора, для чего плотно закрывают гильзу сверху резиновой пробкой, создают разрежение в манометре-аспираторе и закрывают кран. При полной герметичности гильзы и соединений уровень жидкости в манометре-аспираторе не должен снижаться. В противном случае следует отыскать место присоса воздуха и добиться полной герметичности.

Величину навески (с точностью до 0,01 г) цемента Q (в г) вычисляют по формуле: $Q = \rho_{\text{ц}} V (1 - m)$, где $\rho_{\text{ц}}$ — плотность испытуемого цемента, г/см³; V — объем слоя цемента в гильзе, см³; m — коэффициент пористости, доли единицы (рекомендуется принимать равным $0,48 \pm 0,01$).

Для портландцементов, размалываемых без добавок (кроме гипса), плотность может приниматься равной 3,15.

¹ По ГОСТ 310.2—76. «Цементы. Методы определения тонкости помола».

Для цементов очень тонкого помола, а также для цементов с добавками (кремнеземистыми, карбонатными и т. п.) навеску следует подбирать опытным путем так, чтобы при прессовании плунжером в гильзе получить плотный слой. В этом случае коэффициент пористости вычисляют по формуле $m = (V_{\rho_{ц}} - Q) V_{\rho_{ц}}$.

Для подготовки слоя цемента к испытанию в гильзу помещают перфорированный диск. Сверху диска укладывают кружок фильтровальной бумаги малой или средней плотности, на который помещают навеску цемента. Постукивают слегка по стенкам гильзы, накладывают на слой цемента второй кружок фильтровальной бумаги и нажатием руки образец прессуют при помощи плунжера до тех пор, пока упорное кольцо плунжера не придет в соприкосновение с верхним краем гильзы.

Гильзу с приготовленным слоем цемента при помощи резиновой трубки присоединяют к манометру-аспиратору.

Приводя в действие водоструйный насос или другой источник разрежения, после того как в закрытом колене манометра-аспиратора жидкость поднимается до высоты, находящейся между двумя линиями, нанесенными на трубке, кран закрывают. Изменение уровня жидкости в закрытом колене манометра-аспиратора вызывает просасывание воздуха через слой материала, находящегося в гильзе. Когда уровень жидкости доходит до отметки, находящейся над верхним расширением, пускают в ход секундомер и останавливают его, когда уровень жидкости дойдет до отметки между двумя расширениями.

Если уровень жидкости понижается слишком быстро, что не позволяет точно фиксировать момент прохода мениска жидкости против первой отметки (выше верхнего расширения), то для измерений следует пользоваться нижним расширением манометра-аспиратора. Секундомер в этом случае пускают в ход, когда уровень жидкости дойдет до черты между расширениями, и останавливают его, когда уровень жидкости доходит до отметки, находящейся ниже второго расширения.

Продолжительность просасывания воздуха для одной и той же навески определяют дважды и для дальнейших расчетов используют среднее арифметическое из двух определений.

При измерениях, требующих повышенной точности, необходимо проводить два-три повторных определения с отдельными навесками цемента.

Удельную поверхность цемента (в $\text{см}^2/\text{г}$) вычисляют по формуле

$$S = \frac{k}{\rho_{ц}} \sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}} \sqrt{\frac{1}{h}} \sqrt{T},$$

где k — постоянная прибора, которая указана в паспорте прибора отдельно для работы с верхним и нижним расширениями

Значения $\sqrt{m^3/(1-m)^2}$ в зависимости от m

m	$\sqrt{m^3/(1-m)^2}$	m	$\sqrt{m^3/(1-m)^2}$	m	$\sqrt{m^3/(1-m)^2}$
0,450	0,549	0,484	0,652	0,517	0,770
0,451	0,552	0,485	0,656	0,518	0,774
0,452	0,554	0,486	0,659	0,519	0,777
0,453	0,557	0,487	0,662	0,520	0,781
0,454	0,560	0,488	0,666	0,521	0,785
0,455	0,563	0,489	0,669	0,522	0,789
0,456	0,566	0,490	0,672	0,523	0,793
0,457	0,569	0,491	0,676	0,524	0,797
0,458	0,572	0,492	0,679	0,525	0,801
0,459	0,575	0,493	0,683	0,526	0,805
0,460	0,578	0,494	0,686	0,527	0,809
0,461	0,581	0,495	0,690	0,528	0,813
0,462	0,584	0,496	0,693	0,529	0,817
0,463	0,587	0,497	0,697	0,530	0,821
0,464	0,590	0,498	0,700	0,531	0,825
0,465	0,593	0,499	0,704	0,532	0,829
0,466	0,596	0,500	0,707	0,533	0,833
0,467	0,599	0,501	0,711	0,534	0,842
0,468	0,602	0,502	0,714	0,535	0,842
0,469	0,605	0,503	0,718	0,536	0,846
0,470	0,608	0,504	0,721	0,537	0,850
0,471	0,611	0,505	0,725	0,538	0,854
0,472	0,614	0,506	0,729	0,539	0,858
0,473	0,617	0,507	0,733	0,540	0,863
0,474	0,620	0,508	0,736	0,541	0,867
0,475	0,624	0,509	0,739	0,542	0,871
0,476	0,627	0,510	0,743	0,543	0,875
0,477	0,630	0,511	0,747	0,544	0,880
0,478	0,633	0,512	0,751	0,545	0,884
0,479	0,636	0,513	0,755	0,546	0,889
0,480	0,639	0,514	0,758	0,547	0,893
0,481	0,643	0,515	0,762	0,548	0,898
0,482	0,646	0,516	0,766	0,549	0,902
0,483	0,649			0,550	0,906

манометра-аспиратора; ρ_c — плотность цемента, г/см³; m — коэффициент пористости цемента, находящегося в гильзе, доли единицы; T — время снижения уровня жидкости от отметки сверху расширения до отметки снизу расширения, с; h — вязкость воздуха при температуре опыта, Па·с; числовые значения $\sqrt{m^3/(1-m)^2}$ в зависимости от m помещены в табл. 20, а числовые значения $\sqrt{l/h}$ при различных температурах — в табл. 21.

При определении удельной поверхности одного и того же материала с постоянной плотностью (например, при текущем контроле тонкости размола цемента, выходящего из мельницы)

Числовые значения $\sqrt{1/h}$ при различных температурах

Температура, °C	Плотность ртути, г/см ³	Вязкость воздуха, 10 ⁻⁸ Па·с	$\sqrt{h}$	$\sqrt{1/h}$
8	13,58	1749	0,01322	75,64
10	13,57	1759	0,01326	75,41
12	13,57	1768	0,01329	75,21
14	13,56	1778	0,01333	75,00
16	13,56	1778	0,01337	74,79
18	13,55	1798	0,01342	74,58
20	13,55	1808	0,01344	74,37
22	13,54	1818	0,01348	74,16
24	13,54	1828	0,01352	73,96
26	13,53	1837	0,01355	73,78
28	13,53	1847	0,01359	73,58
30	13,52	1857	0,01362	73,38
32	13,51	1867	0,01366	73,19
34	13,51	1876	0,01369	73,01

рекомендуется измерять поверхность при постоянном коэффициенте пористости. При этом расчет проводят по формуле

$$S = A \sqrt{T},$$

где

$$A = \frac{k}{\rho_{\text{ц}}} \sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}} \sqrt{\frac{1}{h}}.$$

Пример 6. Объем слоя цемента в гильзе 7,5 см³; плотность цемента 3,1 г/см³, навеска цемента 12 г, постоянная прибора $k=25$ (верхнего расширения), продолжительность $T=63$ с, температура опыта 20 °C.

Расчет. Коэффициент пористости

$$m = \frac{7,5 \cdot 3,1 - 12,0}{7,5 \cdot 3,1} = 0,484;$$

$$\sqrt{m^3/(1-m)^2} = \sqrt{\frac{0,484^3}{(1-0,484)^2}} \quad (\text{по табл. 20}) = 0,652;$$

$$\sqrt{1/h} \quad (\text{по табл. 20}) = 74,37;$$

$$S = \frac{25}{3,1} \cdot 0,652 \cdot 74,37 \sqrt{63} = 3100 \text{ см}^2/\text{г}.$$

При $\rho_{\text{ц}}=3,1$; $m=0,48$ и температуре воздуха в пределах 13—19 °C

$$A = \frac{25}{3,1} \cdot 0,652 \cdot 74,37 = 390;$$

$$S = 390 \sqrt{T}.$$

Примечание. Результаты вычислений должны округляться до целых десятков см²/г.

III. Определение тонкости помола цемента.

Для определения тонкости помола цемента применяют следующую аппаратуру: а) сито с сеткой № 008 (размер ячейки в свету $0,08 \times 0,08$ мм). Сетка должна быть хорошо натянута и плотно зажата в цилиндрической обойме диаметром 10—15 см; б) прибор для механического просеивания цемента. При отсутствии в лаборатории этого прибора допускается ручное просеивание.

Отвешивают 50 г цемента, предварительно высушенного в сушильном шкафу в течение 1 ч при температуре 105—110°C, и высыплют его на сито. После того как сито закрыто крышкой, его устанавливают в прибор для механического просеивания. Примерно через 5—7 мин после начала просеивания сито останавливают, осторожно снимают донышко и высыплют из него прошедший через сито цемент.

Для того чтобы уменьшить забивание сетки при дальнейшем просеивании, прочищают сетку с нижней стороны мягкой кистью, вставляют донышко и продолжают просеивание.

Контрольное просеивание следует проводить на бумагу при снятом донышке. Просеивание считается законченным, когда в течение 1 мин сквозь сито при ручном просеивании проходит не более 0,05 г цемента. Сито должно быть совершенно сухим и после испытания прочищаться.

Тонкость помола цемента определяется с точностью до 0,1 % как остаток на сите с сеткой № 008 в процентах к первоначальной массе просеиваемой пробы.

IV. Определение объемной насыпной массы сухого цемента.

Высушенный до постоянной массы цемент средней пробы высыплют с высоты 10 см в предварительно взвешенный мерный сосуд (обычно применяемый для этой цели сосуд имеет диаметр и высоту, равные 234 мм) вместимостью 1 л до образования над сосудом конуса. Избыток цемента срезают линейкой вровень с краями сосуда (но без уплотнения массы). Затем сосуд с песком взвешивают. Объемную массу ρ_n цемента в сухом состоянии (кг/м^3) с точностью до 10 кг/м^3 вычисляют по формуле

$$\rho_n = \frac{q_2 - q_1}{V}, \quad (62)$$

где q_1 — масса мерного сосуда, кг; q_2 — масса мерного сосуда с цементом, кг; V — объем мерного сосуда, м^3 .

Объемную насыпную массу цемента в сухом состоянии принимают как среднее арифметическое результатов трех измерений. Для определения насыпной массы цемента в естественном состоянии применяют ту же методику, но без предварительной просушки цемента.

V. Химический анализ цемента.

В цементах определяют следующие компоненты: SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , сумму $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ и потери при прокаливании (п. п. п.). Сумма щелочей и потери при прокаливании определяют из отдельных навесок; все остальные компоненты — из одной. Компоненты Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , MgO определяют комплексометрически, SiO_2 и SO_3 — массовым методом.

Определение потерь при прокаливании. Навеску исследуемого цемента 1 г помещают в предварительно прокаленный до постоянной массы фарфоровый тигель, прокаливают в муфеле при $900\text{—}1000^\circ\text{C}$ в течение 1 ч, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Прокаливание повторяют до постоянной массы. Повторные прокаливания следует проводить в течение 20 мин.

П. п. п. (в %) вычисляют по формуле: $\text{п. п. п.} = v100/a$ (v — разность масс тигля с навеской до и после прокаливания, г; a — навеска цемента, г).

Определение SiO_2 . Навеску (0,5 г) тонко измельченного и высушенного при 105°C цемента помещают в платиновый тигель, смешивают с шестикратным количеством (3 г) плавня¹, накрывают крышкой и оплавливают в муфеле при $900\text{—}1000^\circ\text{C}$.

Тигель с плавнем охлаждают в стакане с дистиллированной водой. На водяную баню² помещают выпарительную чашку, в которую наливают 100 мл соляной кислоты 1:3. После охлаждения тигель переносят в выпарительную чашку, быстро накрывают стеклом для предотвращения разбрызгивания. По окончании выщелачивания стекло, тигель и крышку смывают горячей дистиллированной водой. К раствору добавляют одну — две капли азотной кислоты. Содержимое чашки упаривают досуха, затем обрабатывают соляной кислотой и снова упаривают. Обработку соляной кислотой проводят 2—3 раза. После обезвоживания чашку снимают с бани, дают остыть, тонко растирают комочки стеклянной палочкой, наливают в чашку 10 мл HCl плотностью $1,17\text{ г/см}^3$ и 30 мл горячей дистиллированной воды. Содержимое чашки переносят на фильтр; промывают осадок вначале декантацией, затем на фильтре 3—4 раза горячим раствором (HCl : дистиллированная вода — 1:95).

Промывают осадок³ горячей дистиллированной водой до исчезновения иона хлора⁴. Осадок с фильтром помещают в фар-

¹ Две части безводной соды (Na_2CO_3) смешивают с одной частью возгонной буры. На 100 г смеси добавляют 0,5 г KNO_3 , смесь тщательно перемешивают.

² В качестве водяной бани удобно пользоваться химическими стаканами из жаростойкого стекла.

³ Промывать осадок следует небольшими порциями воды, дать раствору стечь, затем снова промыть.

⁴ Реакцию на ион хлора проводят следующим образом: в пробирку отбирают из воронки несколько капель раствора, добавляют одну каплю H_2O и одну каплю AgNO_3 . Если осадок не отмыт от хлора, то в растворе появится молочно-белая муть.

Форовый тигель, озоляют на электрической плитке, прокаливают в муфеле при 900°C в течение 1 ч, помещают в эксикатор для охлаждения и взвешивают. Прокаливание ведут до постоянной массы. Повторные прокаливания длятся 20—25 мин.

Расчет ведут по формуле $\text{SiO}_2 = v100/a$ (v — масса прокаленного осадка, г; a — навеска цемента, г).

Отделение полуторных оксидов (Fe_2O_3 , Al_2O_3) от кальция и магния. Фильтрат после отделения кремнекислоты выпаривают до объема 100 мл, добавляют одну — две капли метилового красного и небольшими порциями аммиак до перехода окраски из розовой в желтую. Осадку дают отстояться на теплой плите (но не горячей) и фильтруют через фильтр с красной лентой. Осадок промывают 4—5 раз теплой водой. Фильтрат переводят в мерную колбу объемом 500 мл, дают остыть и доводят дистиллированной водой до метки. В нем определяют CaO , MgO и SiO_2 .

Остаток на фильтре с воронкой помещают в коническую колбу вместимостью 250 мл, растворяют горячей соляной кислотой 1 : 3, тщательно смывают фильтр горячей дистиллированной водой. Полученный раствор служит для определения железа и алюминия.

Определение оксида железа. Комплексометрическое определение железа (III) проводят в солянокислом растворе при рН от 0,8 до 1,2 в присутствии сульфосалициловой кислоты в качестве индикатора. Сульфосалициловая кислота образует с ионами железа окрашенный в лилово-красный цвет комплекс, который при титровании комплексом III переходит в комплексонат железа, окрашенный в зеленовато-желтый цвет, выявляющийся в точке эквивалентности.

Определяя железо в присутствии алюминия, необходимо строго соблюдать указанные выше пределы значения рН, так как при более низком значении рН железо титруется не полностью, а при более высоком начинает титроваться алюминий.

Реактивы

1. Кислота соляная, разбавленная 1 : 1.
2. Кислота соляная, 1 н. раствор.
3. Аммиак водный, 25%-ный раствор.
4. Комплексон III, 0,05 М раствор.

Раствор готовят из фиксанала. Титр раствора комплексона устанавливают по стандартному раствору хлорида цинка.

Для этого отбирают пипеткой 10 мл раствора комплексона, разбавляют водой до объема 100 мл, прибавляют 5 мл буферного раствора с рН около 5, одну — две капли 0,5%-ного водного раствора ксиленолового оранжевого и титруют стандартным раствором хлорида цинка до перехода желтой окраски раствора в красноватую.

Молярность раствора комплексона D_k вычисляют по формуле $D_k = D_{Zn} A_{Zn} / 10$, где D_{Zn} — молярность стандартного раствора цинка; A_{Zn} — количество раствора цинка, пошедшее на титрование, мл; 10 — количество раствора комплексона, взятое для титрования, мл.

При реакции комплексообразования на один ион трех- или двухвалентного металла в указанных условиях расходуется одна молекула комплексона III. Исходя из этого титр раствора комплексона по оксиду железа ($T_{Fe_2O_3}$) вычисляют по формуле

$$T_{Fe_2O_3} = D_k \frac{159,7}{2} \cdot \frac{1}{1000} = D_k 0,07985 \text{ г/мл},$$

где D_k — молярность раствора комплексона III, установленная по стандартному раствору цинка; 159,7 — относительная молекулярная масса оксида железа.

5. Бумага индикаторная «конго».

6. Кислота сульфосалициловая, 25%-ный раствор.

Ход анализа. Солянокислый раствор, полученный растворением осадка гидроксидов, нагревают до температуры 70°C и осторожно нейтрализуют 25%-ным аммиаком на индикаторной бумаге «конго» до ее побурения или до образования не исчезающей при перемешивании мути, которую затем растворяют одной — двумя каплями соляной кислоты (1:1). В нейтрализованный таким образом раствор прибавляют 9—10 мл 1 н. соляной кислоты (для приведения к $\text{pH}=1$) и дистиллированную воду до объема 100 мл и нагревают до $50\text{—}55^\circ\text{C}$ (в более холодных растворах переход окраски растянут, а в более горячих может частично титроваться алюминий). Затем добавляют три — пять капель 15%-ного раствора сульфосалициловой кислоты и титруют 0,05 М раствором комплексона III до перехода лилово-красной окраски сульфосалицилата железа в зеленовато-желтую, характерную для комплексоната железа. Содержание оксида железа (Fe_2O_3) в исследуемом цементе вычисляют по формуле (в %)

$$Fe_2O_3 = \frac{T_{Fe_2O_3} \cdot 100}{a} V, \quad (63)$$

где V — количество раствора комплексона III, пошедшее на титрование, мл; a — навеска цемента, г.

Определение оксида алюминия (Al_2O_3). Метод основан на косвенном комплексометрическом определении алюминия. Влияние большинства мешающих катионов в сложных смесях устраняют добавлением избытка комплексона III, который титруют раствором соли цинка. При добавлении к этому раствору избытка фторида натрия алюминий вытесняется из комплексона и осаждается при кипячении в форме криолита. Комплексон III, выделившийся в количестве, эквивалентном содержа-

нию алюминия, вторично титруют раствором соли цинка при $\text{pH}=5,2\div 5,8$, создаваемом ацетатным буфером.

Установлено, что содержание в пробе до 61,5% CaO не мешает определению алюминия, так как при $\text{pH}=5,2\div 5,8$ кальций не связывается комплексоном III. В этом случае на полноту выделения алюминия из комплексоната большое влияние оказывает прибавляемое количество фторида натрия, которое зависит от содержания не только алюминия, но и кальция. Кальций выделяется в осадок в форме Ca до выпадения криолита. При расчете содержания алюминия применяют эмпирический титр раствора соли цинка по оксиду алюминия.

Эмпирический титр раствора хлорида цинка равен теоретическому (1 мл 0,05 М раствора хлорида цинка соответствует 0,0026485 г оксида алюминия), умноженному на коэффициент 1,039. Таким образом, 1 мл 0,05 М раствора хлорида цинка соответствует 0,002648 г оксида алюминия.

Р е а к т и в ы

1. 0,05 М раствор хлорида цинка. Металлический цинк «без мышьяка» (3,269) растворяют в 28 мл соляной кислоты плотностью 1,12 г/см³ при нагревании и, добавляя воду, доводят объем раствора до 1 л.

2. Комплексон III, 0,05 М раствор.

3. Ацетатный буферный раствор $\text{pH}=5,2\div 5,8$, уксусно-кислый натрий (250 г) растворяют в воде, добавляют 20 мл ледяной уксусной кислоты и, доливая воду, доводят объем до 1 л.

4. 0,5%-ный водный раствор ксиленолового оранжевого.

Ход анализа. Раствор после титрования железа нейтрализуют по бумажке «конго» до бурого окрашивания, наливают из бюретки 15—20 мл (в зависимости от содержания в растворе Al_2O_3) 0,05 М раствора комплексона III, 20 мл ацетатного буферного раствора, нагревают до кипения и кипятят приблизительно 3 мин. В охлажденный раствор вводят две—три капли 0,5%-ного водного раствора ксиленолового оранжевого и титруют 0,05 М раствором хлорида цинка до перехода окраски раствора из желтой в оранжевую. Количество раствора цинка, пошедшее на связывание избытка комплексона III, в дальнейшем не учитывается. Затем к раствору добавляют 40 мл насыщенного раствора фторида натрия. Раствор снова кипятят 3 мин и оставляют до полного охлаждения. К охлажденному раствору добавляют еще одну—две капли ксиленолового оранжевого и освободившийся комплексон титруют 0,05 М раствором хлорида цинка до перехода желтой окраски в оранжевую. Израсходованное при этом количество раствора хлорида цинка соответствует количеству оксида алюминия.

Содержание оксида алюминия (в %) вычисляют по формуле

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = \frac{0,002648V}{a} 100, \quad (64)$$

где 0,002648 — титр (эмпирический) 0,05 М раствора хлорида цинка, выраженный в граммах оксида алюминия.

Определение оксида кальция. Комплексометрическое определение оксида кальция основано на способности его в условиях высокой щелочности ($\text{pH}=12\div 13$) титроваться комплексом III. В качестве металлоиндикатора применяют флуорексон (при $\text{pH}=13$) или в случае его отсутствия мурексид (при $\text{pH}=12$). Присутствие в пробе магния титрованию не мешает.

Реактивы

1. Едкое кали, 5 М раствор. Безводное едкое кали в количестве 280 г растворяют в воде, добавляют воду, доводя объем раствора до 1 л, и перемешивают.

2. Комплексон III, 0,05 М раствор. Титр раствора (в г/мл) комплексона по оксиду кальция (T_{CaO}) вычисляют по формуле

$$T_{\text{CaO}} = D_k 56,08 \frac{1}{1000} = D_k 0,05608,$$

где 56,08 — относительная молекулярная масса оксида кальция.

3. Индикатор малахитовый зеленый, 0,2%-ный спиртовой раствор.

4. Индикатор флуорексон (сухая смесь с хлоридом калия в отношении 1 : 100) или индикатор мурексид (сухая смесь с хлоридом калия в отношении 1 : 100).

Ход анализа. Из фильтрата после отделения гидроксидов отбирают пипеткой аликвотную часть 100 мл, переносят ее в коническую колбу вместимостью 500 мл, добавляют 100 мл дистиллированной воды и одну — две капли малахитового зеленого индикатора. Цвет раствора при этом становится светло-бирюзовым. Затем небольшими порциями при непрерывном перемешивании добавляют 5 М раствор едкого кали до обесцвечивания (10—12 мл), после чего добавляют избыток едкого калия в количестве 10 мл. К полученному сильно щелочному раствору с $\text{pH} \approx 13$ добавляют 30—50 мг флуорексона в виде сухой индикаторной смеси с хлоридом калия; раствор при этом приобретает желтоватый цвет с интенсивной зеленой флуоресценцией. Окрашенный таким образом раствор титруют 0,05 М раствором комплексона III до перехода его цвета в золотисто-оранжевый при резком уменьшении зеленой флуоресценции. Раствор готовят непосредственно перед титрованием пробы.

В случае отсутствия флуорексона можно титровать с индикатором мурексид в аналогичных условиях, но при $pH=12$. Цвет раствора меняется при этом от розового к аметистовому.

Содержание CaO (в %) вычисляют по формуле

$$CaO = \frac{T_{CaO} V_{500}}{100} 100, \quad (65)$$

где T_{CaO} — титр раствора комплексона III, выраженный в граммах оксида кальция на 1 мл; 500 — общий объем испытуемого раствора, мл; 100 (в знаменателе) — объем аликвотной части раствора, взятой для определения.

Определение оксида магния. Комплексометрическим методом магний определяют в щелочной среде в интервале pH от 8 до 11. В качестве металлоиндикатора при титровании применяют хромоген черный ЕТ-ОО (при $pH \approx 9$) или бериллон II ИРЕА (при $pH \approx 11$).

Так как в указанных условиях титруется также кальций, содержание магния вычисляют по разности после оттитрования кальция.

Реактивы

1. Раствор буферный с $pH \approx 11$. Хлорид аммония в количестве 20 г и 10 г едкого кали или 7 г едкого натра растворяют в дистиллированной воде, прибавляют 400 мл 25%-ного аммиака и разбавляют водой до объема 1 л.

2. Комплексон III, 0,05 М раствор.

Титр раствора (в г/мл) комплексона по оксиду магния (T_{MgO}) вычисляют по формуле

$$T_{MgO} = D_k 40,32 \frac{1}{1000} = D_k 0,04032,$$

где 40,32 — относительная молекулярная масса оксида магния.

3. Индикатор хромоген черный ЕТ-ОО (сухая смесь индикатора с хлоридом калия в отношении 1:100) или индикатор бериллон II ИРЕА (сухая смесь индикатора с хлоридом калия в отношении 1:100).

Ход анализа. От фильтрата после отделения гидроксида отбирают пипеткой аликвотную часть 100 мл в коническую колбу вместимостью 500 мл, прибавляют 100 мл дистиллированной воды, 10—12 мл буферного раствора и около 30 мл сухой индикаторной смеси. Подготовленный таким образом раствор титруют 0,05 М раствором комплексона III до перехода окраски при использовании хромогена черного ЕТ-ОО из сиреневой в чисто синюю, бериллона II ИРЕА — из синей в аметистовую.

Содержание MgO (в %) вычисляют по формуле

$$\text{MgO} = \frac{T_{\text{MgO}} (A - B) 500}{100} 100, \quad (66)$$

где T_{MgO} — титр раствора комплексона III, выраженный в граммах оксида магния на 1 мл; A — количество раствора комплексона III, пошедшее на титрование в аликвотной части 100 мл суммы кальция и магния, мл; B — количество раствора комплексона III, пошедшее на титрование кальция в 100 мл испытуемого раствора, мл.

Определение серного ангидрида SO_3

Реактивы

1. Кислота соляная, плотность 1,17.
2. Хлорид бария, 5%-ный раствор.

Ход анализа. От фильтрата после отделения гидроксидов отбирают пипеткой аликвотную часть 200 мл в стакан вместимостью 400 мл, нагревают до кипения, подкисляют соляной кислотой до перехода желтой окраски раствора в розовую (или осаднения полуторных оксидов — Al_2O_3 , Fe_2O_3 ; для этого пользуются индикатором метиловый красный, который в кислой среде имеет розовый цвет, в щелочной — желтый). В кипящий раствор доливают 20 мл кипящего раствора хлорида бария. Раствор с осадком кипятят в течение 10 мин, оставляют на 4—5 ч (можно и больше), затем фильтруют через плотный двойной фильтр (с белой лентой). Осадок на фильтре отмывают холодной дистиллированной водой до исчезновения реакции на ион хлора. Осадок вместе с фильтром переносят в предварительно прокаленный и взвешенный фарфоровый тигель, слегка подсушивают на плитке, озоляют и прокаливают в муфеле в течение 20—30 мин при температуре 800°C .

Тигель охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Прокаливание повторяют до получения постоянной массы.

Содержание SO_3 (в %) вычисляют по формуле

$$\text{SO}_3 = \frac{v 0,343 \cdot 500}{200a} 100, \quad (67)$$

где v — масса прокаленного осадка, г; a — навеска цемента, г; 0,343 — коэффициент пересчета сернокислого бария на серый ангидрид; 500 — общий объем раствора, мл; 200 — объем аликвотной части раствора, взятой для определения.

Определение суммы оксидов щелочных металлов. Определение суммы оксидов щелочных металлов — трудоемкая операция, ее выполнение требует особой тщательности.

Реактивы

1. 8-оксихинолин-орто, 1,5%-ный раствор. Оксихинолин-орто в количестве 1,5 г растворяют в 8—10 мл соляной кислоты (1:3), доливают водой до 100 мл.

2. Кислота серная, плотность 1,84 г/см³.

3. Кислота фтористоводородная (плавиковая), 40%-ный раствор.

4. Аммиак водный, 25%-ный раствор.

5. Аммоний щавелевокислый, 4%-ный раствор.

6. Кислота соляная, раствор 1:3.

Ход анализа. В платиновой чашке смачивают 0,5 г цемента несколькими каплями воды, добавляют 2 мл концентрированной серной кислоты и 10 мл плавиковой кислоты.

Содержимое чашки выпаривают досуха на водяной бане, затем переносят чашку на песочную баню и нагревают до исчезновения паров серного ангидрида. После этого переносят чашку в муфель и прокаливают при температуре 600 °С в течение 10 мин. Охлаждают чашку, обрабатывают содержимое 30—40 мл горячей воды, добавляют 4 мл 25%-ного аммиака, перемешивают и фильтруют через неплотный фильтр в стакан вместимостью 200 мл. Промывают осадок 12 раз небольшими порциями теплой воды, осадок отбрасывают. Фильтрат нагревают до кипения, добавляют 10 мл 4%-ного раствора щавелевокислого аммония. Отфильтровывают осадок через двойной плотный беззольный фильтр, промывают его несколько раз теплой водой. Осадок отбрасывают, фильтрат выпаривают до объема 10—15 мл.

Для охлаждения оставшихся в растворе алюминия и магния добавляют 2 мл 25%-ного аммиака и 5—7 мл 1,5%-ного раствора оксихинолина до появления желтого окрашивания раствора над осадком. Охлаждают раствор и фильтруют через плотный фильтр в фарфоровую чашку. Осадок промывают 6—7 раз теплой водой, фильтрат выпаривают досуха и прокаливают при температуре 600 °С для удаления аммонийных солей.

Полученный осадок в фарфоровой чашке растворяют горячей водой и фильтруют во взвешенную платиновую чашку, промывают 7—8 раз водой и добавляют в фильтрат две-три капли концентрированной серной кислоты.

Содержимое чашки выпаривают на водяной бане досуха, переносят чашку на песочную баню и выпаривают до исчезновения паров серного ангидрида. Затем переносят чашку в муфель, прокаливают 10 мин при температуре 750—800 °С и взвешивают.

Полученные сульфаты щелочных металлов растворяют в небольшом количестве холодной воды. Если остается нерастворимый осадок, его отфильтровывают и промывают теплой водой.

Фильтр с осадком переносят в чашку, в которой выпаривали щелочи, озоляют фильтр, прокаливают остаток при температуре 750—800 °С и взвешивают.

Содержание суммы оксидов щелочных металлов $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (в %) вычисляют по формуле

$$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = \frac{(v_1 - v_2) 0,488}{a} 100, \quad (68)$$

где v_1 — масса чашки с сульфатами щелочи, г; v_2 — масса чашки с нерастворимым остатком, г; a — навеска цемента, г; 0,488 — коэффициент пересчета сульфатов калия и натрия на оксид.

Контрольные вопросы

1. Из каких основных минералов состоит клинкер?
2. Укажите буквенное обозначение основных клинкерных минералов.
3. В чем состоит процесс производства цемента?
4. Каковы свойства сухого цементного порошка?
5. Что относят к активным минеральным добавкам?

Глава VI

СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА И КАМНЯ

Свойства цементного раствора зависят от многочисленных факторов, основными из которых являются химико-минералогический состав, качество и количество наполнителей, водоцементное отношение, количество и природа химических наполнителей, режим перемешивания, температура, давление и др.

Существенное влияние на свойства раствора и камня, приготовленных из тампонажного раствора, оказывает подготовка цемента. Чтобы свойства всей партии цемента можно было характеризовать свойствами отобранной пробы, необходимо правильно ее отбирать. Перед испытанием каждую пробу следует просеивать сквозь сито с сеткой № 09 (размер ячейки в свету $0,9 \times 0,9$ мм).

От свойств цементного раствора и подобранной рецептуры зависит весь процесс цементирования скважины и в значительной степени — качество разобщения пластов. Качество крепления скважин при прочих равных обстоятельствах определяется свойствами цементного раствора и камня: седиментационной устойчивостью раствора, его водоотдачей, подвижностью (рас-

текаемостью), изменением прочности структуры во времени, сроками схватывания, временем загустевания и плотностью цементного раствора, а также механической прочностью цементного камня, его проницаемостью и объемными изменениями.

Свойства цементных растворов и камня могут быть изменены введением в них наполнителей и активных добавок и обработкой их химическими реагентами.

СЕДИМЕНТАЦИОННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ

В течение первых минут (иногда часов) в цементном растворе цементные зерна остаются разрозненными и происходит водоотделение: цементная масса сдвигается вниз, вода поднимается вверх. Практически крупные и мелкие цементные зерна падают с одинаковой скоростью. Вода, проходя через опускающуюся цементную массу, остается почти свободной от мелких частиц.

Распределение воды в осевшей цементной массе не везде одинаково. В нижней части сосуда, в который налит цементный раствор, количество воды в цементной массе будет меньше, чем в верхней части сосуда. Масса цементного раствора по высоте при этом неоднородна.

Максимальное количество воды, способное выделиться из цементного раствора в результате седиментации частиц цемента, называется водоотделением цементного раствора. Оно зависит от природы цемента, его химической обработки, водоцементного отношения и дисперсности порошка.

Водоотделение приводит к образованию водяных поясов, изменению свойств цементного раствора и камня в затрубном пространстве скважины.

Понижение водоотделения цементного раствора может быть обеспечено введением в него материалов — структурообразователей (бентонита, некоторых химических реагентов), повышением удельной поверхности цемента и снижением водоцементного отношения.

ВОДООТДАЧА ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА

Процесс водоотделения цементного раствора при действии на него перепада давления принято называть водоотдачей (фильтрацией). Скорость ее в значительной мере зависит от принятого водоцементного отношения; она обратно пропорциональна квадрату удельной поверхности, тонкости помола и количеству наполнителя. Скорость водоотдачи обратно пропорциональна вязкости жидкой фазы цементного раствора.

Для цементирования скважин лучшими тампонажными рас-

творами следует считать растворы, водоотдача которых близка к нулевой. В этом случае предупреждаются многие возможные осложнения и предотвращается вероятность загрязнения призабойной зоны продуктивного пласта фильтратом раствора.

При постоянной температуре и повышении перепада давления до 5 МПа водоотдача цементного раствора увеличивается. Температура влияет на скорость водоотдачи, изменяя вязкость воды и скорость гидратации. Поэтому начальная скорость водоотдачи должна увеличиваться с повышением температуры, затем она снижается в результате роста скорости гидратации цемента. С повышением температуры от 20 до 250 °С скорость водоотдачи растворов из большинства тампонажных портланд-цементов обычно увеличивается.

Водоотдача цементного раствора существенно зависит от перепада давления и абсолютного давления над фильтрами и под ними. При отсутствии противодействия, т. е. когда под фильтром давление равно атмосферному, водоотдача остается почти неизменной для перепадов 10, 15, 20 и 25 МПа. Скорость водоотдачи увеличивается с ростом перепада давления и абсолютного давления, а при перепадах 30—40 МПа процесс водоотдачи заканчивается ориентировочно в течение 1—2 мин.

Наиболее эффективным методом понижения водоотдачи цементных растворов является метод одновременного введения в них глины и химических реагентов.

В табл. 22 приведены данные по водоотдаче цементных растворов (при введении в них глины), определенной на стандартном приборе ВМ-6. Добавка глины способствует снижению водоотдачи цементных растворов. Лучшие результаты получены при совместном введении в цементные растворы глины и гипана (табл. 23). Могут быть другие рецепты. Практически с помощью указанных добавок могут быть получены тампонажные растворы с весьма незначительной водоотдачей.

Технология приготовления тампонажных растворов с пониженной водоотдачей заключается в равномерном перемешивании цемента и глины с последующим затворением смеси водой с предварительно растворенными в ней гипаном в установленном лабораторией количестве.

Оптимальная дозировка гипана или КМЦ 1,0—1,5%; дальнейшее повышение количества реагентов приводит к незначительному снижению водоотдачи. Оптимальное количество глины 7—20%; добавка глины оказывает существенное влияние на скорость водоотдачи, меньшее — на ее абсолютную величину. Вместе со снижением водоотдачи цементных растворов вводимые реагенты, как правило, замедляют сроки охватывания тампонажных растворов. Если температура в скважинах не достаточно высока, тампонажные растворы необходимо обрабатывать ускорителями сроков схватывания.

Водоотдача цементного раствора с добавками глины

Цементный раствор		Цементный раствор+глина, %											
Время, мин	Водоотдача, см ³	4		6		8		10		20		30	
		Время, мин	Водоотдача, см ³	Время, мин	Водоотдача, см ³	Время, мин	Водоотдача, см ³	Время, мин	Водоотдача, см ³	Время, мин	Водоотдача, см ³	Время, мин	Водоотдача, см ³
0,5	31	—	—	0,5	17	0,5	12	0,5	10	0,5	11	0,5	12
0,7	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	1	27	1	26	1	18	1	19	1	17	1	16
—	—	2	39	2	30	2	27	2	25	2	28	2	30
—	—	—	—	2,5	39	3	36	3	36	3	34	3	35
—	—	—	—	—	—	3,5	40	3,5	38	3,5	39	3,5	40
—	—	—	—	—	—	—	—	4	40	3,7	40	—	—

ЗАГУСТЕВАНИЕ ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА

Загустевание цементных растворов и время его наступления зависят от ряда факторов: природа цемента оказывает весьма существенное влияние, некоторое повышение в клинкере трехкальциевого алюмината способствует резкому ускорению загустевания цементного раствора, увеличение тонкости помола цемента также приводит к ускорению загустевания раствора, а увеличение водоцементного отношения — к замедлению загустевания.

Большое влияние на загустевание цементных растворов оказывают температура, давление и колебания давлений. С ростом температуры время загустевания уменьшается и при температурах около 100 °С оно составляет примерно 15—30 мин (для растворов из тампонажного портландцемента).

Увеличение времени загустевания тампонажных растворов может быть достигнуто использованием замедлителей процессов структурообразования, качество и количество которых следует подбирать с учетом конкретных условий скважины. К числу замедлителей могут быть отнесены ССБ, КМЦ, гипан, ВКК, хромпик, Л-6 и др.

Чем выше давление, тем короче время загустевания цементных растворов. Давление около 100 МПа влияет весьма резко — загустевание даже химически обработанных растворов наступает быстро. В данном случае необходимо переходить на применение принципиально новых цементов (цементов на шлаковой основе и др.).

Водоотдача цементно-глинистого раствора с добавкой гипана

Цементный раствор		Цементный раствор+25% глины+гипан, %									
Время, мин	Водоотдача, см ³	0,5		1,0		1,5		1,8		2,0	
		Время, мин	Водоотдача, см ³	Время, мин	Водоотдача, см ³	Время, мин	Водоотдача, см ³	Время, мин	Водоотдача, см ³	Время, мин	Водоотдача, см ³
0,5	15	0,5	6	0,5	3	0,5	3	0,5	2	0,5	2
1	20	1	9	1	5	1	5	1	3	1	3
3	30	3	20	3	7	3	7	3	5	3	2
—	—	10	26	20	13	10	11	10	7	10	4
—	—	20	41	20	17	20	14	20	7	20	5
—	—	—	—	30	17	30	15	30	8	30	6

Резкое многократное понижение давления, которое испытывает цементный раствор, первоначально находящийся при высоких температурах и давлении, ускоряет загустевание этого раствора.

СРОКИ СХВАТЫВАНИЯ ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА

Возможность применения тампонажных растворов в отечественной практике весьма часто определяют по срокам схватывания. Эти сроки зависят от химико-минералогического состава цемента, его удельной поверхности, водоцементного отношения, химических реагентов, введенных в раствор, температуры, давления и других факторов.

При прочих равных условиях с повышением удельной поверхности цемента и уменьшением водоцементного отношения сроки схватывания цементного раствора ускоряются.

В СССР изучение изменения физико-химических свойств цементных растворов и камня при повышенных температурах и давлениях начато раньше, чем за рубежом. Было установлено, что на ускорение сроков схватывания цементных растворов температура оказывает более существенное влияние, чем давление. Еще большее влияние оказывает совместное воздействие температур и давлений.

На рис. 56 показано изменение сроков схватывания от воздействия температуры (давление поддерживалось равным 5 МПа во избежание парообразования в автоклаве). Изучение изменения кривой показывает, что уже при температурах, близких к 100 °С, в растворы необходимо вводить замедлитель сроков схватывания, так как они имеют явно недостаточное время

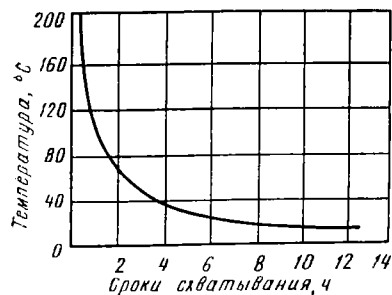


Рис. 56. График изменения времени начала схватывания цементных растворов при различных температурах

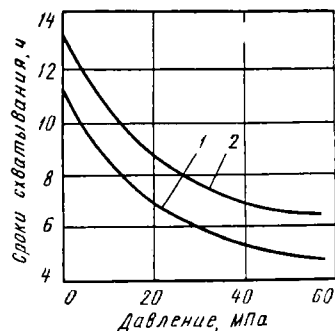


Рис. 57. График влияния давления на сроки схватывания цементных растворов:
1 — начало схватывания; 2 — конец схватывания

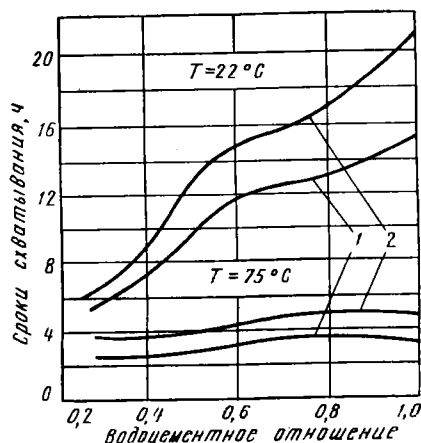
схватывания для осуществления процесса цементирования глубокой высокотемпературной скважины.

Воздействие одного давления также способствует сокращению сроков схватывания цементных растворов (рис. 57). При повышении давления от атмосферного до 50—60 МПа сроки схватывания цементных растворов сокращаются почти вдвое. Исследования последних лет показывают, что эти сроки весьма резко сокращаются, если давления превышают 130—150 МПа. С ростом температуры эффект ускорения от давления остается весьма заметным.

В практике цементирования при подборе рецептуры цементных растворов в лабораторных условиях нельзя не учитывать давление; сроки схватывания цементных растворов необходимо определять при совместном воздействии температуры и давления. С увеличением сроков хранения цемента сроки схватывания замедляются, вязкость повышается. Наличие в атмосфере влаги, углекислоты и т. д. способствует снижению активности цемента, удлиняет сроки схватывания. Однако указанное замедление сроков схватывания цементных растворов нельзя рассматривать как способ для применения в глубоких высокотемпературных скважинах.

Изменение сроков схватывания цементных растворов при переменном водоцементном отношении под действием различных температур представлено на рис. 58. При низких температурах, как отмечалось, повышение водоцементного отношения способствует увеличению сроков схватывания цементных растворов, но уже при температурах, несколько больших 100 °С, замедление процессов схватывания растворов практически не обеспечивается повышением водоцементного отношения до 1.

Рис. 58. График влияния водоцементного отношения на сроки схватывания цементных растворов:
1 — начало схватывания; 2 — конец схватывания



ПЛОТНОСТЬ ТАМПОНАЖНОГО РАСТВОРА

Важной характеристикой тампонажного раствора является его плотность. Это практически единственный показатель качества тампонажного раствора при его приготовлении и транспортировании в скважину. Колебания плотности цементного раствора, связанные с изменением водоцементного отношения для одного и того же состава, говорят об изменениях других его свойств — прокачиваемости, загустевании, прочности камня и т. д. Поэтому контроль за колебаниями плотности тампонажных растворов должен быть строгим, эти колебания не должны превышать установленной величины. Часто колебания плотности недопустимы по технологическим соображениям.

Плотность цементного раствора определяется в основном водоцементным отношением. Если к цементному раствору не предъявляется особых требований, то согласно требованиям ГОСТ 1581—85 водоцементное отношение составляет 0,5. При этом расчетная плотность портландцементного раствора равна 1,83 г/см³; практически она несколько колеблется (1,81—1,85 г/см³). Колебания объясняются внесением в цементный раствор воздуха, а также непостоянством плотности цемента.

На изменения значений плотности цементного раствора оказывают влияние вводимые химические реагенты. Наиболее существенно влияние реагентов типа лигносульфонатов (ССБ, СДБ), которые в количестве более 0,4% способствуют образованию пены. При приготовлении раствора вовлекается воздух, однако когда раствор попадает в среду гидродавления, пузырьки воздуха сжимаются. Масса единицы объема раствора возрастает, что при определенных геологических условиях проводки скважины может привести к осложнениям.

К такому же результату приходим при использовании в глубоких скважинах для снижения плотности тампонажных растворов воздуходержащих наполнителей — перлита, керамзита и других, если поры их открыты или прочность гранул мала.

Считается, что вытеснение бурового раствора из заколонного пространства скважины цементным зависит от разницы их плотностей, однако пока не представляется возможным установить точные границы изменения указанной разницы.

СМЕШЕНИЕ БУРОВЫХ И ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ

При смешении тампонажных растворов с буровыми часто образуются густые пасты, эффективная вязкость которых в десятки и сотни раз больше вязкости исходных компонентов. Загустевание растворов при их смешении приводит к увеличению давлений при цементировании скважин, а в отдельных случаях — к осложнениям.

Сгущение при смешении буровых и цементных растворов не всегда одинаково и опасно. Оно определяется составом твердой фазы растворов и их химической обработкой. В некоторых случаях смешение растворов не приводит к образованию загустевшей массы. Отсюда следует, что если необходимо применять и выбирать буферные жидкости для разделения буровых и цементных растворов, то следует принимать во внимание свойства этих растворов и их способность загустевать при смешении.

При смешении тампонажных и буровых растворов наблюдаются следующие общие для всех составов явления.

1. При перемешивании или движении по трубам сгустившихся смесей тампонажных и буровых растворов наблюдается их постоянное разжижение, скорость которого зависит от состава и химической обработки компонентов смеси. Наименьшая скорость разжижения наблюдается при обработке цементного и бурового растворов гипаном и КМЦ.

2. Шлаковые растворы вызывают значительно меньшее, чем портландцементные, сгущение промывочных растворов. Сгустившиеся смеси, содержащие шлак, разжижаются быстрее, чем смеси, содержащие портландцемент.

3. Добавка к цементам и шлакам песка, утяжеляющих и облегчающих добавок и т. д. несколько уменьшает сгущение. Например, при добавке к цементу 10—50% глины или утяжелителей с доведением водоцементного отношения до необходимой величины (растекаемость 20—22 см) растекаемость смесей по конусу АзНИИ увеличивается на 10—30%. Аналогичное влияние оказывает и добавка утяжелителей или иных неглинистых материалов.

4. Добавка к буровым растворам графита практически не влияет на сгущение при их смешении, а добавка сульфонола и нефти его уменьшает.

5. Как правило, буровые растворы подвергаются сложной химической обработке, и учесть и исследовать все возможные комбинации реагентов практически невозможно.

Для выяснения склонности к сгущению при смешении с тампонажными растворами необходимо принимать во внимание, что если буровой раствор наряду с другими реагентами обработан гипаном, то свойства этого раствора будут определяться в основном наличием гипана. Если раствор не содержит гипана, но обработан КМЦ, то склонность его к загустеванию будет определяться КМЦ. Если раствор обрабатывался УЩР и лигносульфонатами, то свойство раствора будет определять УЩР. Хромпик существенного влияния на загустевание при смешении растворов не оказывает.

При использовании нефтеэмульсионных, нефтебитумных растворов или растворов на нефтяной основе, в состав стабилизаторов которых не входит гипан или КМЦ, сгущения промывочной жидкости и цементного раствора не наблюдается. Обработка же раствора на нефтяной основе гипаном или КМЦ приводит к его загустеванию при смешении с цементным. Если промывочная жидкость обработана несколькими реагентами, то последние по влиянию на эффект загустевания располагаются в ряд: гипан > КМЦ > УЩР > лигносульфонаты. Однако влияние реагентов на свойства буровых растворов зависит не только от вида, но и от количества реагента, добавленного в раствор. В некоторых случаях, если, например, количество добавленного в раствор УЩР в несколько десятков раз превышает добавку гипана или КМЦ, последние не влияют на загустевание при смешении.

КОНТРАКЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ ПРИ ГИДРАТАЦИИ ЦЕМЕНТА И ТВЕРДЕНИИ РАСТВОРА

Важным свойством цементного раствора является контракция, под которой понимается сокращение суммарного объема цемента и воды в процессе реакций гидратации. Различают физическую и химическую контракции. При твердении тампонажных растворов отмечаются оба вида контракции, однако эффект объясняется в основном химическими процессами.

Общий объем системы цемент — вода при твердении гидравлических вяжущих уменьшается (по В. В. Некрасову) в основном вследствие различных плотностей исходных и конечных продуктов. Это обуславливается перестройкой кристаллических решеток исходных минералов клинкера при их гидратации из атомных в молекулярные. В связи с этим новый термин «стя-

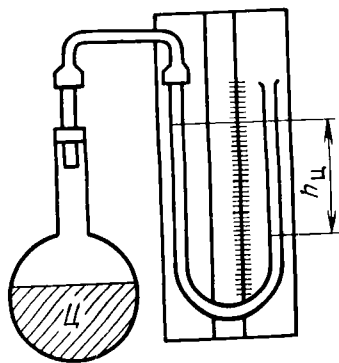


Рис. 59. Схема прибора для определения контракционного эффекта цементного раствора

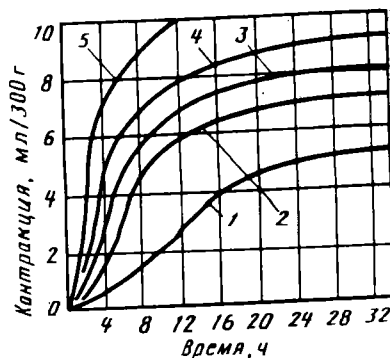


Рис. 60. График поглощения воды цементным раствором и камнем в процессе твердения при температуре, °С:
1 — $t=22$; 2 — $t=50$; 3 — $t=80$; 4 — $t=100$;
5 — $t=125$

жение», данный этому явлению С. Д. Огороковым, глубже вскрывает его сущность, в то время как термин «контракция» соответствует внешнему проявлению процесса.

Внешне контракция проявляется в поглощении воды (или газа), находящейся в контакте с твердеющим цементным раствором. Так, если над помещенным в сосуд свежеприготовленным цементным раствором наливать воду, то по мере твердения раствора вода будет поглощаться; с повышением температуры окружающей среды скорость поглощения воды возрастет. При полной гидратации цементных зерен поглощение воды прекращается. При полной гидратации портландцементов количество поглощенной воды (т. е. контракция) составляет 7—9 мл на 100 г цемента. У высокоактивных цемента при соединении с водой (50%) через 28 сут твердения при обычных условиях контракция достигает 50—60% предельной и в дальнейшем ее проявление сильно замедляется. Малоактивные (низких марок) цементы к этому сроку имеют контракцию, соответствующую 30—40% предельной.

Если тампонажный раствор твердеет в герметизированном сосуде, то в нем отмечается разрежение, т. е. давление в сосуде падает, что может быть обнаружено на простом опыте, схема которого представлена на рис. 59. Прибор состоит из колбы, залитой цементным раствором, и ртутного или водяного манометра.

На рис. 60 приведены кривые, характеризующие поглощение воды цементным раствором при различных температурах.

При твердении цементных растворов находящиеся с ними в соприкосновении буровые (глинистые) растворы обезвоживаются, становятся трещиноватыми, пористыми. Явление контрак-

ции имеет весьма важное значение для формирования цементного кольца в заколонном пространстве и объяснения возникновения каналов в нем (в фильтрационной корке, оставшемся буровом растворе, теле цементного камня).

МЕХАНИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ТАМПОНАЖНОГО КАМНЯ

Механическая прочность тампонажного камня зависит от ряда факторов, основными из которых являются химико-минералогический состав цемента, водоцементное отношение, удельная поверхность цемента, наличие наполнителей и химических добавок и условия твердения (в основном температура). Зависимость механической прочности камня и портландцемента от его химико-минералогического состава начинает заметно проявляться при длительных сроках твердения. Этот же фактор является определяющим в формировании гелевой и кристаллической фаз в цементном камне и их соотношении. В начальные сроки твердения рост прочности цементного камня обеспечивается алитом. Прочность в большой степени определяется скоростью и глубиной гидратации камня. В более поздние сроки прочность цементного камня больше зависит от белитовой составляющей цемента.

Механическая прочность тампонажного камня быстрее нарастает при использовании высокой удельной поверхности. В этом случае ускоряются реакции гидролиза и гидратации. Однако беспрестанно увеличивать удельную поверхность цементного порошка нельзя, так как это требует увеличения количества воды для затворения и повышает стоимость цемента. Для работы при высоких температурах и давлениях предпочтительно иметь портландцементы не высокой удельной поверхности, а определенного гранулометрического (зернового) состава. Удельная поверхность тампонажных портландцементов находится в пределах 2000—4000 см²/г.

Ускорители сроков схватывания цементных растворов в большинстве случаев способствуют повышению начальной механической прочности, однако с увеличением срока твердения прочность цементного камня обычно снижается несколько раньше, чем у необработанных образцов. Замедлители сроков схватывания снижают прочность цементного камня в начальные сроки твердения.

В зависимости от условий твердения добавки могут оказывать положительное и отрицательное влияние на механическую прочность портландцементного камня.

При обычных условиях наполнители (содержащие 80—95% кремнезема, кварцевый песок, опоку и др.) не способствуют увеличению начальной прочности цементного камня; с увеличением возраста прочность повышается. При температурах выше 110—

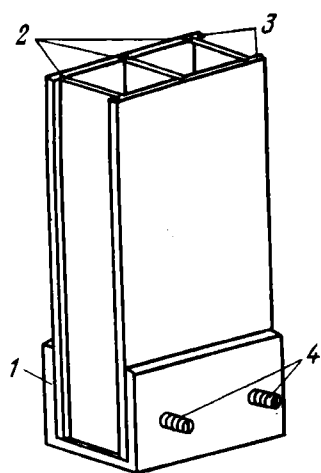


Рис. 61. Форма для твердения цементного раствора в автоклавах при высоких температурах и давлениях:

1 — боковая пластина; 2 — щека; 3 — струбина; 4 — крепежный болт

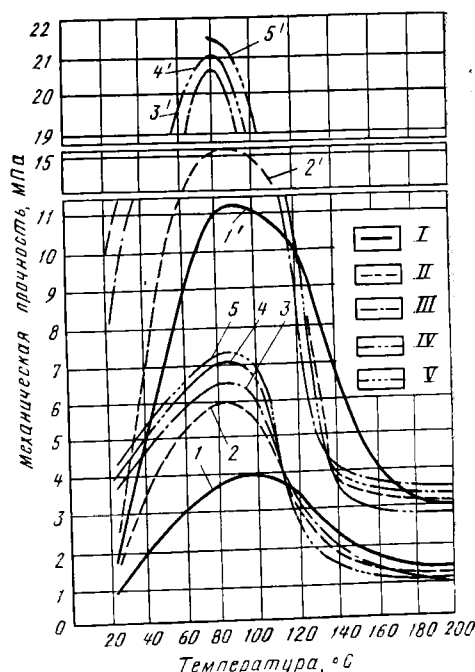


Рис. 62. График изменения механической прочности цементного камня от воздействия температуры.

Время твердения, ч: I — 12; II — 24, III — 48, IV — 96, V — 168; пределы прочности: 1—5 — на изгиб, 1'—5' — на сжатие

120 °C указанные наполнители становятся активными материалами и повышают механическую прочность цементного камня.

Глинистые материалы и смеси их с водой практически во всех случаях способствуют снижению механической прочности цементного камня. Исключение составляют случаи введения в цементный раствор (или цемент) небольших количеств порошкообразной глины, которая уменьшает водоцементное отношение.

Методика испытаний. Испытание цементных образцов при температурах 22 и 75 °C проводят согласно ГОСТ 1581—85. При повышенных температурах и давлениях методика испытаний несколько отличается от стандартной. В данном случае цементный раствор заливают в смазанные машинным маслом сборные формы (рис. 61), которые устанавливают в автоклав. Цемент затворяют сразу с необходимым количеством воды. После герметизации автоклава скорость подъема температуры должна составлять 2—5 °C/мин. После 48 ± 2 ч выдержки образцов разбирают автоклав и извлекают образцы.

Определенное влияние на физико-механические свойства цементного камня оказывает режим охлаждения автоклава. Автоклав и цементные образцы после их извлечения следует охлаждать в течение 1 ч.

Влияние температуры и давления на механическую прочность цементного камня. Температура (рис. 62) и давление оказывают весьма существенное влияние на прочность камня из тампонажного портландцемента. При температуре 22 °С прочность цементного камня с увеличением сроков твердения возрастает, причем давление оказывает существенное влияние: с его увеличением прочность образцов повышается.

При температуре 75 °С с увеличением срока твердения прочность камня также возрастает, однако уже к третьим — четвертым суткам наступает ее стабилизация, а через 1—2 мес твердения начинается ее снижение. Давление вносит некоторое изменение: ранняя прочность повышается, более поздняя остается практически без изменения.

При температуре 110 °С механическая прочность цементного камня с увеличением срока твердения возрастает, но темп роста и абсолютные значения прочности понижены. Давление практически не оказывает влияния на изменение механической прочности портландцементного камня.

При температурах 140 и 200 °С механическая прочность портландцементного камня невысока, и наблюдается тенденция к ее снижению с увеличением срока твердения. Давление либо не оказывает существенного снижающего прочность влияния, либо явно способствует ее падению.

ПРОНИЦАЕМОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Проницаемость цементного камня — одна из основных его характеристик. Она зависит от ряда факторов, среди которых наиболее важными являются природа цемента и наполнителей, водоцементное отношение, условия (температура, давление) и сроки твердения. Серьезное влияние оказывает химический состав вод, контактирующих с твердеющим и затвердевшим цементным раствором.

На рис. 63—65 показано изменение проницаемости цементного камня, твердеющего при различных условиях и в различные сроки. При температуре 22 °С проницаемость с увеличением сроков твердения уменьшается, при температуре 75 °С проницаемость мала и изменяется в небольших пределах. При температуре 110 °С и давлении 30 МПа темп изменения проницаемости более замедлен, проницаемость составляет $(1,5 \div 2,5) \times 10^{-3}$ мкм². При более высоких температурах проницаемость портландцементного камня резко возрастает.

На практике водоцементное отношение растворов может изменяться в широких пределах, а оно оказывает значительное

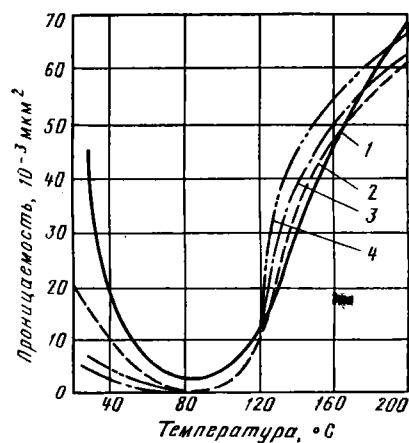


Рис. 63. График влияния температуры на проницаемость цементного камня.

Время твердения образцов, ч: 1 — 12; 2 — 24; 3 — 48; 4 — 96

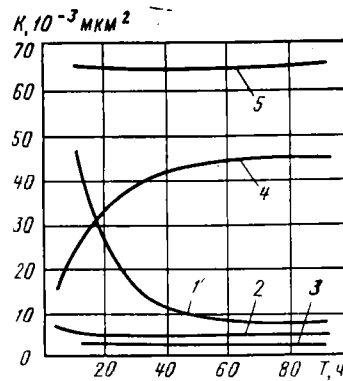


Рис. 64. График влияния сроков твердения на проницаемость цементного камня при различных температурах и давлениях:

1 — $t=20^\circ\text{C}$; 2 — $t=75^\circ\text{C}$; 3 — $t=110^\circ\text{C}$, $p=30$ МПа; 4 — $t=140^\circ\text{C}$, $p=40$ МПа; 5 — $t=200^\circ\text{C}$, $p=50$ МПа

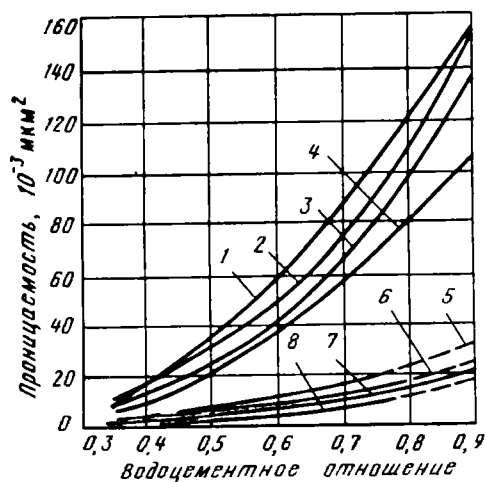


Рис. 65. График изменения проницаемости цементного камня от водоцементного отношения.

Кривая	1	2	3	4	5	6	7	8
Время, сут	2	7	7	2	7	2	2	2
Температура, °C	170	170	150	150	130	22	130	75
Давление, МПа	40				0,1			

влияние на изменение проницаемости цементного камня. С его повышением увеличиваются объем и количество капиллярных пор; в ходе гидратации они заполняются гелевой составляющей, имеющей незначительную проницаемость. Кривые, представленные на рис. 65, показывают, что через 2 сут твердения при температуре 130 °С и давлении 40 МПа проницаемость цементного камня составляет несколько больше $2 \cdot 10^{-3}$ мкм², если водоцементное отношение раствора 0,5. С увеличением температуры до 150—170 °С проницаемость соответственно возрастает до $25,5 \cdot 10^{-3}$ и $32,3 \cdot 10^{-3}$ мкм². При водоцементном отношении 0,6—0,7 и температурах 150—170 °С проницаемость повышается до $(60—80) \cdot 10^{-3}$ мкм², что указывает на необходимость строгого контроля за изменением плотности. При более высоких температурах и значительных количествах воды в растворе (80—90 %) проницаемость камня достигает $(100—150) \cdot 10^{-3}$ мкм².

Наиболее эффективным средством снижения проницаемости поргладцементного камня при высоких температурах и давлениях является введение в растворы кварцевого песка.

СЦЕПЛЕНИЕ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ С МЕТАЛЛОМ ОБСАДНЫХ ТРУБ И ПОРОДАМИ

Сцепление твердеющего цементного камня с металлом обсадных труб и породами определяется многими факторами, среди которых главнейшими являются чистота соприкасаемых поверхностей, природа цемента, температура среды твердения, шероховатость соприкасающихся поверхностей и др. Если поверхность обсадных труб и породы покрыты буровым раствором, то сцепление труб с цементным раствором и камнем не может быть.

Природа сцепления металла с цементным камнем объясняется образованием интерметаллического слоя с определенной кристаллической решеткой. Этот слой принадлежит одновременно металлу и цементному камню. Прочность этого слоя зависит от сцепления цементного камня с металлом, его природы и других факторов. Немаловажное значение при этом имеют силы трения, возникающие при обжатии металла камнем. Применительно к условиям работы цементного кольца в скважине под сцеплением понимают одновременное действие сил, удерживающих стержень кольцом из цементного камня.

Типичная диаграмма при выдавливании металлического стержня из цементного камня, находящегося в обойме, представлена на рис. 66 в координатах $Q—Z$ (нагрузка — перемещение стержня). Нагрузка на стержень вначале возрастает до максимума без перемещения стержня, затем после нарушения связи цементного камня с металлом она падает до некоторой величины и остается приблизительно постоянной до момента выхода стержня из цементного камня на большую величину.

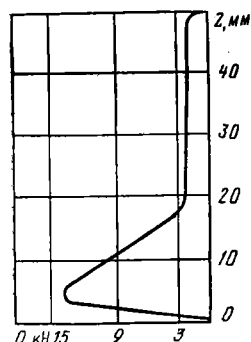


Рис. 66. Диаграмма $Q-Z$ при выдавливании металлического стержня из цементного камня, находящегося в обойме

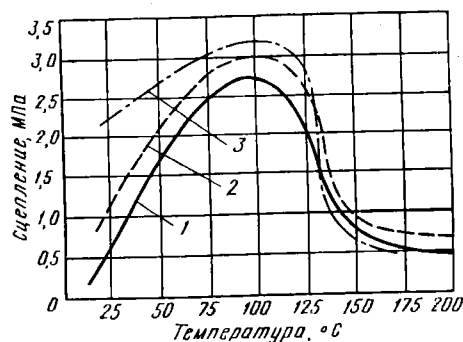


Рис. 67. График изменения сцепления цементного камня со стальным стержнем при различных температурах.
Время твердения образцов, ч: 1 — 12; 2 — 24; 3 — 96

При температуре 22°C и атмосферном давлении сцепление твердеющего цементного камня со стальным стержнем интенсивно возрастает (рис. 67) в течение продолжительного срока. При температуре 75°C значительный рост сцепления наблюдается в первые 12 ч с тенденцией к стабилизации к 7 сут. С увеличением температуры до 110°C и давления до 40 МПа сцепление цементного камня с металлическим (стальным) стержнем практически постоянно. С повышением температуры до 140 и 200°C при постоянном давлении сцепление снижается, оставаясь постоянным.

При покрытии поверхности стального стержня как обработанным, так и необработанным буровым раствором сцепление во всех случаях снижается до нуля. Высокие температуры и давления не способствуют возрастанию сцепления твердеющего цементного раствора со стальным стержнем, покрытым буровым раствором.

Сцепление цементного камня со стержнем, имеющим местные утолщения, определяется нагрузкой, передаваемой площадью утолщения части стержня камню.

При обеспечении контакта цементного раствора (камня) с породами сцепление зависит от минералогического состава цемента и пород (в особенности от наличия глинистого материала) и условий твердения (температура и давление), а также состояния поверхности породы и степени насыщения ее водой.

В реальных условиях стенки скважины покрыты фильтрационной коркой и буровым раствором. Очистка стенок скважины для обеспечения протекания физико-химических процессов на контактируемых поверхностях породы и цементного камня в условиях скважины пока невозможно.

Элементарные расчеты показывают, что 10 м цементного камня-кольца со сцеплением 0,01—0,02 МПа могут свободно удерживать 3000 м 168-мм обсадной колонны (масса 1 м труб равна 50 кг) даже при отсутствии муфт, наличии выступов на колонне и обеспечении ее вертикальности. Практическим подтверждением сказанного являются прихваты заливочных труб при повторном цементировании, когда цементный раствор в скважине только начинает схватываться и прочность его невелика.

ОБЪЕМНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТАМПОНАЖНЫХ ЦЕМЕНТОВ (РАСТВОРА И КАМНЯ)

Под действием различных факторов цементный камень может дать усадку или расширение. Различают несколько видов усадки. Физическая усадка вызывается в первую очередь испарением некоторого количества воды из твердеющего раствора и камня. Она зависит от удельной поверхности цемента, его минералогического состава, водоцементного отношения, наличия и физических свойств наполнителя, температуры и условий испарения. Усадка цементного камня не начинается, пока из него не удалена свободная вода.

Химическая усадка обусловлена тем, что гидраты, образующиеся при затворении портландцемента водой, занимают меньший объем, чем сумма объемов воды и безводных соединений. Ее можно уменьшить правильным подбором минералогического состава клинкера, введением наполнителей и т. д.

Термическая усадка вызывается постепенным охлаждением цементного камня при уменьшении скорости тепловыделения.

Твердение цементного камня в воздушных условиях часто приводит к уменьшению объема, усадке. Водная среда способствует расширению цементного камня, которое снижается с повышением содержания в смеси инертных наполнителей. Величина разбухания камня в воде меньше усадки на воздухе при прочих равных условиях. При благоприятных условиях еще до окончания схватывания цементного раствора его объем начинает увеличиваться. Расширение цементного камня при твердении длительное время объясняется расталкивающим действием образующихся продуктов гидратации.

Многолетние наблюдения за твердением цементного раствора и камня в автоклавах при высоких температурах и давлениях показывают, что извлечение образцов из форм, смазанных машинным маслом и находящихся в автоклавах, сопряжено с некоторыми трудностями, что указывает на расширение цементного камня.

Во время твердения цементного раствора и камня в герметически закрытых автоклавах наблюдается понижение давления

до 8—10% объема цементного образца, что дает основание предположить об усадке цементного камня. Однако основную роль при этом играет контракция цементного камня, в результате которой часть воды из автоклава поглощается образцом. Однако это не означает, что цементный камень уменьшает габаритные размеры, они могут при этом возрастать.

Лабораторная работа № 3

I. Седиментационная устойчивость цементного раствора может быть определена следующим образом.

В мерный цилиндр заливают свежеприготовленный цементный раствор на $\frac{3}{4}$ его высоты и оставляют в покое. Над цементным раствором появляется вода. Через каждые 5 мин измеряют высоту цементного раствора. Для ускорения проведения работ рекомендуется проводить опыты с растворами с повышенным водоцементным отношением.

II. Определение контракционного эффекта твердеющего цементного раствора.

В мерный цилиндр (который может быть заменен стеклянным стаканом с наклеенной на нем полоской миллиметровой бумаги) наливают на $\frac{2}{3}$ его высоты цементный раствор, а сверху на $\frac{1}{3}$ высоты цилиндра наливают воду. Цилиндр герметизируют во избежание испарения воды.

Через каждый час записывают деления, у которых располагается погнутая часть мениска. По данным результатов замеров строят кривую поглощения воды твердеющим цементным раствором-камнем.

Для ускорения процесса поглощения воды цилиндр с цементным раствором помещают в водяную баню или термостат и отмечают контракционный эффект цементного раствора-камня при некоторой температуре (обычно принимается 75 °С).

III. Определение водоотдачи цементного раствора.

Водоотдача цементного раствора может быть определена с помощью прибора ВМ-6. Этот прибор (рис. 68) предназначен для определения водоотдачи бурового раствора под давлением 0,1 МПа.

Для определения водоотдачи из напорного цилиндра извлекают плунжер, отвинчивают от цилиндра фильтрационный стакан и поддон, извлекают сетчатую пластину и клапан. На сетчатую пластину накладывают два листа смоченной фильтровальной бумаги, которую вкладывают в стакан бумагой внутрь. При этом в паз сетчатой пластины должен войти штифт в выточке стакана. Отвинчивают клапан поддона и навинчивают поддон. Стакан вставляют в прорезь (кольцо) кронштейна. Резьбу между поддоном и стаканом затягивают вручную. Завинчивают запорный клапан поддона.

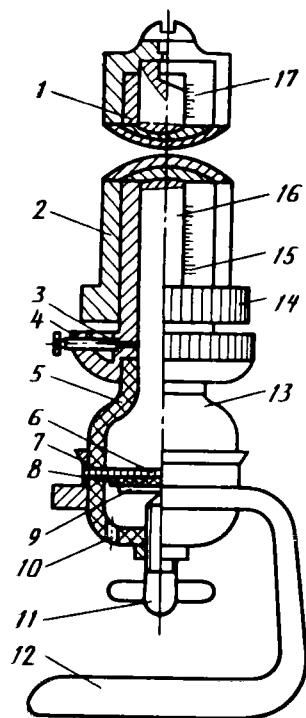


Рис. 68. Прибор ВМ-6:

1 — цилиндр; 2 — наружный цилиндр; 3 — запорная игла; 4 — поддон; 5 — фильтрационный стакан; 6 — фильтровальная бумага; 7 — сетчатая пластина; 8 — уплотнение; 9 — диск запорного клапана; 10 — отверстие для стока жидкости; 11 — винт запорного клапана; 12 — кронштейн; 13 — нижняя крышка фильтрационного стакана; 14 — грузовое кольцо; 15 — шкала; 16 — плунжер; 17 — отсчетная черта

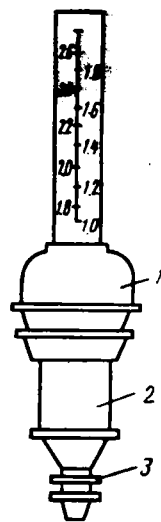


Рис. 69. Ареометр для определения плотности тампонажного раствора

Через горловину стакан заполняют цементным раствором, при этом уровень его не должен доходить до края горловины на 3—4 мм. На горловину навинчивают напорный цилиндр. В цилиндр по внутренней стенке наливают маловязкое машинное масло, которым заполняют цилиндр на 1 см ниже верхнего края втулки. Вставляют плунжер со шкалой. Отвинчиванием запорной иглы опускают плунжер до тех пор, пока нулевое деление шкалы не совпадет с риской на верхнем крае втулки цилиндра. Открывают клапан, повернув винт на пол-оборота, и включают секундомер. Чтобы исключить влияние трения, плунжер поворачивают. Через определенное время (обычно через 30 мин) отсчитывают водоотдачу по делению, против которого остановилась риска. Водоотдача цементного раствора без специальной обработки заканчивается обычно значительно раньше. Тогда говорят о предельной водоотдаче за определенное время.

Прибор разбирают, открывают спускную иглу, сливают масло, очищают от цементного раствора.

IV. Определение плотности цементного раствора.

Плотность цементного раствора при цементировании определяют ареометрами (рис. 69) АГ-1 и АГ-2. Ареометр АГ-1 предназначен для определения плотности растворов от 1 до 2,5 г/см³, АГ-2 — от 0,9 до 2,4 г/см³. Ареометр состоит из поплавка 1, в верхней части имеющего шкалу плотности, стакана 2 и съемного грузика 3. Прибор применяют с грузиком, если пользуются шкалой 1—1,8 г/см³; без грузика — при использовании шкалы 1,7—2,5 г/см³. Методика работ проста. В стакан 2 до краев наливают цементный раствор и вставляют стакан презями на штифты поплавка. Избыток раствора выходит через отверстия и смывается с поверхности стакана. Ареометр опускают в ведро с водой. На уровне воды считывают деление на шкале поплавка, что указывает на плотность налитого в стакан цементного раствора.

V. Определение сгущения буровых растворов при смешении с тампонажными.

Тампонажный цемент (или шлак) в количестве 600 г затворяют водой, обработанной химическими реагентами.

Смешивают 180 см³ бурового раствора с 20 см³ тампонажного раствора и перемешивают вручную до максимального сгущения, на что обычно требуется 1—3 мин. Растекаемость смеси определяют с помощью конуса АзНИИ.

Аналогично измеряют растекаемость смесей 100 см³ бурового раствора и 100 см³ тампонажного, 20 см³ бурового и 180 см³ тампонажного растворов. Исходная растекаемость бурового и тампонажного растворов должна быть не менее 20 см. По данным экспериментов строят кривую изменения растекаемости (в см) смеси растворов от их соотношения.

VI. Сроки схватывания тампонажных растворов и механическую прочность цементного камня определяют на основании методик, приведенных в настоящей главе.

Контрольные вопросы

1. Какие свойства цементного раствора Вам известны?
2. Какие свойства цементного камня Вам известны?

ГОСТ 1581—85 распространяется на тампонажный портландцемент, предназначенный для цементирования нефтяных и газовых скважин. ГОСТ состоит из нескольких самостоятельных разделов, в которых утверждаются определение, технические требования, правила приемки, методы испытаний, транспортирование и хранение цемента.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И СОСТАВ ЦЕМЕНТА

1. Тампонажный портландцемент изготовляют измельчением портландцементного клинкера, гипса и добавок, предусмотренных стандартом, или без добавок.

На основе тампонажного портландцемента изготовляют его разновидности: утяжеленный тампонажный портландцемент, обеспечивающий повышение плотности цементного теста; песчаный тампонажный портландцемент, обладающий повышенной коррозионной термостойкостью; солестойкий тампонажный портландцемент, отличающийся повышенной коррозионной стойкостью в соленосных пластах хлорида натрия (галита) и в среде пластовых вод с минерализацией до 400 г/л хлоридов солей комплексного состава; низкогигроскопичный тампонажный портландцемент, характеризующийся повышенной сохранностью при длительном хранении.

2. В зависимости от назначения выпускают тампонажный портландцемент двух видов: для «холодных» и «горячих» скважин.

Допускается ввод минеральных добавок к клинкеру при его измельчении:

для «холодных» скважин — активных минеральных добавок не более 15% от массы готового продукта или инертных добавок не более 10% в виде кварцевого песка или кристаллического известняка;

для «горячих» скважин — активных минеральных добавок только осадочного происхождения или гранулированного доменного шлака в количестве не более 15% либо кварцевого песка в количестве не более 10%.

Доменный гранулированный шлак должен удовлетворять требованиям ГОСТ 3476—74.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДОМЕННЫМ ГРАНУЛИРОВАННЫМ ШЛАКАМ КОКСОВОЙ ПЛАВКИ¹

Материалы, применяемые при производстве тампонажного портландцемента, должны удовлетворять требованиям, предусмотренным стандартами или техническими условиями на эти материалы.

Добавки, вводимые в тампонажные портландцементы и его разновидности:

гранулированный доменный или электротермофосфорный шлак по ГОСТ 3476—74;

активные минеральные добавки по ОСТ 21-9—74;

камень гипсовый по ГОСТ 4013—82;

известняк кристаллический;

кварцевый песок — содержание кремнекислоты (SiO_2) в кварцевом песке должно быть не менее 90%, содержание фракций менее 0,05 мм не должно быть более 3%;

утяжеляющие добавки — в качестве утяжеляющих добавок разрешается применение любых материалов плотностью не менее 3,5 г/см³;

триэтанолламин — должен удовлетворять техническим условиям на этот продукт.

Содержание добавок в зависимости от видов портландцемента должно быть:

а) в тампонажном портландцементе — доменного гранулированного или электротермофосфорного шлака не более 20%, либо активных минеральных добавок не более 12%, либо кварцевого песка или известняка не более 10%;

б) в утяжеленном тампонажном портландцементе — утяжеляющих добавок не более 70%;

в) в песчанистом тампонажном портландцементе — кварцевого песка не менее 20 и не более 50%;

г) в солестойком тампонажном портландцементе — гранулированного доменного или электротермофосфорного шлака не менее 35 и не более 50%, либо активных минеральных добавок не более 20%, либо кварцевого песка не менее 20 и не более 35%.

Солестойкий тампонажный портландцемент, кроме минеральных добавок, должен содержать натриевое жидкое стекло в количестве не менее 1,0 и не более 2,5% в пересчете на сухое вещество;

д) в низкогигроскопичном тампонажном портландцементе — триэтанолламина не менее 0,025 и не более 0,05% от массы цемента в пересчете на сухое вещество.

¹ Взято из ГОСТ 3476—74 «Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов».

Требования к гранулированным шлакам

Показатели	Основные шлаки			Кислые шлаки		
	1-й сорт	2-й сорт	3-й сорт	1-й сорт	2-й сорт	
					1-я группа	2-я группа
Модуль основности ($\% \text{CaO} + \% \text{MgO} / (\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3)$), не менее	1,0	1,0	1,0	0,9	0,7	0,6
Модуль активности ($\% \text{Al}_2\text{O}_3 / \% \text{SiO}_2$), не менее	0,25	0,20	0,12	0,40	0,30	0,50
Содержание закиси марганца (MnO), не более	0,2	4,0	3,0	2,0	4,0	2,0

В низкогигроскопичный тампонажный портландцемент допускается вводить минеральные добавки в той же дозировке, что и в тампонажный портландцемент.

В зависимости от химического состава доменные гранулированные шлаки подразделяются на два вида: основные и кислые. Основные шлаки подразделяются на три сорта — 1, 2 и 3-й, а кислые на два сорта — 1-й и 2-й. Кислые шлаки 2-го сорта делятся на две группы: 1-ю и 2-ю.

Доменные гранулированные шлаки по своему химическому составу должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 24.

Кислые шлаки 2-го сорта определяются по показателям одной из групп; шлаки обеих групп равноценны.

По соглашению между поставщиком и потребителем для основных шлаков 2-го и 3-го сортов допускается более низкий модуль основности, но не менее 0,95.

Влажность шлаков не нормируется, но указывается в паспорте. Шлаки, получаемые при выплавке разных видов чугуна (литейного, передельного и др.), не подлежат смешиванию при грануляции, хранении и отгрузке. Количество камневидных кусков шлака (не подвергшихся грануляции) в партии шлака не должно превышать более 5% по массе. Размер таких кусков не должен превышать 100 мм по наибольшему измерению.

Кварцевый песок должен удовлетворять требованиям ГОСТ 22551—77.

3. При производстве цемента для облегчения процесса помола клинкера допускается введение специальных добавок, не ухудшающих качества цемента, в количестве не более 1% от массы цемента.

Требования к прочности образцов

Вид цемента	Температура твердения, °С	Предел прочности при изгибе, 10 ⁻⁴ МПа, не менее
Для «холодных» скважин	22 ± 2	27
Для «горячих» скважин	75 ± 3	62

Таблица 26

Требования к срокам схватывания растворов

Вид цемента	Сроки схватывания после затворения	
	начало	конец
Для «холодных» скважин	Не ранее 2 ч	Не позднее 10 ч
Для «горячих» скважин	Не ранее 1 ч 45 мин	Не позднее 4 ч 30 мин

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТАМПОНАЖНОМУ ЦЕМЕНТУ

4. При испытании тампонажного цемента для определения его физико-механических свойств применяют цементное тесто, для приготовления которого берут 50% воды от массы цемента.

5. Предел прочности при изгибе образцов-балочек размером 40×40×160 мм, стандартно изготовленных из цементного теста, после твердения их в течение 2 сут должен соответствовать указанному в табл. 25.

6. Цементное тесто должно обладать такой растекаемостью, при которой расплав образцов в виде конуса из этого теста составляет не менее 180 мм.

7. Сроки схватывания тампонажных цемента должны соответствовать указанным в табл. 26.

8. Цемент при испытании образцов, приготовленных из теста нормальной густоты, должен показывать равномерность изменения объема при кипячении в воде.

9. Количество ангидрида серной кислоты (SO₃) в цементе не должно превышать 3,5%.

10. Количество оксида магния MgO в исходном клинкере должно быть не более 5%.

11. Тонкость помола цемента должна быть такой, чтобы при просеивании сквозь сито № 008 (размеры стороны ячейки в свету 0,08 мм) по ГОСТ 6613—86 проходило не менее 85% массы пробы.

Правила приемки

12. Размер партии цемента устанавливается в количестве 200 т. Поставка цемента в количестве менее 200 т не считается партией.

Примечание. При отправке цемента водным транспортом возможно увеличение партии до 300 т.

13. Завод-изготовитель одновременно с отправкой цемента обязан снабдить каждую партию цемента паспортом, в котором указываются: название завода-изготовителя; номер паспорта и партии; месяц и число отправки цемента; масса партии; наименование и адрес получателя; номер вагонов (номер судна) и накладных; название цемента; вид добавки и количество добавки в процентах (по средним суточным производственным данным); соответствие цемента требованиям пп. 6—11 настоящего стандарта; дата изготовления образцов и результаты их испытаний; номер настоящего стандарта.

14. Завод-изготовитель при отгрузке цемента и потребитель в случае необходимости проводят контрольную проверку соответствия цемента требованиям настоящего стандарта, применяя при этом приведенный ниже порядок отбора проб.

Для испытания цемента от каждой партии отбирают пробу массой не менее 10 кг. От каждых 400 мешков в партии отбирают один мешок, из которого отвешивают пробу 1 кг цемента.

Отобранные от партии цемента пробы тщательно перемешивают, квартуют и делят на две равные части. Одну из этих частей подвергают испытаниям по показателям, предусмотренным пп. 5—11 настоящего стандарта, другую часть нумеруют и хранят в сухом помещении в сухой, плотно закрытой таре в течение 1 мес на случай необходимости повторного испытания.

Примечание. При отправке цемента навалом в автомашинах порядок отбора проб устанавливается по соглашению между поставщиком и потребителем.

15. Тампонажный портландцемент должен быть забракован, если он не отвечает хотя бы одному из требований настоящего стандарта.

Этот цемент с согласия потребителя может быть использован как обычный портландцемент.

Методы испытаний

16. При испытании каждой пробы цемента определяют равномерность изменения объема, тонкость помола, растекаемость цементного теста, сроки схватывания и предел прочности при изгибе.

17. Физические и механические испытания цемента проводят по ГОСТ 310.1—76÷310.4—81 со следующими дополнениями и изменениями:

- а) температура помещения, в котором проводят испытание, а также температура воды должны составлять $22 \pm 2^\circ\text{C}$;
- б) по согласованию с потребителем допускается применение морской воды для затворения цемента без изменения показателей стандарта.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ И СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА¹

Аппаратура

Для определения нормальной густоты и сроков схватывания цементного теста применяют лабораторную механизированную аппаратуру: мешалку для приготовления цементного теста и прибор для автоматической записи сроков схватывания. Указанные приборы должны соответствовать требованиям технических условий.

При проведении этих определений вручную применяется следующая аппаратура: прибор Вика с кольцом, чашка и лопатка для приготовления цементного теста.

Механизированную мешалку для приготовления цементного теста и прибор для автоматической записи сроков его схватывания изготовляют по специальным техническим условиям.

Прибор Вика (рис. 70) имеет цилиндрический металлический стержень 6, свободно перемещающийся в обойме станины 7. Для закрепления стержня на требуемой высоте служит зажимной винт 3 или другое стопорное устройство. Стержень снабжен указателем 1 для отсчета перемещения его относительно шкалы 2, прикрепленной к станине. Шкала имеет цену деления 1 мм.

При определении нормальной густоты теста в нижнюю часть стержня вставляют металлический цилиндр — пестик 4. При определении сроков схватывания пестик заменяют иглой 8.

Пестик должен быть изготовлен из нержавеющей стали с полированной поверхностью, игла — из стальной жесткой нержавеющей проволоки с полированной поверхностью; игла не должна иметь искривлений. Поверхность пестика и иглы должна быть чистой. При пользовании прибором Вика масса перемещающейся части прибора при замене пестика иглой сохраняется с помощью дополнительного груза 5, который накладывается сверху стержня.

Размер пестика и иглы и допустимые отклонения должны соответствовать указанным в табл. 27.

¹ Взято из ГОСТ 310.3—76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема».

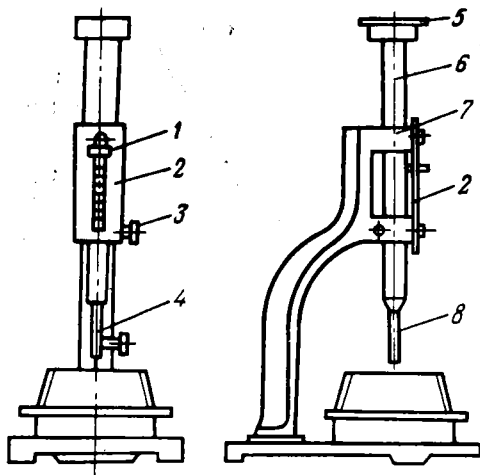


Рис. 70. Прибор Вика

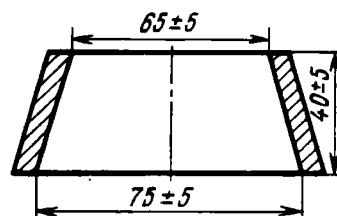


Рис. 71. Кольцо к прибору Вика

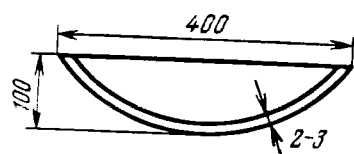


Рис. 72. Чашка для приготовления цементного раствора

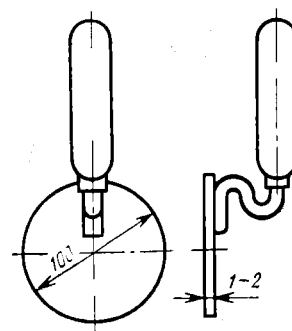


Рис. 73. Лопатка для перемешивания цементного раствора

Рекомендуемые массы основных деталей прибора Вика указаны в табл. 28.

Кольцо к прибору Вика и пластинка, на которую устанавливают кольцо во время испытания, должны быть изготовлены из нержавеющей стали, пластмассы или стекла. Форма и размеры кольца указаны на рис. 71.

В том случае, когда в лаборатории отсутствует механизированная мешалка, для приготовления цементного теста применяют чашку сферической формы. Рекомендуется изготовлять ее из нержавеющей стали с размерами, указанными на рис. 72. Лопатку для перемешивания цементного теста рекомендуется изготовлять также из нержавеющей стали. Основные размеры лопатки показаны на рис. 73.

Таблица 27

Размеры деталей прибора Вика (в мм)

Детали	Длина	Диаметр
Пестик	$10,0 \pm 0,02$	~ 50
Игла	$1,1 \pm 0,04$	~ 50
Закрепляемые части пестика и иглы	5,0	14

Таблица 28

Рекомендуемые массы основных деталей прибора Вика (в г)

Детали	Масса деталей	Допустимые отклонения при изготовлении
Стержень с головкой и принадлежностями	265	$\pm 1,0$
Пестик:		
а) для прибора с дополнительным грузом	35	$\pm 1,0$
б) для прибора с взаимно переставляющимися пестиком и иглой	27,5	$\pm 0,5$
Игла	7,5	$\pm 0,5$
Добавочный груз	27,5	$\pm 0,5$

Примечание. Отдельные детали перемещающейся части должны быть подобраны таким образом, чтобы масса находилась в пределах 300 ± 2 г.

Определение нормальной густоты цементного теста

Цементным тестом называется смесь цемента с водой. Нормальной густотой цементного теста называется такая консистенция его, при которой пестик прибора Вика, погружаемый в кольцо, заполненное тестом, не доходит на 5—7 мм до пластинки, на которой установлено кольцо.

Нормальная густота теста характеризуется количеством воды затворения, выраженным в процентах от массы цемента.

Перед проведением испытания следует проверить, свободно ли опускается стержень прибора Вика, а также проверить нулевое показание прибора, приводя пестик в соприкосновение с пластинкой, на которой расположено кольцо. В случае отклонения от нуля шкалу прибора соответствующим образом передвигают.

Кольцо и пластинку перед началом испытаний смазывают тонким слоем машинного масла.

Для приготовления цементного теста отвешивают 400 г цемента, высыпая в чашку, предварительно протертую влажной

тканью, делают в цементе углубление, в которое вливают в один прием воду в количестве, необходимом (ориентировочно) для получения цементного теста нормальной густоты.

После заливки воды углубление засыпают цементом и через 30 с после этого сначала осторожно перемешивают, а затем энергично растирают тесто лопаткой. Продолжительность перемешивания и растирания цемента с водой 5 мин с момента приливания воды.

Примечание. Цементное тесто готовят на механизированной мешалке в соответствии с инструкцией, приложенной к этой мешалке.

Сразу после окончания перемешивания кольцо наполняют в один прием цементным тестом и 5—6 раз встряхивают его, постукивая пластинкой о стол. Затем поверхность теста выравнивают с краями кольца, срезая избыток теста ножом, протертым влажной тканью. Немедленно после этого приводят пестик прибора в соприкосновение с поверхностью теста в центре кольца и закрепляют стержень зажимным винтом; затем, быстро отвинчивая закрепляющий винт, освобождают стержень и предоставляют пестик свободно погружаться в тесто. Через 30 с с момента освобождения стержня отсчитывают погружение по шкале. Кольцо с тестом при определении не должно подвергаться толчкам.

При несоответствующей консистенции цементного теста изменяют количество воды и вновь затворяют тесто, добиваясь погружения пестика на глубину, указанную выше. Количество добавляемой воды для получения теста нормальной густоты, выраженное в процентах от массы цемента, определяется с точностью до 0,025%.

Определение начала и конца схватывания цементного теста

Перед испытаниями следует проверить, свободно ли опускается стержень прибора Вика, а также нулевое показание прибора. Кроме того, проверяют чистоту и отсутствие искривлений иглы. Иглу прибора доводят до соприкосновения с поверхностью цементного теста, приготовленного и уложенного в кольцо и в этом положении закрепляют стержень зажимным винтом; затем освобождают стержень, после чего игла должна свободно погружаться в тесто. В начале испытания, пока тесто находится в жидком состоянии, во избежание сильного удара иглы о пластинку можно ее слегка задерживать при погружении в тесто. Как только тесто настолько загустеет, что опасность повреждения иглы будет исключена, игле дают свободно опускаться. Момент начала схватывания должен быть определен при свободном опускании иглы.

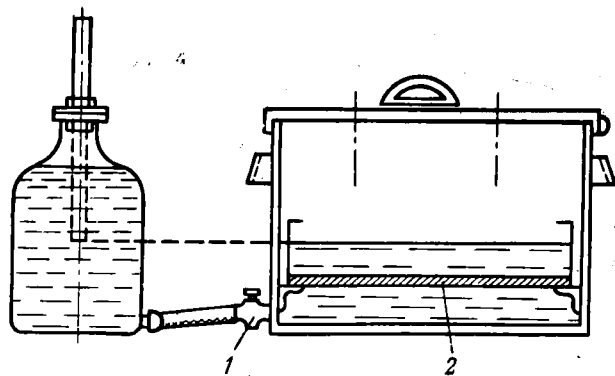


Рис. 74. Бачок для испытания цементных образцов кипячением:
1 — кран; 2 — решетка

Иглу погружают в тесто через каждые 5 мин до начала схватывания и через 15 мин в последующее время, передвигая кольцо после каждого погружения для того, чтобы игла не попадала в одно и то же место. После каждого погружения иглу следует вытирать.

Во время испытания кольцо должно находиться в затененном месте без воздействия на него сквозняка, а также не должно подвергаться сотрясениям.

Началом схватывания цементного теста считается время, прошедшее от начала затворения (момент наливания воды) до того момента, когда игла не будет доходить до пластинки на 1—2 мм. *Концом схватывания* цементного теста считается время от начала затворения до момента, когда игла будет опускаться в тесто не более чем на 1 мм.

Примечание. Начало и конец схватывания цементного теста определяют прибором для автоматической записи сроков схватывания в соответствии с инструкцией, приложенной к этому прибору.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМА ЦЕМЕНТА

Аппаратура

Бачок для испытания кипячением рекомендуется применять с регулятором уровня воды в процессе испытания (рис. 74). Регулятором служит сосуд с водой, снабженный подвижной вертикальной трубкой, позволяющей устанавливать уровень воды в бачке на необходимой высоте. Внутри бачка помещается съемная решетчатая полка для лепешек, которая должна на-

ходиться на расстоянии не менее 2 см от дна бачка. Уровень воды в бачке должен перекрывать лепешки на 4—6 см.

Воду в бачке кипятят на любом нагревательном приборе в течение 30—45 мин.

Автоклав для испытания на равномерность изменения объема цемента с содержанием MgO более 4,5% должен быть рассчитан и опробован на давление 2 МПа, снабжен устройством для регулирования давления и предохранительным клапаном. Мощность электроподогрева должна обеспечить подъем давления в автоклаве при полной нагрузке до 2 МПа в течение 1,5—2 ч. При выключении электроподогрева давление $2 \pm 0,05$ МПа должно держаться в течение 1 ч. Автоклав должен быть оборудован для выпуска воздуха и снятия давления, остающегося в конце первого часа охлаждения, и манометром на 3 МПа с точностью отсчета до 1% и ценой деления, не превышающей 0,1 МПа.

Автоклав должен быть оборудован специальной этажеркой для размещения образцов над водой.

Ванны с гидравлическим затвором рекомендуется делать из оцинкованного железа. В ваннах устанавливают решетки для размещения на них образцов. Под решеткой всегда должна быть вода.

Изготовление образцов

Для испытания на равномерность изменения объема цемента готовят тесто нормальной густоты.

Отвешивают четыре навески теста по 75 г и помещают каждую навеску в виде шарика на стеклянную пластинку, предварительно протертую машинным маслом. Затем встряхивают пластинку до момента расплыва шариков в лепешки диаметром 7—8 см и толщиной в середине около 1 см. Для получения острых краев и гладкой закругленной поверхности лепешки заглаживают от наружных краев к центру смоченным водой ножом. Приготовленные таким образом четыре лепешки хранят в течение 24 ± 2 ч с момента изготовления в ванне с гидравлическим затвором, а затем испытывают.

Проведение испытаний

Испытание кипячением. Две цементные лепешки через 24 ± 2 ч после затворения снимают с пластинки, вынимают из ванн и помещают в бачок с водой (см. рис. 74) на решетку. Затем воду в бачке доводят до кипения, которое поддерживают в течение 4 ч, после чего лепешки в бачке охлаждают и проводят внешний осмотр лепешек немедленно после их извлечения из воды.

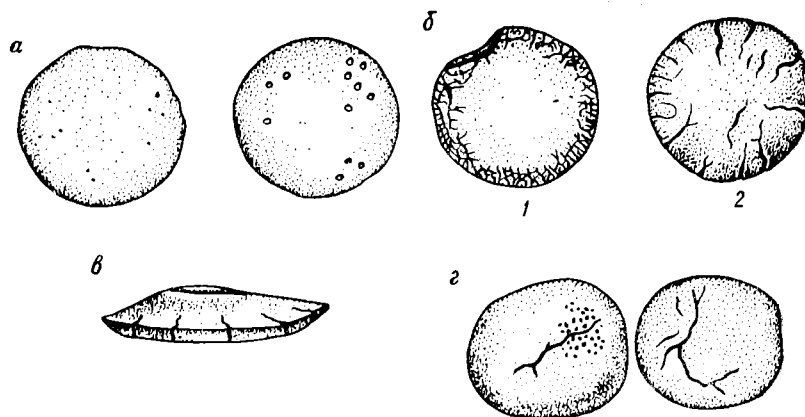


Рис. 75. Лепешки, испытанные на равномерность изменения объема:
а — выдержавшие испытания; *б* — не выдержавшие испытания: 1 — разрушенные; 2 — радиальные трещины; *в* — не выдержавшие испытания на равномерность изменения объема (искривление); *г* — выдержавшие испытания на равномерность изменения объема (трещины усыхания)

Испытание в автоклаве. Предназначенные для испытания в автоклаве две лепешки, выдержавшие предварительное испытание кипячением в воде, помещают на решетку автоклава, который предварительно на 12—15% объема наполняется водой, при этом вода не должна покрывать лепешки. Затем закрывают крышку автоклава, закручивая поочередно противоположные гайки. Электроподогрев автоклава включают при открытом клапане для выпуска воздуха. Воздушный клапан закрывают при появлении из него струи пара. Давление в автоклаве должно поддерживаться равным 0,05 МПа в течение 1³/₄—2 ч. Затем подогрев автоклава выключают и с помощью клапана давление за 1 ч должно быть доведено до нормального. После остывания автоклава открывают крышку и осматривают лепешки.

Цемент считается соответствующим требованию равномерности изменения объема, если на лицевой стороне лепешек, подвергнутых испытаниям, не обнаружится радиальных, достигающих до краев трещин или сетки мелких трещин, видимых невооруженным глазом или в лупу, а также каких-либо искривлений и увеличения объема лепешки. Наличие искривлений устанавливают при помощи линейки, прикладываемой к плоской поверхности лепешки. Образцы лепешек, выдержавших или не выдержавших испытания на равномерность изменения объема, приведены на рис. 75.

Примечания.

1. Проявляющиеся иногда в первые сутки после изготовления трещины усыхания, не достигающие до краев лепешек, не яв-

ляются признаком недоброкачества цемента, если на обратной стороне отсутствуют радиальные трещины, доходящие до краев, и лепешки при постукивании одна о другую издают звонкий звук.

2. Радиальные трещины, появляющиеся иногда на лепешках, выдержавших испытание кипячением и лежавших некоторое время на воздухе, связаны с внутренними усадочными напряжениями и не являются признаком недоброкачества цемента.

Определение растекаемости цементного теста (раствора).

Растекаемость цементного теста (раствора) определяют с помощью прибора, представляющего собой усеченный конус объемом 120 см^3 с верхним диаметром $36 \pm 0,5 \text{ мм}$ в свету, нижним диаметром $64 \pm 0,5 \text{ мм}$ в свету и высотой $60 \pm 0,5 \text{ мм}$. Масса конуса должна быть не менее 300 г . Конус изготовляют из нержавеющей металла. Внутренняя поверхность должна быть полированной (рис. 76).

При определении растекаемости цементного теста конус помещают на горизонтально установленное стекло, под которое подкладывают бумагу с начерченными на ней концентрическими кругами, отстоящими один от другого на расстоянии 5 мм . Диаметр небольшого круга равен 250 мм , наименьшего — 100 мм . Для установки конуса в центре на бумаге должен быть нанесен круг, диаметр которого равен наружному диаметру конуса, т. е. 64 мм .

Для определения нормальной растекаемости цементного теста отвешивают 500 г цемента, переносят в сферическую чашку, в которую в один прием вливают 250 г воды, отвешенной или отмеренной с точностью до $0,5 \text{ г}$ ($0,5 \text{ мл}$).

Массу энергично перемешивают в течение 3 мин и затем полученным тестом наполняют конус до краев, после чего плавно поднимают его вертикально вверх.

Величину растекаемости определяют путем отсчета диаметра расплыва в двух направлениях, соответствующих наибольшему и наименьшему диаметрам расплыва, затем вычисляют среднее из этих двух значений.

Перед проведением испытаний внутренняя поверхность конуса и поверхности стекла должны быть чистыми и сухими.

Определение сроков схватывания цементного теста, предназначенного для «холодных» скважин. Цементное тесто, оставшееся после определения растекаемости, тотчас после заливки

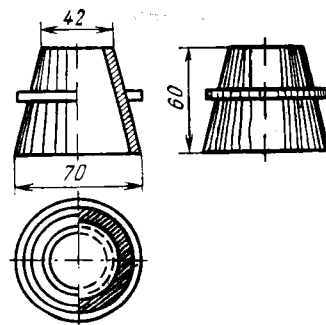


Рис. 76. Конус для определения растекаемости тампонажного раствора

конуса и измерения энергично перемешивают в течение 0,5 мин и при продолжающемся перемешивании заливают в кольцо Вика. Через 1 ч после затворения поверхность теста выравнивают ножом и кольцо оставляют на воздухе при температуре $22 \pm 2^\circ\text{C}$.

Первый раз иглу погружают через 1 ч с момента затворения, затем не реже чем через каждые 15 мин.

Определение сроков схватывания цементного теста, предназначенного для «горячих» скважин. Для определения сроков схватывания цементное тесто заливают в кольцо Вика, после чего поверхность теста выравнивают ножом и покрывают стеклянной пластинкой. Кольцо с тестом тотчас погружают в водный термостат с пресной водой, в котором поддерживается температура $75 \pm 3^\circ\text{C}$. Для этой цели можно применять водные термостаты с любым равномерным нагревом. Кольцо не должно касаться источника тепла. Кольцо с цементным тестом извлекают из термостата, испытывают при помощи иглы Вика и после этого снова погружают в термостат.

Первый раз иглу погружают по истечении 1 ч с момента затворения, а затем через каждые 5 мин по окончании испытания.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ И СЖАТИИ ОБРАЗЦОВ-БАЛОЧЕК, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ¹

Аппаратура

Формы — разъемные для приготовления образцов из стали и чугуна (рис. 77). Отдельные детали форм для удобства сборки должны быть занумерованы. Твердость металла по Бринеллю не менее 140-НВ. Ниже приведены размеры форм (в мм):

Ширина B	40
Высота H	40
Длина L	160
Допустимые отклонения при изготовлении	$\pm 0,02$

Продольные и поперечные стенки форм должны быть отшлифованы сверху и снизу и плотно прилегать к отшлифованной поверхности поддона. Поперечные стенки формы вместе с продольными стенками должны закрепляться нажимным винтом таким образом, чтобы форма прижималась к поддону. Угол между стенками и дном формы должен быть $90 \pm 0,5^\circ$.

Размеры форм проверяют не реже одного раза в 6 мес и заносят результаты проверки в журнал. Если размеры форм отклоняются от номинальных размеров больше чем на $\pm 0,2$ мм, формы следует изъять из употребления.

¹ Взято из ГОСТ 310.4—81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии».

Рис. 77. Форма разъемная для приготовления цементных образцов

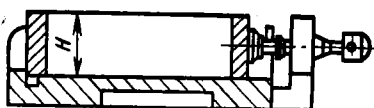
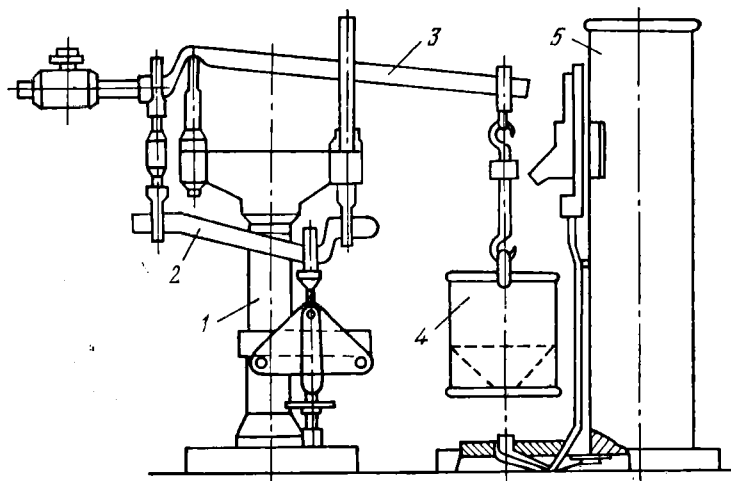
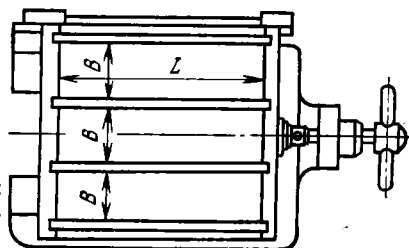


Рис. 78. Прибор Михаэлиса:

1 — основание; 2 — плечо; 3 — большое плечо; 4 — ведро для дроб; 5 — емкость с дробью



Приспособления для чистки форм должны быть изготовлены из материалов, более мягких, чем металл, из которого сделаны формы (например, медь, дерево). Насадка к формам балочек должна плотно прилегать к верхним граням стенок формы.

Прибор для испытания на изгиб образцов-балочек. Для испытания образцов-балочек на изгиб могут быть использованы приборы любой конструкции, соответствующие следующим требованиям. Точность отсчета разрушающей нагрузки должна быть не менее 5 Н/с. Опорные и передающие нагрузку валики должны быть строго параллельны. Передающий нагрузку валик должен быть расположен в средней плоскости между опорами валиков. Расстояние между центрами опорных валиков 100 мм, их диаметр 10 мм. Приспособление для удержания передающего нагрузку валика должно иметь шариковую опору. Валики изготовляют из твердой нержавеющей стали.

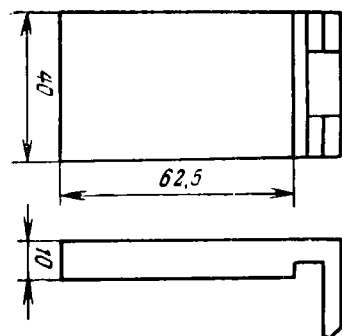


Рис. 79. Пластины для испытания цементных образцов на сжатие

Для испытания могут быть использованы также рычажные приборы Михаэлиса (рис. 78). В этом случае захваты для образцов-восьмерок должны быть заменены приспособлением для испытания на изгиб, имеющим указанные характеристики.

Масса ведерка не должна превышать 600 г. Разрушающим грузом служит дробь диаметром 2—3 мм, равномерно падающая со скоростью 100 г/с.

Пресс для определения предела прочности при сжатии образцов рекомендуется применять с предельной нагрузкой не более 500 кН. Его характеристика должна соответствовать требованиям ГОСТ 8905—82 «Прессы гидравлические для испытания строительных материалов. Технические условия».

Примечание. Учитывая малые размеры испытуемых на сжатие образцов из цементных растворов в виде половинок балочек, рекомендуется снабжать прессы опорными плитами размером не более 10×10 см с приспособлением для центрированной установки пластинки, передающей нагрузку половине балочки.

Пластины для передачи нагрузки на половинки образцов-балочек должны быть изготовлены из нержавеющей стали с твердостью 60 HRC и иметь плоскую шлифованную поверхность размером 40×62,5 мм (рис. 79). Допускаемое отклонение от плоскости для новых пластин не должно превышать 0,02 мм и для пластин, бывших в употреблении, — 0,05 мм.

Форму для изготовления образцов в собранном виде с насадкой устанавливают на мраморной, стеклянной или металлической пластинке и смазывают внутреннюю поверхность формы и поддона машинным маслом. Чтобы вода не вытекала из-под формы, стенки ее с наружной стороны в нижней части смазывают солидолом или другой густой смазкой.

Цементное тесто для изготовления образцов затворяют вручную в количестве, достаточном для одновременного изготовления трех образцов. Для этого 1600 г цемента и 800 г воды (пресной) перемешивают в сферической чашке в течение 3 мин.

Тесто при непрерывном перемешивании разливают в формы. Гнезда заполняют последовательно в два приема: в первый прием тесто заливают примерно наполовину высоты формы, а во второй — гнездо заполняют вровень с краями надставки без избытка. Заливку следует проводить возможно быстрее. Через 1 ч с момента затворения насадку снимают и поверхность цементного теста выравнивают ножом.

Хранение образцов-балочек, предназначенных для испытаний при температуре $22\pm 2^\circ\text{C}$. Первые сутки после изготовления образцы в формах хранят в закрытом шкафу или в ванне с гидравлическим затвором (с относительной влажностью 80—90%). Через 24 ± 2 ч после затворения осторожно освобождают от форм образцы, их нумеруют и тотчас же укладывают в бассейн или ванну с гидравлическим затвором для хранения до момента испытаний. Воду в бассейне следует менять каждые 14 дней.

Образцы следует хранить в один ряд на расстоянии не менее 1 см один от другого, уровень воды должен перекрывать поверхность образцов не менее чем на 2 см.

Примечание. В тех случаях, когда при освобождении образца из формы обнаруживают, что он дал осадку более чем на 1 мм по сечению, на образце делают соответствующую отметку. При испытании такого образца следует замерять его сечение.

Хранение образцов-балочек, предназначенных для испытаний при температуре $75\pm 3^\circ\text{C}$. Образцы, изготовленные, как рассмотрено выше, после удаления ножом избытка теста покрывают стеклянной пластиной и помещают в термостат с пресной водой, имеющей температуру $75\pm 3^\circ\text{C}$. По истечении 24 ± 2 ч после затворения образцы извлекают из термостата, быстро освобождают от форм, нумеруют и немедленно помещают в тот же термостат для последующего хранения.

Воду в термостате меняют каждые 6 дней, предварительно нагревая ее до температуры $75\pm 3^\circ\text{C}$. Испаряющаяся во время хранения образца вода компенсируется добавлением ее с предварительным нагревом до $75\pm 3^\circ\text{C}$.

Проведение испытаний¹

Определение предела прочности при изгибе

Образцы устанавливают на опоры изгибающего устройства таким образом, чтобы те его грани, которые были горизонтальными при изготовлении, находились в вертикальном положении.

¹ Взято из ГОСТ 310.4—81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии».

При использовании для испытаний на изгиб рычажного прибора Михаэлиса предварительно должны быть проверены правильность положения призм прибора в опорах и равновесие прибора без ведерка (верхняя грань верхнего рычага должна совпадать с чертой или стрелкой на скобе). Установив образец, верхний рычаг с помощью установочного винта прибора поднимают на такую высоту, чтобы в момент излома образца рычаг находился по возможности ближе к положению равновесия.

После установки образца ведерко нагружают дробью из бункера прибора. Когда масса дробы вместе с ведерком достигает разрушающего груза, образец ломается, а ведерко, упав на педаль бункера, прекращает выпуск дробы. Масса дробы, высыпавшейся из бункера в 1 с, должна составлять 100 ± 10 г. Ведерко с дробью, находящейся в нем в момент излома образца, взвешивают с точностью до 10 г.

Предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ (в МПа) вычисляют по формуле

$$\sigma_{изг} = \frac{3Pl}{2bh^2} k, \quad (69)$$

где P — масса ведерка с дробью, кг; l — расстояние между опорами, см; b — ширина образца, см; h — высота образца, см; k — коэффициент, определяемый соотношением плеч рычагов прибора.

Для балочки размером $4 \times 4 \times 16$ см при расстоянии между опорами 10 см и соотношении плеч рычагов 1:50 расчетная формула принимает вид $\sigma_{изг} = 11,7P$.

Предел прочности при изгибе цементного раствора вычисляют как среднее арифметическое значение из двух наибольших результатов испытания трех образцов.

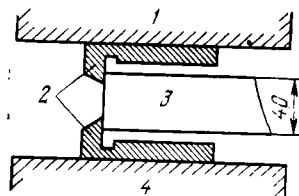
Определение предела прочности при сжатии

Полученные при испытании на изгиб в результате излома шесть половинок-балочек подвергают испытанию на сжатие.

Каждую половинку балочки помещают между двумя пластинками таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к продольным стенкам формы, находились на плоскостях пластинок, а упоры пластинок плотно прилегали к торцовой гладкой стенке образца (рис. 80). Образец вместе с пластинками сжимают на прессе. Скорость увеличения нагрузки должна составлять $2,0 \pm 0,5$ МПа/с.

Предел прочности при сжатии отдельного образца вычисляют как частное от деления разрушающего груза (в Н) на рабочую площадь пластинки (в см^2), т. е. на 20 см^2 .

Рис. 80. Схема испытания образцов на сжатие:
1 — верхняя плита пресса; 2 — пластины; 3 — половина образца-балочки; 4 — нижняя плита пресса



Предел прочности при сжатии образцов, изготовленных из испытуемого цементного раствора, вычисляют как среднее арифметическое четырех образцов, получивших наибольшие результаты из шести испытанных образцов.

Образцы, хранившиеся в воде при температуре $22 \pm 2^\circ \text{C}$, по истечении 48 ± 2 ч после затворения должны быть извлечены из воды и подвергнуты испытанию не позднее чем через 15 мин. Непосредственно перед испытанием образцы должны быть насухо вытерты.

Образцы, хранившиеся в термостате при температуре $75 \pm 3^\circ \text{C}$, по истечении 48 ± 2 ч после затворения должны быть извлечены из термостата, охлаждены в течение 2 ч 30 мин при комнатной температуре и затем подвергнуты испытанию.

Образцы охлаждают на деревянных подставках (рис. 81).

18. Химический анализ цемента (содержание SiO_2 и MgO) проводят по ГОСТ 5382—73.

ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ

19. Цемент следует отгружать в бумажных мешках или в специальных машинах-цементовозах.

Для упаковки цемента необходимо применять многослойные (четырёх-, пяти- и шестислойные) бумажные мешки, соответствующие ГОСТ 2226—88.

Примечание. По соглашению сторон допускается транспортирование цемента в другой таре.

20. На бумажных мешках должны быть обозначены наименование завода, название цемента, номер заводской партии, год, месяц и число затаривания.

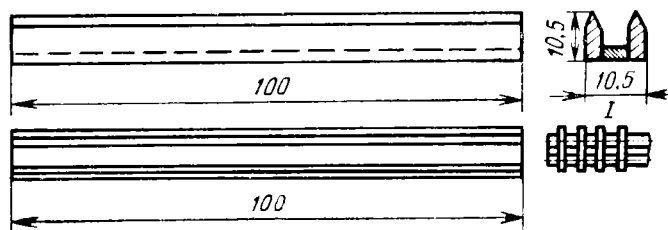


Рис. 81. Деревянная подставка для охлаждения образцов:
I — схема расположения образцов-балочек на подставке

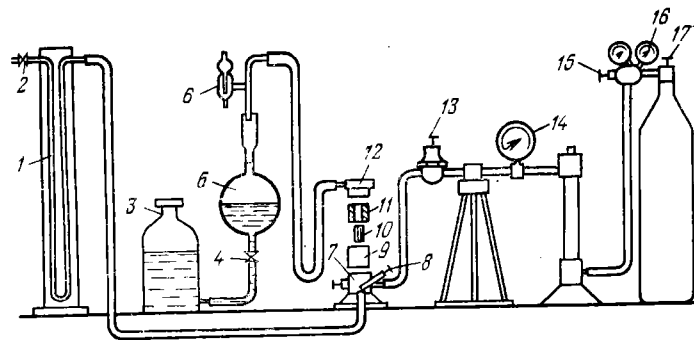


Рис. 82. Установка для определения проницаемости образцов горных пород и цементного камня

21. Цемент, отгружаемый в цементовозах; должен сопровождаться документом.

22. При транспортировании и хранении цемент должен быть предохранен от влаги и загрязнения посторонними примесями.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Для определения проницаемости камня из тампонажного цемента чаще всего используют методику и аппаратуру для определения газопроницаемости кернов, поднятых из скважин (установка ГК-5) с некоторыми изменениями. Образцы, подлежащие испытанию, следует выдерживать в тех условиях действия температуры и давления, для которых в лаборатории подбирают рецептуру тампонажного раствора. Цементные образцы для определения проницаемости наиболее целесообразно вытачивать из половинок образцов-балочек, которые твердели в ваннах или автоклавах при требуемых условиях и сроках и предназначались для испытания на изгиб.

Установка ГК-5 состоит из следующих основных узлов (рис. 82): струбционный зажима ЗС-8 для заделки образца, хлорвиниловой трубки ХК-4 для просушивания газа, жидкостного манометра 1 типа МЖ-10 для измерения давления перед керном, мерной колбы СР-1 для измерения расходов газа при движении через керн и определения давления на выходе из керна, узла редуктора 15 и 16, воздушного баллона с вентилем 17.

Работа по определению проницаемости начинается с подготовки образца цементного камня. Затвердевший в заданных условиях образец (балочку или кубик) обрабатывают до образования цилиндра с отторцованными поверхностями. При определении проницаемости легко разрушающихся образцов их необходимо подвергать специальной обработке, заделывая в глето-

вую оболочку или крепь из сплава Вуда. После проверки установки на герметичность определяют проницаемость цементных образцов.

1. Вращением против часовой стрелки закрывают вентиль 13 редуктора, открывают вентиль 15 кислородного редуктора и в редуктор пропускают газ, давление которого фиксируется по манометру 16. При закрытом вентиле 13 редуктора вращением вентиля по часовой стрелке открывают вентиль 15 редуктора и устанавливают на манометре низкого давления 14 давление 0,1—0,12 МПа.

2. Определяют геометрические размеры высушенного до постоянной массы (исключая особые случаи) образца с точностью до десятых долей миллиметра (записывают в журнал средний диаметр $d_{\text{ср}}$ и длину $l_{\text{ср}}$ образца). Образец 10 вставляют в резиновую обойму-муфту 11, которую помещают в стальной стакан 9 с сеткой внизу, и все вместе устанавливают на трубку 7, закрывают трубноной головкой 12 и зажимают винтом 8.

3. При открытом кране 2 подкрашенная вода из сосуда 3 переливается в мерную колбу 5 до уровня выше верхней отметки.

4. Вращением вентиля 13 редуктора по часовой стрелке пропускают азот (воздух) через образец и по U-образному манометру 1 устанавливают перепад давления 0,4 МПа. Одновременно закрывают кран 2 и открывают кран 4. Начинается снижение уровня жидкости в колбе. При прохождении мениска жидкости через верхнюю отметку колбы 5 включают секундомер и наблюдают за уровнем жидкости в трубе индикаторного устройства 6, который должен совпадать с общим уровнем жидкости в этом устройстве, что регулируется краном 4. При скачках давления в U-образном манометре 1 опыт необходимо прекратить вследствие неисправности редуктора. При прохождении мениска жидкости через нижнюю отметку колбы следует остановить секундомер, открыть кран 2 и закрыть кран 4; отсчитывают время движения жидкости в колбе 5 от верхней отметки к нижней. Результат заносят в графу журнала.

5. Во время опыта отмечают давление (по барометру) и температуру (по термометру). Их значения заносят в соответствующие графы журнала. Из таблиц по температуре и давлению находят значения L . Затем вычисляют $d_{\text{ср}}$ и $l_{\text{ср}}/d_{\text{ср}}$. Значение $L = l_{\text{ср}}/d_{\text{ср}}$ делят на время движения жидкости в колбе 5 между верхней и нижней отметками и получают проницаемость образца в мкм².

6. Закрывают вентиль 13 редуктора, из трубки извлекают образец, закрывают вентиль 17 на воздушном баллоне и открывают вентиль 15 редуктора, выпускают газ из системы. Опыт повторяют при большом давлении.

Пример

Шифр образца	$T, ^\circ\text{C}$	$p, \text{ МПа}$	$l_{\text{ср}}, \text{ см}$	$d_{\text{ср}}, \text{ см}$	$d_{\text{ср}}^2, \text{ см}^2$	$l_{\text{ср}}/d_{\text{ср}}^2$	$p_{\text{пак}}, \text{ МПа}$	$L, \text{ см}$	$t, \text{ с}$	$I = l_{\text{ср}}/d_{\text{ср}}^2$	$k \cdot 10^{-3}, \text{ МПа}$
Л	28	76,1	2,97	2,91	8,47	0,35	0,4	32110,7	9000	11238,7	1,2

Лабораторная работа № 4

В соответствии с требованиями ГОСТ 1581—85 на тампонажный портландцемент определить: 1) растекаемость цементного раствора; 2) сроки схватывания цементного раствора при температурах $22 \pm 2^\circ\text{C}$ и $75 \pm 3^\circ\text{C}$; 3) пределы прочности на изгиб и сжатие при температурах $22 \pm 2^\circ\text{C}$; 4) проницаемость цементного камня.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под термином «сроки схватывания» тампонажного раствора?
2. Как определяются сроки схватывания в нормальных условиях и в условиях действия высоких температур и давлений?

Глава VIII

РЕГУЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА И ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Для цементирования скважин цементный раствор должен обладать рядом свойств, которыми не наделены растворы, состоящие из смеси тампонажного портландцемента и воды.

Цементные растворы, предназначенные для цементирования конкретных скважин, следует проверять в условиях, соответствующих условиям скважины. Если свойства растворов и камня не соответствуют условиям цементирования конкретной скважины, свойства следует изменять, рецептуру корректировать.

Рассматриваемые требования необходимо соблюдать всегда, особенно при цементировании глубоких высокотемпературных скважин.

Для сокращения сроков схватывания или времени загустевания растворов из тампонажного цемента применяют реагенты-ускорители, для увеличения — замедлители. В качестве ускорителей сроков схватывания применяют в большинстве случаев хлорид кальция CaCl_2 (2—3% от массы цемента); для этих же целей используют хлорид алюминия AlCl_3 (до 10%) и небольшие дозировки хлорида натрия NaCl (до 2—3%). В больших количествах NaCl замедляет структурообразование в цементных растворах. Эти же реагенты служат для ускорения сроков схватывания цементных растворов при цементировании скважин в зонах вечной мерзлоты.

Реагенты-ускорители (как и реагенты-замедлители) предварительно растворяют в воде, после чего ею затворяют цемент. Полученный цементный раствор закачивают в скважину. Принципиально возможно введение реагентов в цемент при помоле или смешении его с наполнителями. Однако этот путь сложен, может быть осуществлен в специальных условиях, гарантия получения раствора с одинаковыми свойствами в процессе его изготовления из всей партии цемента не может быть обеспечена. Поэтому обычно прибегают к первому способу. Учитывая, что он осуществляется в промышленных условиях, необходимо обеспечение полного соответствия свойств рецептур цементных растворов, полученных в лабораторных и промышленных условиях.

ЗАМЕДЛИТЕЛИ СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ

В связи с повышением забойных температур и давлений и ускорением сроков схватывания цементных растворов необходимо изыскивать реагенты-замедлители. Хотя в настоящее время известно несколько десятков замедлителей сроков схватывания цементных растворов (борная кислота, крахмал, сернокислородное железо, сахар, декстрин, синтан и др.), практическое применение имеют немногие: лигносульфонаты кальция (ССБ, СДБ), сульфитно-спиртовая барда, сульфитно-дрожжевая бражка, карбоксиметилгидроксиэтилцеллюлоза (КМГЭЦ) и МЛЗ (в США), карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), технический винный камень, а также виннокаменная кислота (ВК), гипан, лесохимические полифенолы и др. Кроме того, в США применяют окисленную целлюлозу, таннат натрия, декстрин, пирогалловую кислоту и др.

ССБ отличается непостоянством замедляющих свойств и не на все цементы действует одинаково. Более эффективно она воздействует на цементы Карадагского завода, менее активно — на цементы Новороссийского завода. ССБ должна отвечать техническим условиям на приготовление, приемку и хранение; 50%-ная концентрация ССБ соответствует плотности 1,26—1,28 г/см³.

Изменение плотности ССБ в зависимости от концентрации твердой фазы

Плотность, г/см ³	Концентра- ция твердой фазы, %	Плотность, г/см ³	Концентра- ция твердой фазы, %	Плотность, г/см ³	Концентра- ция твердой фазы, %
1,01	2,0	1,12	23,6	1,25	45,0
1,02	4,0	1,13	25,4	1,26	46,0
1,025	5,0	1,14	27,4	1,27	48,1
1,030	6,0	1,15	29,2	1,28	49,7
1,035	7,0	1,16	31,0	1,29	51,3
1,040	8,0	1,17	32,6	1,30	52,6
1,05	10,0	1,18	34,0	1,31	54,3
1,06	12,0	1,19	35,6	1,32	56,0
1,07	14,0	1,20	37,1	1,33	57,4
1,08	16,0	1,21	38,6	1,34	59,1
1,09	18,0	1,22	40,2	1,35	60,6
1,10	20,0	1,23	42,0	1,36	61,3
1,11	21,6	1,24	43,4		

В табл. 29 приведена зависимость плотности ССБ от концентрации твердой фазы.

От концентрации твердой фазы зависит и эффективность замедления сроков схватывания цементного раствора сульфитно-спиртовой бардой.

Лежалые цементные растворы легче обрабатываются сульфитно-спиртовой бардой, чем растворы из цемента свежего помола. В раствор рекомендуется вводить не более 1,5% ССБ от массы цемента, но в большинстве случаев уже 0,5% приводит к пенообразованию.

Время действия и устойчивость адсорбционных слоев и суммарный эффект замедления ПАВ следует определять непосредственно на цементных растворах путем установления сроков схватывания, вязкости и других свойств.

Во всех случаях при исследованиях и промышленном применении замедлитель растворяют в воде, на которой затем затворяют цемент. Степень воздействия замедлителей на цемент зависит от многих факторов: срока и условий хранения цемента, его химико-минералогического состава, свойств самого замедлителя и т. п. Поэтому рецептуру необходимо подбирать только с теми цементами, водой и замедлителем, которые будут использованы для цементирования незадолго до операции. Обычно если один раз подобранный состав раствора дает приемлемое время начала схватывания, то по истечении некоторого времени хранения цемента сроки схватывания, как правило, удлиняются.

С увеличением дозировки ССБ сроки схватывания цементных растворов замедляются. Повышение температуры и давле-

ния требует увеличения расхода ССБ, так как ускоряются адсорбционные процессы, быстрее происходят гидролиз и гидратация цемента.

ССБ разжижает цементные растворы, поэтому ее широко применяют для снижения водоцементного отношения и повышения плотности и даже ускорения сроков схватывания цементного раствора (при малых водоцементных отношениях). Вместе с тем ССБ сильно вспенивает цементные растворы, создавая затруднения при цементировочных работах. Иногда в приемном чане агрегата образуется такое количество пены, что невозможно продолжать операцию — насосы засасывают воздух, а подсчет объема закачиваемой жидкости становится затруднительным. В качестве пеногасителя целесообразно применять нейтрализованный черный контакт, небольшие количества которого (0,1—0,3%) снижают эффект пенообразования, не влияя на сроки схватывания, а также другие реагенты. Хорошим пеногасителем является кальциевая соль нафтеповых кислот (0,1—0,2%), разработанная во ВНИИКРнефти.

Замедляющими свойствами при температурах примерно до 130 °С и высоких давлениях обладает КМЦ, которая выпускается в нескольких модификациях, различающихся по вязкости и стабилизирующей способности. Она не вспенивает растворы, стабильна, очень активна и, воздействуя на цемент, замедляет сроки схватывания раствора в соответствии со взятым количеством. Выпускают КМЦ в виде белого зернистого порошка без запаха и вкуса; плотность ее 1,6 г/см³. Для применения КМЦ готовят 5—10%-ный водный раствор при температуре 60—80 °С. Перемешивание (лучше гидравлическим путем) ускоряет процесс растворения КМЦ.

Приготовление раствора КМЦ на буровой (особенно в зимнее время) несколько затруднено из-за отсутствия специальных бань. Поэтому целесообразно его растворять в воде заранее и доставлять на буровую в виде раствора.

Раствор КМЦ — стойкий коллоидный раствор, не теряющий во времени замедляющих свойств. Уже при добавке 7—10% КМЦ раствор представляет весьма вязкую массу. Причина столь резкого повышения вязкости раствора при незначительных дозировках КМЦ объясняется самой природой карбоксиметилцеллюлозы, которая, как известно, относится к высокомолекулярным соединениям. Их молекулы вытянуты в длинные цепочки, образующие в растворе пространственные структурные решетки, в петлях которых находится захваченная («иммобилизованная») вода. Естественно, такая система сильно загущена, но несколько теряет стабильность при перемешивании. Поэтому с увеличением дозировки КМЦ более 0,3—0,5% заметно снижается подвижность цементных и цементно-песчаных растворов.

Проведенные опыты показали, что для получения цементных растворов с приемлемыми сроками схватывания рабочими являются дозировки до 1,0% КМЦ (от массы цемента). Структурные сетки, образующиеся в цементном растворе при обработке его КМЦ, разрушаются и тем интенсивнее, чем больше скорость перемешивания или движения раствора. Вода высвобождается, раствор разжижается. Молекулярные цепи ориентируются вдоль потока. При остановках процесса прокачивания раствора в зависимости от температурных условий структурная сетка может возникнуть вновь, поэтому для возобновления процесса приходится создавать более высокие давления.

С ростом температуры вязкость цементных растворов, обработанных КМЦ, несколько уменьшается (имеется в виду вязкость, вызванная обработкой КМЦ), что объясняется повышением интенсивности молекулярного движения и затруднения образования структур. Возможность образования структурной сетки может быть уменьшена введением ССБ.

При температуре 22 °С КМЦ в количестве 0,3% настолько эффективно замедляет сроки схватывания цементного раствора, что он не твердеет в течение более чем двух суток. При температуре 75 °С добавка 0,5% КМЦ позволяет получить растворы со сроками схватывания порядка 7—9 ч.

При температуре 120—130 °С начинается деструкция КМЦ и выше температуры 140 °С она не пригодна к использованию.

КМЦ способствует некоторому снижению механической прочности.

Более эффективно КМЦ замедляет сроки схватывания растворов из лежалых цементов. Растворы из свежемолотых цементов иногда довольно трудно поддаются обработке КМЦ. На некоторые цементы она не оказывает эффективного воздействия уже при температуре 110—120 °С и даже значительные ее количества замедляют сроки схватывания растворов до 1—1,5 ч.

Исследования показали, что при температуре, близкой к 170 °С, и давлении около 60 МПа КМЦ, ССБ, крахмал и другие высокомолекулярные органические замедлители разлагаются.

В качестве замедлителя сроков схватывания цементных растворов предложены также лесохимические полифенолы (ПФЛХ). При анализе эффекта воздействия как замедлителя отмечено непостоянное тормозящее действие; добавки реагента до 0,3% при температуре 75 °С действуют замедляюще; при больших дозировках (до 1%) конец схватывания затягивается, тогда как начало схватывания ускоряется. При более высокой температуре замедляющее действие ПФЛХ значительно падает.

В б. КФ ВНИИнефти предложен комбинированный замедлитель сроков схватывания цементных растворов. Он состоит из смеси гипана, КМЦ или ССБ с хромпиком (бихромата нат-

рия $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_7$ или калия $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_7$), количество которых подбирают исходя из конкретных условий применительно к выбранным вяжущим и наполнителям. Гипан представляет собой сополимер полиакрилата натрия, полиакриламида и полиакрилонитрила.

Раздельное введение гипана и хромпика мало отражается на сроках схватывания тампонажных растворов. Подобная совместная дозировка этих реагентов приводит к резкому увеличению сроков схватывания растворов и способствует их разжижению. Хромпик повышает замедляющие свойства гипана, КМЦ и ССБ при высоких температурах и давлениях. Соотношение гипана (КМЦ или ССБ) и хромпика обычно берется равным 2:1.

Наиболее распространенными дозировками, применяемыми при обработке цементных растворов при температурах 110—140 °С и давлениях 30—50 МПа, являются гипан 0,4—0,6% и хромпик 0,2—0,3%.

В филиале СевкавНИИПИнефти разработан новый замедлитель (Л-6) сроков схватывания для цементных растворов в условиях действия температур до 170 °С. Он получен гидролизным путем из пентозанов, содержащихся в кукурузных кочерыжках (в количествах 27—29% в пересчете на сухое вещество) и отходах пищевой промышленности. Этот замедлитель представляет собой сложную смесь различных кислот и оксикислот (щавелевой, триоксиглутаровой, ксинолоновой и др.), а также их солей. Добавка 1,5—2% Л-6 от массы цемента при температуре 170 °С и давлении до 70 МПа позволяет обеспечить начало схватывания раствора до 2 ч. На многие показатели твердеющего цементного раствора и образующегося из него камня действие реагента аналогично действию ВКК, хотя его стоимость в несколько раз ниже.

В СевкавНИИПИнефти разработан замедлитель сроков схватывания тампонажных растворов, для изготовления которого использовались отходы переработки винограда, яблок, алычи. Там же была разработана новая технология производства замедлителя сроков схватывания тампонажных растворов на основе винных дрожжей (ВД). Технология приготовления замедлителя заключается в том, что в воде растворяют едкий натр и добавляют ВД. После перемешивания в течение 2—3 ч образуется устойчивый раствор без осадка. Приготовленный реагент способен пластифицировать тампонажные растворы и снижать их водоотдачу.

Лабораторные работы показывают, что цементный раствор, содержащий 3% замедлителя, имеет начало схватывания 7 ч при испытании при температуре 130 °С и давлении 60 МПа. Физико-механические свойства камня при этом не ухудшаются.

При температурах 150 °С и выше и значительных давлениях устойчивым замедлителем является (ВК) виннокаменная кислота $C_2H_2(OH)_2 \cdot (COOH)_2$, которая замедляет сроки схватывания более эффективно, чем другие распространенные замедлители. Виннокаменная (правая винная) кислота, или диоксигидратная кислота, — бесцветное твердое вещество без запаха с температурой плавления 170 °С. С повышением температуры растворимость ее в воде возрастает. При 0 °С в 100 г воды растворяется 115 частей, а при 100 °С — 343 части. При долгом нагревании и температуре выше 180 °С кислота разлагается. Виннокаменная кислота встречается в свободном состоянии или в виде солей в различных растениях. Главный источник виннокаменной кислоты — отходы винного производства.

При температуре 90 °С добавка 0,5% ВК (от массы цемента) замедляет сроки схватывания столь значительно, что через 36 ч он остается жидким. При температуре 150 °С и давлении 50 МПа это же количество ВК замедляет начало схватывания до 1 ч 30 мин. Для получения раствора с началом схватывания 1,5—2,0 ч при температуре 170 °С и давлении 60 МПа требуется 1,0—1,3% ВК. Для виннокаменной кислоты как замедлителя характерна низкая избирательная способность — при большом числе проб цемента получены примерно одинаковые результаты. При схватывании цементных растворов, обработанных ВК, при высоких температурах и давлениях в верхней части образца в основном в связи с осаждаемостью замедлителя образуется корка, хотя весь образец еще не затвердел. Начало схватывания цементного раствора с добавкой 1% виннокаменной кислоты при температуре 200 °С и давлении 70 МПа наступает, как правило, не позже чем через 50 мин.

Увеличение сроков схватывания до 1 ч 30 мин при указанных условиях обеспечивается комбинированным реагентом (ВКБК), состоящим из 1,25% ВК и 0,25—0,50% борной кислоты (БК). На подвижность цементных и цементно-песчаных растворов ВК и ВКБК заметного влияния не оказывают. Эти реагенты в отличие от других замедлителей улучшают структуру камня, делают ее мелкозернистой, монолитной и повышают механическую прочность. При температурах 100—120 °С вследствие длительного схватывания цементного раствора прочность камня через 2 сут имеет пониженное значение.

Сильными замедляющими свойствами обладает технический винный камень (ТВК), являющийся отходом пищевой промышленности. Винный камень — кремортартор, кислый виннокислый калий ($KC_4H_5O_6$) содержится в соке, коре, листьях растений. Он образуется при брожении вин, накапливается в виде осадка в бродильных чанах, на внутренних стенках бочек в виде твердых корок. Технический винный камень состоит из смеси виннокислого калия, виннокислого кальция и примесей.

ТВК эффективно замедляет сроки схватывания цементных и цементно-песчаных растворов при температурах до 200 °С и давлениях до 70 МПа.

Незначительное количество ТВК (до 0,1%) при температурах меньше 100 °С способствует некоторому ускорению сроков схватывания цементных растворов. ТВК обеспечивает эффективное замедление сроков схватывания цементных растворов во всем диапазоне температур от 100 до 200 °С и при давлениях до 100 МПа. Добавление 0,25—0,75% борной кислоты облегчает возможность замедления сроков схватывания как цементных, так и цементно-песчаных растворов. Большие количества ТВК плохо растворимы. Введение ТАК способствует повышению прочности цементного и цементно-песчаного камней, твердевших при температуре около 200 °С и давлении до 70 МПа.

Лабораторная работа № 5

Подбор рецептуры цементного раствора при заданных температуре и давлении

1. Опыты проводят в автоклаве, например при температуре 75 °С, давлении 30 МПа и температуре 120 °С, давлении 45 МПа.

Отвешивают 300 г тампонажного портландцемента и берут 150 см³ воды. В воду вводят 0,2% ВКК (или другого замедлителя). После растворения ВКК подливают воду в цемент, находящийся в чашке. После 3 мин перемешивания раствор заливают в смазанный техническим маслом стаканчик. Определяют в автоклаве начало и конец схватывания при указанных условиях (раздельно).

2. Подбирают рецептуру тампонажного раствора по плотности (2 г/см³) и срокам схватывания (необходимо, чтобы начало схватывания составило 2 ч) при температуре 75 °С; давление не учитывается.

Подсчитывают, какое количество воды должно быть взято для получения раствора плотностью 2 г/см³ при наличии цемента определенной удельной поверхности.

Цемент затворяют установленным количеством воды и определяют его растекаемость. Если она не менее 18 см, то опыт прекращают и раствор заливают в стаканчик для определения сроков схватывания; корректируют сроки схватывания. Если растекаемость раствора меньше 18 см, то вводят примерно 0,2—0,3% ССБ и в результате растекаемость раствора увеличивается. Появляется возможность уменьшить водоцементное отношение и тем самым повысить плотность цементного раствора.

При повышенной водопотребности цемента следует ввести в раствор крупный кварцевый песок или утяжелитель.

После корректировки плотности и растекаемости раствора определяют сроки его схватывания. Если они недостаточны, то повышают количество ССБ или используют другой замедлитель. Каждый раз проверяют плотность и растекаемость раствора, а затем определяют сроки его схватывания.

3. Подбор рецептуры тампонажного раствора с пониженной водоотдачей и началом схватывания 1 ч при температуре 130 °С и давлении 45 МПа.

Цемент и бентонитовую глину в соотношении 4:1 (400 г : 100 г) тщательно перемешивают и затворяют водой (ориентировочно 250 см³), в котором растворена КМЦ, массовая доля которой составляет 0,5%. Определяют растекаемость раствора. Если она меньше 18 см, увеличивают водоцементное отношение или вводят 0,2—0,3% ССБ. Обеспечив растекаемость раствора более 18 см, проверяют на приборе ВМ-6 водоотдачу. Если она находится в требуемых пределах, то оценивают (или корректируют) сроки схватывания раствора. Если же водоотдача велика, то снижают водоцементное отношение или повышают дозировку КМЦ. Затем корректируют сроки схватывания.

Контрольные вопросы

1. Для чего песок вводится в тампонажный цемент?
2. Как подбирается рецептура тампонажного раствора?
3. Для чего применяются цементно-бentonитовые растворы?

Глава IX

ТАМПОНАЖНЫЕ ЦЕМЕНТЫ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СКВАЖИН

ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫЕ СМЕСИ

Большинство скважин изолируют чистыми портландцементными растворами. При высоких температурах и давлениях растворы из смеси тампонажного портландцемента и кварцевого песка затвердевают в долговечный прочный непроницаемый камень, устойчивый в пластовых водах.

При нормальных условиях добавка песка при принятых сроках твердения является практически инертным компонентом, а при повышенных температурных кремнезем активно взаимодействует с составляющими цемента. Установлено, что кварцевый песок вступает в реакцию не только с гидроксидом кальция и

гидросиликатами, но и с гидроалюминатами с образованием гидрогранатов.

Кремнезем, или диоксид кремния, SiO_2 — самый распространенный в природе минерал. Он содержится как компонент в большой группе силикатов, в том числе и в глинах. Кремнезем в связанном виде присутствует и в цементах. Он является основной составляющей частью пуццолана.

Химически чистый кварц при нормальной температуре — весьма инертное вещество, но, будучи сильно нагретым, реагирует с основаниями. При высоких температурах кремнезем ведет себя как кислый компонент; он может связываться с основными оксидами, образуя силикаты, и вытеснять другие кислоты из их соединений. Кварц, растворяясь в воде, вступает в реакцию с известью при нагревании под давлением; на этом принципе основано производство песчано-известковых кирпичей и известково-песчаных цементов. Скорость этой реакции в значительной степени зависит от удельной поверхности кварца. Например, совершенный кристалл массой 12,8 г после 48 ч нагревания с гидроксидом кальция в автоклаве при температуре 180°C теряет 0,25% своей массы. Между тем такой же кристалл, но измельченный до полного прохождения через сито с размером отверстий 0,15 мм теряет в аналогичных условиях 12,4% массы. При дальнейшем измельчении в очень тонкий порошок кварц становится настолько активным, что превращается в коллоидный гидратированный кремнезем в результате простого кипячения с водой.

Установлено, что на механическую прочность цементного камня влияет не только количество, но и природа кремнеземистой добавки. Лучшие результаты получены с добавками молотого кварцевого песка, худшие — с добавкой аморфно-дисперсного кремнезема. При известных условиях автоклавной обработки на каждый процент трехкальциевого силиката C_3S портландцемента следует вводить до 1,5% молотого песка. Показано, что в процессе автоклавного твердения цементного камня связывается кварца значительно больше, чем необходимо для полного взаимодействия $\text{Ca}(\text{OH})_2$, и даже несколько больше количества, необходимого для перевода высокоосновных гидросиликатов в однокальциевый гидросиликат. Этот вывод доказывает возможность и целесообразность введения повышенных количеств кварцевого песка в тампонажные портландцементы.

Использование тонкомолотого песка увеличивает прочность образцов.

Помол необходим для увеличения удельной поверхности и реакционной способности песка с гидроксидом кальция, а также для повышения активности некоторых минералов клинкера.

Тонкость помола, по мнению акад. П. А. Ребиндера, позволяет значительно ускорять процессы, проводя их при менее вы-

соких температурах и давлениях. Скорость процессов, проводимых с участием веществ в твердом состоянии, пропорциональна общей поверхности их частиц и потому резко возрастает по мере их измельчения.

Учитывая, что при цементировании скважин нет оснований предъявлять к цементному камню требования максимальной высокой прочности, размалывать песок не обязательно. Регулирующая поверхность кварцевого песка с продуктами гидратации цемента в достаточной мере может быть повышена количеством песка естественной крупности.

Реакция гидроксида кальция при этом протекает лишь на поверхности зерен песка, образуя тончайшие (до 5 мкм) пленки гидросиликатов кальция в виде геля.

Механическая прочность образцов, твердевших при высоких температурах и давлениях, значительно повышается при добавлении к тампонажному портландцементу как молотого, так и немолотого кварцевого песка, который имеется в большинстве нефтяных районов.

Выбор песка для добавки

Пригодность песка как добавки к тампонажным цементам следует рассматривать в зависимости от изменения свойств цементно-песчаного раствора и камня. На свойства цементно-песчаной смеси при одинаковых условиях гидратации наибольшее влияние оказывают его минералогический состав, размер и форма зерен, предварительная обработка песка и т. д.

Минералогический состав песка. Песок представляет собой композицию из зерен разнообразного размера, формы и состава, образовавшуюся в результате выветривания горных пород. Чаще всего встречаются кварцевые пески с примесью зерен полевого шпата, листочков слюды и других минералов; реже — полевошпатовые, известняковые и др. Для введения в тампонажные портландский, шлаковый и известковый цементы пригодны кварцевые пески. В качестве наполнителей могут быть использованы и другие материалы. Обычный кварцевый песок содержит высокий процент кремнезема, вполне достаточный для связывания гидроксида кальция при гидратации цемента.

По условиям залегания пески разделяются на овражные, морские и речные. Последние две разновидности песка имеют, как правило, округлую форму; зерна овражных песков — остроугольную. Морские пески, содержащие большое количество органических и легкоразрушаемых известняковых примесей, нежелательно применять в качестве добавки к тампонажным цементам. Кварцевые морские пески, что бывает относительно редко, пригодны для применения в тампонажных цементах. Наиболее приемлемы пески речные и овражные.

В общем случае добавление кварцевого песка к тампонажному портландцементу весьма желательно, а при высоких температурах — совершенно необходимо. Введение в портландцементы песка даже пониженного качества при высоких температурах резко улучшает физико-механические свойства камня, повышает сопротивляемость его воздействию агрессивных вод и т. д. Как правило, надо применять местный песок, прибегая к привозному только в крайних случаях.

Примеси песка. При выборе кварцевых песков следует отдавать предпочтение тем, которые содержат пониженное количество следующих вредных примесей:

1) слюда, практически не связывающаяся с цементом; желательно использовать пески, массовая доля слюды в которых не более 0,5 %;

2) серные и сернокислые соединения, количество которых в пересчете на SO_3 не должно превышать 1 %; указанные соединения, взаимодействуя с цементом, приводят к образованию гидросульфоалюминатов, которые могут отрицательно сказываться на плотности цементного кольца в заколонном пространстве.

Согласно ГОСТ 8736—85 песок кварцевый как добавка к портландцементу (по образцу строительных требований) должен содержать не менее 90 % SiO_2 . Присутствие глины в небольших количествах (примерно до 5 %) не способствует снижению механической прочности и повышает плотность камня.

Предварительная обработка песка. После добычи песка его необходимо просушить и в случае немеханизированного смешения с цементом желательно затарить в мешки. При разработке карьера загрязненный песок целесообразно промывать и просушивать. Хранить песок рекомендуется в закрытых складах. Нецелесообразно прокаливать песок с целью повышения его реакционной способности и увеличения прочности камня.

Гранулометрический состав песка. Изучение и использование цементно-песчаных смесей следует проводить в двух направлениях: 1) исследование возможности и целесообразности применения немолотого песка; 2) исследование возможности использования молотого песка (совместный помол клинкера и песка). Стремление к использованию песков подобранного гранулометрического состава для обеспечения «жесткости каркаса» по типу бетонов не может быть оправдано, так как во всех случаях необходимо руководствоваться получением раствора удовлетворительной подвижности.

Оценив качество песка как добавки к тампонажным цементам с точки зрения его гранулометрического состава, отмечаем, что пригоден любой кварцевый песок, но менее желателен мелкий с большим количеством пылевых фракций, требующих введения повышенного количества воды. Нижнюю границу размера

зерен устанавливать нецелесообразно, так как при использовании даже молотого песка с удельной поверхностью, примерно равной удельной поверхности цемента, были получены хорошие результаты. При наличии нескольких кварцевых песков целесообразно выбирать те, у которых фракция, прошедшая через сито со стороной ячейки 0,15 мм, составляла не более 30%. Размалывать песок нецелесообразно, однако если необходимо получать и применять цементно-песчаные смеси низкой плотности при высоких температурах и давлениях, то помол песка обязателен.

Нежелателен песок и с большим содержанием крупных фракций, так как последние могут осаждаться в приемном чане, под клапаном насоса и т. д., что приводит к неустойчивости в работе. Для кварцевого песка плотностью 2,6 г/см³, исходя из практических соображений, желательно, чтобы песок был не крупнее 0,6—0,7 мм; при плотности его 3 г/см³ и более (кварцево-железистые пески) целесообразно иметь максимальную величину зерен 0,3—0,4 мм. В противном случае при изготовлении цементно-песчаного раствора песок выпадает в осадок, что приводит к необходимости взбалтывания раствора в чане.

Цементно-песчаные смеси можно перемешивать вручную, с помощью цементно-смесительных машин, в заводских условиях — в мельницах, барабанах, шнековых смесителях и других устройствах.

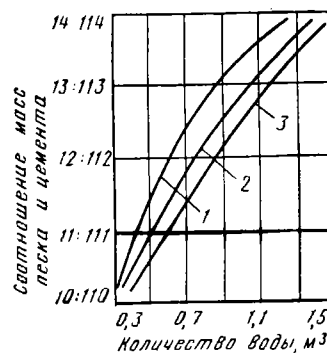
Транспортировка цементно-песчаных смесей в цементно-смесительных машинах не вызывает существенного расслоения и перемещения более тяжелых частиц вниз.

Подбор цементно-песчаной смеси

При составлении цементно-песчаной смеси с учетом условий твердения необходимо руководствоваться гранулометрическим составом, загрязненностью и количеством вводимого песка. Для обеспечения подвижности 16—19 см по конусу АзНИИ цементного раствора 1:0 требуется примерно 38—40% воды от массы цемента. С увеличением количества вводимого песка (при постоянном гранулометрическом составе) для получения раствора первоначальной подвижности следует повышать водоцементное отношение. Более правильно было бы рекомендовать подбор рецептуры с помощью конуса АзНИИ для каждого конкретного случая. Однако в производственных условиях это не всегда возможно, поэтому целесообразно выявить зависимость, позволяющую установить примерное количество воды для обеспечения приемлемой подвижности раствора с заданным соотношением цемента и песка гранулометрического состава.

Для определения количества воды рекомендуется график (рис. 83), построенный на основании большого количества ре-

Рис. 83. Зависимость количества воды цементно-песчаных растворов от крупности песка и соотношения сухих компонентов. Растекаемость, см: 1 — 16; 2 — 17; 3 — 18



зультатов опытов. Учитывая, что в различных нефтяных районах кварцевый песок имеет неодинаковый гранулометрический состав, обращаем внимание, что количество воды подбирали с песками, размеры зерен которых находились в пределах: 1,15—0,60 мм, 0,6—0,3 мм; весь песок проходил через сито с размером ячейки 0,3 мм и имел следующий гранулометрический состав:

Сторона квадратного отверстия сита, мм	0,297	0,210	0,149	0,105	0,074	0,053	0,053*
Остаток на сите, %	1,35	22,20	21,80	14,50	11,70	7,20	21,14* $\Sigma=99,89$

* Прошло через сито.

На рис. 83 по оси ординат (для удобства определения) нанесены массовые отношения песка к цементу (эти отношения показывают, сколько массовых единиц песка приходится на одну массовую единицу цемента). На оси абсцисс указано количество воды, требуемое для получения цементно-песчаного раствора определенного соотношения при растекаемости 16—18 см. Задаваясь отношением массы песка известного (сравниваемого с испытанными) гранулометрического состава к массе цемента, с помощью кривых можно легко определить количество воды для обеспечения необходимой растекаемости раствора.

При температурах 20—40 °С в выпускаемые тампонажные цементы, имеющие повышенную растекаемость цементного раствора (25 см и более), можно вводить определенное количество песка—в некоторых случаях до 30%; при этом масса имеет удовлетворительную подвижность. В этих условиях сроки схватывания смеси будут сохраняться, а прочность и плотность камня возрастут вследствие понижения количества воды, удерживаемого поверхностью песка. Со временем прочность и плотность камня повысятся в результате физико-химического взаимодействия между песком и компонентами цемента. По истече-

нии 48 ч образцы, твердевшие при 22 °С с 30% песка, могут и не показать прочности чистого цементного камня из-за слабой связи с зернами песка. Увеличение дозировки песка требует повышения водоцементного отношения, что вызывает понижение прочности цементно-песчаного камня.

Повышение температуры до 75 °С при водоцементном отношении 0,5 дает возможность увеличить количество вводимого кварцевого песка до 50% от массы цемента без понижения его двухсуточной прочности. Песок в этих условиях с увеличением срока твердения начинает играть положительную роль как связующее некоторого количества гидроксида кальция, понижающего плотность цементного камня.

Повышение температур до 110 °С более резко изменяет физико-механические свойства цементно-песчаного раствора, так как температура интенсифицирует процессы взаимодействия составляющих цемента с кварцем.

В табл. 30 приведены сравнительные данные образцов цементного и цементно-песчаного камня, твердевшего при различных температурах и давлениях.

С повышением температуры до 140 °С и давления до 40 МПа механические показатели образцов значительно повышаются. В более жестких температурных условиях ($T=200$ °С) твердения механические показатели цементно-песчаных образцов также изменяются, достигая максимального значения у смесей, близких по составу к 1 : 1.

Рассмотренные при небольшом увеличении поверхности разлома цементно-песчаных образцов, твердевших при температурах 140—200 °С и высоких давлениях, показывают, что отдельные зерна кварцевого песка имеют негладкую, изъеденную поверхность и сцепление их с цементирующим веществом заметнее, чем сцепление в теле цементного камня.

Преимущества цементно-песчаных растворов по сравнению с чистым вполне очевидны, поэтому следует рекомендовать их для применения при цементировании глубоких высокотемпературных скважин повсеместно.

При высоких температурах (выше 100 °С) и давлениях введение кварцевого песка в тампонажные портландцементы приводит к получению камня с более высокими физико-механическими свойствами, чем при использовании аморфного кремнезема (опоки).

Проницаемость цементно-песчаного камня

Введение кварцевого песка в портландцементы, твердеющие при высоких температурах и давлениях, резко понижает проницаемость цементно-песчаного камня (табл. 31).

Изменение механической прочности цементных образцов с увеличением дозировки песка при различных температурах и давлениях

Состав смеси	Предел прочности через 24 ч, МПа					
	$T=110^{\circ}\text{C}$ $p=30$ МПа		$T=140^{\circ}\text{C}$ $p=40$ МПа		$T=200^{\circ}\text{C}$ $p=50$ МПа	
	На изгиб	На сжа- тие	На изгиб	На сжа- тие	На изгиб	На сжа- тие
1:0	—	—	1,96	5,0	—	—
2:1	4,20	—	8,85	27,9	10,13	36,8
1:1	—	—	—	—	—	—
1:2	2,27	6,6	8,0	28,0	6,60	22,0
1:3	—	—	—	—	—	—
1:5	—	—	4,96	—	—	—

Состав смеси	Предел прочности через 48 ч, МПа					
	$T=110^{\circ}\text{C}$ $p=30$ МПа		$T=140^{\circ}\text{C}$ $p=40$ МПа		$T=200^{\circ}\text{C}$ $p=50$ МПа	
	На изгиб	На сжа- тие	На изгиб	На сжа- тие	На изгиб	На сжа- тие
1:0	4,38	16,7	1,97	5,0	1,91	4,7
2:1	4,55	18,7	8,85	29,2	11,11	36,7
1:1	4,48	—	9,0	30,6	—	—
1:2	4,28	11,7	8,60	28,2	6,43	24,4
1:3	2,50	7,3	6,56	20,7	4,82	17,0
1:5	—	—	5,69	13,3	4,04	12,7

При наибольшей крупности песка (0,2—0,3 мм) без пластификаторов целесообразно использовать смеси с песком в количестве до 100%. При нормальной температуре проницаемость снижается значительно через более длительный период твердения цементно-песчаных образцов.

Физический смысл повышения механической прочности и понижения проницаемости цементного камня, содержащего кварцевый песок и твердевшего в условиях высоких температур и давлений, следует искать в химическом взаимодействии кремнезема со свободной известью и другими продуктами гидратации клинкера, в улучшении структуры камня, замене частиц цемента высокопрочным кварцем и т. д. С ростом температуры и увеличением доли кварцевого песка (до известного предела) указанные факторы активизируются.

Так как при цементировании скважин цемент используется, как правило, в чистом виде, добавление кварцевого песка существенно сократит затраты на строительство скважин.

Изменение проницаемости цементного и цементно-песчаного камня двухсуточного возраста в зависимости от дозировки песка и условий твердения (цемент карадагский)

Условия твердения		Проницаемость (мкм ²) образцов состава Ц : П					
T, °C	p, МПа	1:0	2:1	1:1	1:2	1:3	1:5
110	30	0,27	0,58	1,35	—	—	26,00
140	40	29,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
200	50	30,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Применение цементно-песчаных смесей при цементировании глубоких высокотемпературных скважин вызывает необходимость обработки их замедлителями сроков схватывания. Рецептуру добавок подбирают аналогично подбору рецептуры на базе тампонажных портландцементов без песка.

ШЛАКОПЕСЧАНЫЕ ЦЕМЕНТЫ

Роль вяжущего материала в шлакопесчаных цементах выполняет шлак, активность которого повышается с ростом температуры. Роль замедлителя — кварцевый или кварцево-магнетитовый песок.

В дальнейшем было предложено использовать кварцевый песок естественной крупности, что значительно удешевило стоимость шлакопесчаного цемента, и шлакопесчаный цемент совместного помола с более замедленными сроками схватывания.

При выплавке металлов получают миллионы тонн шлаков в результате расплавления нерудных минералов, всегда содержащихся в металлических рудах, и флюсов, которые добавляют для придания шлаку легкоплавкости и очистки жидкого металла от нежелательных примесей (сера, фосфор, марганец). Выплавление 1 т чугуна сопровождается образованием примерно 1 т шлака.

Доменные шлаки в гранулированном виде, т. е. после быстрого их охлаждения в особых грануляционных установках, используют в производстве различных цементов.

Доменные шлаки, издавна применяемые в строительной практике, по химическому составу приближаются к портландцементному клинкеру, отличаясь от него обычно меньшим содержанием оксида кальция. При нормальных условиях с целью интенсификации процессов схватывания и твердения для обогащения шлаки размалывают вместе с известью и портландцементным клинкером. Были разработаны известково-шлаковый, шлакопортландский и гипсошлаковый цементы, получившие широкое распространение в строительстве. Доменные шлаки,

как основные, так и кислые, применяют в цементной промышленности главным образом в гранулированном виде, после помола.

Доменный шлак — это неметаллический продукт, состоящий в основном из силикатов и алюминатов кальция, который получается вместе со сталью (чугуном) в доменной печи в виде расплава и затем охлаждается. При быстром охлаждении водой, паром или воздухом образуется гранулированный шлак, при медленном — комовой. Высокую гидравлическую активность доменный шлак приобретает при очень быстром охлаждении или грануляции водой. Медленно охлаждаемый шлак успевает до некоторой степени закристаллизоваться и гидравлические свойства его снижаются. Шлак, гранулированный небольшим количеством воды (так называемый шлак сухой грануляции), имеет незначительную активность. Сам по себе шлак, даже гранулированный, в обычных условиях при затворении водой мало активен и для его возбуждения требуется введение ускорителей. Однако при повышении температуры и давления активность шлака настолько возрастает, что его иногда следует применять с замедлителями сроков схватывания.

Химико-минералогический состав шлака и способ его охлаждения определяют физико-механические свойства шлаковых цементов: сроки схватывания, подвижность, плотность, механическую прочность и т. д. Глинозем (Al_2O_3) считается весьма ценной составной частью шлаков. Кремнезем SiO_2 понижает гидравлические свойства шлаков, и повышенное содержание его может быть оправдано лишь тем, что при грануляции из шлаков легче получить стекловидную массу, являющуюся необходимым компонентом для их гидравлической активности. Магния MgO благоприятно влияет на гидравлические свойства и заменяет известь. Считается, что избыточное количество MgO может вызвать увеличение объема камня. Оксид фосфора P_2O_5 считается вредной добавкой, хотя однозначно этот вопрос не решен. Оксид марганца MnO также относится к вредным добавкам, уменьшающим реакционную способность шлаков (снижает прочность). Однако установлено, что при очень высоких температурах и давлениях шлаковые цементы с повышенным содержанием MnO имеют замедленные сроки схватывания. ГОСТ 3476—74 устанавливает количество закиси марганца в доменных гранулированных кислых шлаках, идущих для производства строительных цементов, в следующих соотношениях: не более 2% для I сорта и не более 4% — для II; не более 2% для I сорта и не более 2—5% — для II.

Закись железа FeO в небольших количествах вредного действия на механическую прочность камня не оказывает. Но увеличение ее более 10% приводит к «железному распаду» шлаков, вызванному переходом закиси железа в оксид и связанно-

му с этим увеличением объема. Отмеченное обстоятельство также, видимо, не может быть признано отрицательным при цементировании обсадных колонн. Сульфидная сера — вредная примесь; ее количество строго регламентируется указанным стандартом. Ее содержание в основных шлаках не должно превышать 3,6%. Общеизвестно, что более активные цементы получают из гранулированных шлаков, но активность их со временем снижается энергичнее, чем у комовых.

Для получения тампонажных цементов могут быть использованы как гранулированные, так и комовые шлаки, однако первым следует отдавать предпочтение, особенно при температурах до 150—170 °С.

В каждом конкретном случае к выбору шлаков и оценке их свойств применительно к цементированию скважин необходимо подходить на основании лабораторных данных.

Считается, что чем выше модуль активности (M_a), $M_a = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$, тем выше гидравлические свойства, выше прочность камня.

ГОСТ 3476—74 требует, чтобы модуль активности основных шлаков был не менее 0,17, а для кислых — не менее 0,33.

Согласно стандарту, рекомендуется проверять качество шлака и по модулю основности (M_o): $M_o = (\text{CaO MgO})/(\text{SiO}_2 \text{Al}_2\text{O}_3)$, который для основных шлаков должен быть не менее 1,0; для кислых — не менее 0,65.

Однако во многих случаях гранулированные основные шлаки, имея близкие химические составы, дают совершенно неодинаковые по тампонажным характеристикам растворы. Важное значение для получения тампонажных цементов имеют степень и режим грануляции, условия хранения, температура шлака и многие другие пока еще не выявленные факторы.

Большинство гранулированных доменных шлаков мало отличается по плотности; все они легче портландцемента.

Свойства шлаковых цементов существенно отличаются от свойств портландцемента. При нормальных условиях шлаковые цементы очень медленно твердеют, однако с повышением температуры до 100 °С и выше процессы схватывания и твердения интенсифицируются и из шлакопесчаного цемента образуются плотные и прочные камни, очень стойкие в агрессивных средах. Остальные технические свойства (изменение объема, водопотребность, подвижность и др.) близки к свойствам портландцемента. Повышенная стойкость в минерализованных и пресных водах дает возможность рекомендовать их к применению в качестве тампонажного материала в нефтяных и газовых скважинах, где высокая минерализация вод отрицательно сказывается на долговечности портландцементного камня.

Сроки схватывания и механическая прочность шлаковых растворов и камня

Большинство растворов на базе доменных гранулированных шлаков схватывается и затвердевает в камень как при высоких, так и при низких температурах. При комнатной температуре и атмосферном давлении сроки схватывания очень замедлены, а увеличение механической прочности происходит за большой промежуток времени, тогда как при повышенных температурных указанных процессы активизируются. Так, шлакопесчаный раствор состава 1 : 1 при количестве воды, подобранном по конусу АзНИИ до расплыва 16—17 см, остается жидким более месяца. Для его схватывания и затвердения в камень с прочностью 15—20 МПа при сжатии необходимо увеличивать срок до 5—6 мес. Шлакопесчаный раствор при твердении не расслаивается. Песок («грузинский»), имеющий высокую плотность ($3,07 \text{ г/см}^3$), не осаждается, хотя смесь долгое время остается жидкой.

Активность смесей возрастает с увеличением температуры. Некоторые шлаки (мариупольский, дзержинский) сразу после помола при испытании в воде с температурой 75°C схватываются за 1,5—3 ч, что позволяет их применять в скважинах с указанной температурой. Шлакопесчаный цемент в отличие от портландского не подвержен интенсивному загустеванию в течение значительного времени после затворения.

В обычных условиях статическое напряжение сдвига шлаковых растворов невелико и незначительно изменяется в течение 30 мин.

С ростом количества песка в смеси сроки схватывания замедляются, причем тем интенсивнее, чем больше взято песка, и при составе 1 : 1 в случае использования любого песка они удлиняются примерно в 15 раз. Кварцево-магнетитовый песок по сравнению с кварцевым приводит к несколько большему замедлению сроков схватывания шлаковых цементов. С увеличением количества песка в смеси (до 30—40%) наблюдается рост прочности. При большей дозировке песка в обоих случаях прочность снижается. Проницаемость образцов при температуре 90°C близка к нулю, тогда как проницаемость образцов из чистого шлака достигает $(10 \div 15) \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$.

Увеличение температуры до $100\text{—}130^\circ\text{C}$ приводит к ускорению сроков схватывания и повышению механической прочности.

Сроки схватывания растворов, твердеющих при температуре $110\text{—}125^\circ\text{C}$, наступают значительно раньше, чем при температуре $75\text{—}90^\circ\text{C}$, и без добавления песка в смесь эти растворы часто непригодны для цементирования скважин. При более высоких температурах и давлениях сроки схватывания растворов из чистых гранулированных шлаков свежего помола наступа-

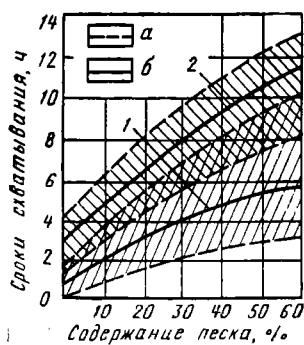


Рис. 84. Зависимость сроков схватывания шлакопесчаных растворов от содержания песка ($t=170^{\circ}\text{C}$, $p=50\text{ МПа}$):

а — области времени начала и конца схватывания; б — усредненные значения; 1 — начало схватывания; 2 — конец схватывания

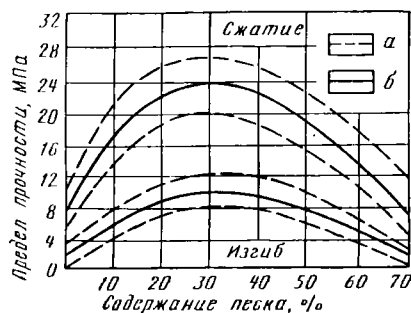


Рис. 85. Зависимость механической прочности шлакопесчаного камня от содержания песка ($t=150^{\circ}\text{C}$, $p=50\text{ МПа}$):

а — области сжатия и изгиба; б — усредненные значения

ют, как правило, очень быстро и для цементирования скважин следует применять смеси их с песком.

Механическая прочность образцов также зависит от количества вводимого песка. Все шлакопесчаные смеси двухсуточного возраста имеют более высокую прочность, чем чисто шлаковые. Прочность шлакопесчаных смесей наиболее велика в случае введения 20—40% песка.

Для общей характеристики большого количества доменных гранулированных шлаков, хранившихся после помола от 1 до 9 мес, построен график (рис. 84), на котором показана зависимость сроков схватывания растворов из различных шлаков от дозировки песка. Кривые, построенные на основании результатов около 700 анализов, дают качественную оценку шлакопесчаных смесей вообще как тампонажных растворов и позволяют судить о возможности применения их при температуре 150°C и давлении 50 МПа. Из рис. 84 видно, что повышение дозировки песка в смеси приводит к увеличению периода схватывания.

По данным опытов построены кривые, устанавливающие изменение пределов прочности на изгиб и сжатие шлакопесчаных образцов двухсуточного возраста при введении различных дозровок песка при температуре 150°C и давлении 50 МПа (рис. 85). В данном случае использовались те же шлаки, что и при установлении сроков схватывания. Песок способствует повышению прочности и при наличии его в смеси в количестве 20—40% предел прочности двухсуточных образцов достигает максимального значения. Последующее прибавление песка способствует уменьшению прочности камня.

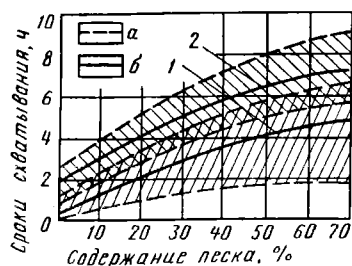


Рис. 86. Зависимость сроков схватывания шлакопесчаных растворов от содержания песка ($t=200^{\circ}\text{C}$, $p=50\text{ МПа}$):

а — области времени начала и конца схватывания, *б* — усредненные значения; 1 — начало схватывания; 2 — конец схватывания

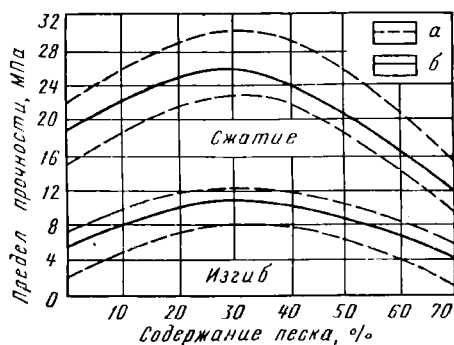


Рис. 87. Зависимость механической прочности шлакопесчаного камня от содержания песка ($t=200^{\circ}\text{C}$, $p=50\text{ МПа}$):

а — области сжатия и изгиба; *б* — усредненные значения

В условиях действия температур до 200°C и давлений до 50—70 МПа (рис. 86) для получения шлакопесчаных растворов со сроками схватывания, приемлемыми для практики цементирования глубоких скважин, массовая доля песка должна быть повышена до 30—70%. Шлаки после помола хранились от 1 до 9 мес.

Механическая прочность шлакопесчаного камня двухсуточного возраста при температуре 200°C и давлении 50 МПа изменяется аналогично прочности образцов при температуре 150°C и давлении 50 МПа, но максимум ее несколько сдвигается в сторону повышенной дозировки (рис. 87). Отдельные шлакопесчаные образцы, твердевшие при температуре 200°C и давлении 70 МПа, имеют предел прочности на изгиб до 12—14 МПа, а при сжатии — до 30 МПа. Во всех случаях при использовании шлакопесчаного цемента при любых соотношениях шлака и песка (за исключением 1:0) проницаемость получаемых образцов одно-, двух- и семисуточного возраста близка к нулю. Образцы, извлеченные из скважины и твердевшие 60 ч при температуре 140°C и давлении 40 МПа, также были непроницаемыми. Превышение оптимального количества песка способствует уменьшению механической прочности, так как при данных условиях активных составляющих недостаточно для полного связывания молотого песка.

Введение немолотого песка также способствует увеличению прочности шлакопесчаного камня, хотя в некоторых случаях абсолютное значение приращения ее несколько ниже. Учиты-

вая значительно меньшую удельную поверхность немолотого кварцевого песка, количество его можно повысить.

Собственно шлак гидратирует тем полнее, чем выше температура. Изменение степени гидратации шлаковых составляющих легко может быть прослежено по изменению плотности и пористости затвердевшего раствора. С увеличением температуры от 110 до 200 °С при давлении 40 МПа плотность чистых шлаковых растворов падает от 2,66—2,68 до 2,46—2,48 г/см³; уменьшается и пористость. Глубина гидратации зерен шлака возрастает. При температуре 200 °С кривая прочности начинает выполаживаться; то же наблюдается и в изменении характера кривой плотности. Для полной гидратации его зерен нужна или более высокая температура, или больший срок твердения.

ШЛАКОПЕСЧАНЫЕ ЦЕМЕНТЫ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ СКВАЖИН С ЗАБОЙНОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВЫШЕ 200 °С И ДАВЛЕНИЯМИ ДО 100 МПа

Для цементирования скважин с забойной температурой более 200 °С и давлениями до 100 МПа наиболее перспективными оказались смеси на базе кислых доменных шлаков, обладающие приемлемыми сроками схватывания и дающие плотный безусадочный камень с вполне достаточной прочностью. Образцы камня показали полную его газонепроницаемость.

Сроки схватывания растворов из кислых шлаков увеличиваются при повышении дозировки кварцево-магнетитового песка. Так, соотношение масс шлака и песка 1 : 1 обеспечивает получение растворов с достаточными сроками схватывания. Рассматриваемые смеси можно применять при более высоких температурах и давлениях. Так, даже при температурах 250—300 °С и давлении 100 МПа на базе доменных шлаков можно подобрать смеси, обладающие необходимыми свойствами для цементирования, и получить непроницаемый камень достаточной прочности.

Результаты работы с другими шлаками показали, что они также могут быть использованы для цементирования глубоких высокотемпературных скважин, но рецептуру необходимо подбирать для каждого конкретного случая. Шлаки, не дающие растворов с замедленными сроками схватывания при рассмотренных условиях сразу после помола, при вылеживании в течение некоторого времени становятся медленносхватывающимися.

ШЛАКОПЕСЧАНЫЕ ЦЕМЕНТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕСКА ЕСТЕСТВЕННОЙ КРУПНОСТИ

Одним из преимуществ шлакопесчаного цемента, получаемого перемешиванием измельченных шлака и песка, является его сравнительно низкая стоимость; основные затраты связаны с помолом. Затраты могут быть снижены в результате примене-

ния кварцевого или кварцево-магнетитового песка естественной крупности. При этом для свежемолотых шлаков заметного снижения качества камня и раствора не наблюдается. Эти растворы характеризуются некоторым ускорением сроков схватывания по сравнению с растворами, в состав которых введен молотый песок.

Для использования в данном случае пригодны различные кварцевые пески — от барханного до крупнозернистого.

Сроки схватывания шлакопесчаных растворов можно регулировать в желаемых пределах введением песка. Механическая прочность цементного камня определяется в основном действием температуры; проницаемость камня близка к нулевой.

В качестве примера можно привести результаты испытаний шлака Мариупольского металлургического завода и кварцевого песка.

Механическая прочность шлакопесчаного камня тем выше, чем больше срок твердения его при данной температуре. Так, при температуре 130 °С и давлении 40 МПа образцы шлакового (без песка) раствора затвердевали через двое суток в камень с пределом прочности при изгибе 15 МПа, через 7 сут — 3,0 МПа и через 14 сут — 3,2 МПа. Примерно таков характер изменения предела прочности при сжатии этих же образцов, однако абсолютные величины выше.

Введение кварцевого кубанского песка способствует повышению абсолютной величины пределов прочности на изгиб и сжатие, но характер изменения остается тем же. Судя по изменению механической прочности наиболее желательны составы 2 : 1 и 1 : 1 (шлак : песок).

Абсолютные значения механической прочности шлакопесчаного камня всех возрастов, твердевшего при температуре 170 °С, значительно выше соответствующих прочностей образцов, твердевших при температуре 130 °С. Чистый шлаковый камень, твердевший в условиях действия температуры 170 °С и давления 40 МПа, при увеличении срока повышает механическую прочность. Так, если через двое суток предел прочности образцов на изгиб составляет 2,2 МПа, то через 7 и 14 суток он равен соответственно 5,0 и 5,7 МПа. Введение 33% (3 : 1) песка от массы шлака позволяет повысить прочность камня через двое суток до 7 МПа.

Прочность образцов также повышается при увеличении продолжительности твердения образцов и содержания песка до соотношения 1 : 1.

Проницаемость как шлакового, так и шлакопесчаного образцов, твердевших 2, 7 и 14 сут при температуре 170 °С и давлении 40 МПа, не превышает $2 \cdot 10^{-3}$ мкм². Камни имеют очень плотную мелкозернистую структуру и практически непроницаемы для воды.

Незначительное увеличение позволяет рассмотреть очень плотную структуру шлакопесчаного камня, твердевшего при высоких температурах и давлениях. Сцепление зерен песка со шлаковой составляющей очень велико, на что указывают разломы на отдельных зернах кварца.

Стабильность шлакопесчаных растворов в некоторых случаях недостаточна, а сроки схватывания (особенно при использовании свежемолотых шлаков) коротки. Плотность растворов существенно повышается.

Шлакопесчаные растворы в случае необходимости обрабатывают замедлителями сроков схватывания.

ТАМПОНАЖНЫЕ ЦЕМЕНТЫ НА БАЗЕ ФЕРРОМАРГАНЦЕВОГО ШЛАКА

Шлаг чугуна — ферромарганец содержит оксид марганца в пределах 5—12%, что делает его практически несхватывающимся и не твердеющим в обычных условиях. При температуре более 100 °С и высоких давлениях измельченные гранулированные ферромарганцевые шлаки начинают проявлять вяжущие свойства. Эти шлаки в качестве вяжущего могут быть использованы при температурах 150—300 °С. Верхняя граница области применения ферромарганцевых шлаков составляет 350—400 °С.

При температуре 175 °С и давлении 70 МПа начало схватывания химически не обработанного ферромарганцевого шлакопесчаного раствора составляет 4,5—5,5 ч, при температуре 200 °С и давлении до 100 МПа начало схватывания более 3 ч.

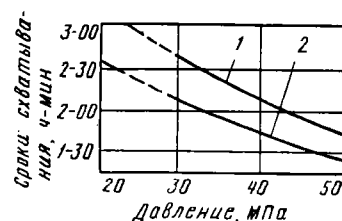
Если необходимо использовать ферромарганцевый шлак при более низких температурах, то требуется либо обрабатывать его ускорителями сроков схватывания, либо вводить обычный доменный шлак. Сильным ускорителем для данного шлака является кальцинированная сода, введение которой в количестве 1% от массы шлака позволяет при температуре 125 °С и давлении 40 МПа получать растворы с началом схватывания 2,0—2,5 ч. Введение в ферромарганцевый шлак передельного позволяет значительно расширить область его применения.

ШЛАКОПЕСЧАНЫЕ ЦЕМЕНТЫ СОВМЕСТНОГО ПОМОЛА

Наибольший эффект замедления сроков схватывания шлакопесчаных растворов обеспечивается при совместном помоле шлака и кварцевого песка. Если при прочих равных условиях начало схватывания шлакопесчаного раствора с немолотым кварцевым песком наступает через 1 ч, то при использовании молотого оно удлиняется ориентировочно до 1 ч 30 мин. При использовании шлакопесчаного цемента совместного помола начало схватывания удлинится до 4 ч.

Рис. 88. График влияния давления на сроки схватывания шлакового раствора (1:0) при температуре 100 °С:

1 — начало схватывания; 2 — конец схватывания



Эффект замедления сроков схватывания растворов из шлакопесчаных цементов совместного помола наблюдается в диапазоне температур до 200—250 °С и давлений до 100—120 МПа. Замедляющая способность песка, совместно измельченного со шлаком, характерна для всех кварцевых песков, не содержащих ускоряющих примесей.

На сроки схватывания растворов из шлакопесчаного цемента совместного помола влияет не столько тонкость помола, сколько метод его измельчения.

Механизм замедления сроков схватывания (процессов структурообразования) шлакопесчаных растворов при совместном помоле шлака и песка заключается в изменении поверхностных свойств измельченного песка и шлака. Мельчайшие шлаковые частицы своими активными центрами адсорбируются на аморфизованной поверхности кварца. Аморфизованный кремнезем может адсорбироваться на крупных шлаковых гранулах. В результате наиболее растворимые (наиболее активные) центры шлаковых частиц изолируются на некоторое время от воздействия воды. Скорость растворения шлаковых составляющих уменьшается, что приводит к удлинению сроков схватывания.

Раздельное и совместное влияние температуры и давления на свойства шлаковых растворов

Для всех шлаков характерно сокращение сроков схватывания при возрастании температуры и постоянном давлении.

Механическая прочность образцов двухсуточного возраста с увеличением температуры неуклонно возрастает.

Влияние давления на шлаки различных заводов неодинаково и в значительной степени зависит от температуры, при которой раствор твердеет, срока и условий хранения шлака после помола.

С увеличением давления, но при постоянной температуре, которая способствует быстрому протеканию процесса схватывания шлакопесчаного раствора, начало схватывания сокращается (рис. 88). Прочность при этом вначале несколько повышается, затем незначительно падает, но в общем изменение давления не оказывает заметного влияния на прочность образцов шлакопесчаного камня двухсуточного возраста. При температу-

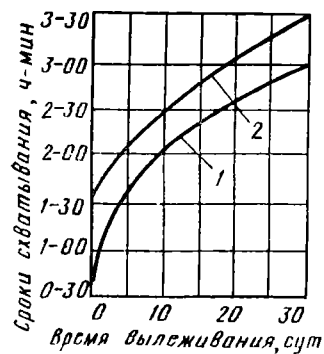


Рис. 89. График изменения сроков схватывания шлакового раствора при вылеживании ($t=140^{\circ}\text{C}$, $p=40\text{ МПа}$):
1 — начало схватывания; 2 — конец схватывания

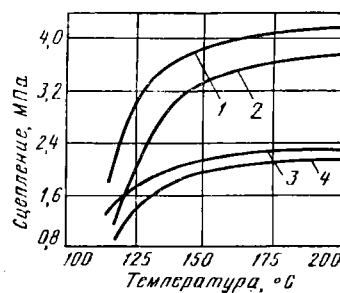


Рис. 90. График влияния температуры на сцепление шлакового и шлакопесчаного растворов со стальным стержнем.

Время твердения: 1 и 3 — 48 ч, 2 и 4 — 96 ч; растворы: 1 и 2 — шлаковые, 3 и 4 — шлакопесчаные

рах до 200°C увеличение удельной поверхности шлака способствует возрастанию двухсуточной прочности шлаковых образцов.

Влияние срока вылеживания на свойства шлаковых цемента

Свойства цементов на базе доменных шлаков изменяются при длительном хранении после помола, что необходимо учитывать при подборе рецептуры и выявлении пригодности данной смеси для конкретных условий. Хранение немолотого шлака (до одного года) почти не сказывается на изменении свойств приготовленного из него раствора. Свойства измельченного шлака изменяются тем значительнее, чем продолжительнее срок хранения и чем больше влаги в воздухе; водопотребность его возрастает, сроки схватывания замедляются. Механическая прочность образцов изменяется незначительно.

При определенных обстоятельствах способность шлаков удлинять сроки схватывания при хранении после помола может расцениваться как положительный фактор и его следует использовать при подготовке смесей для глубоких высокотемпературных скважин. Хранение в эксикаторе в течение 4—6 мес практически мало сказывается на изменении свойств шлака. Наиболее существенное изменение сроков схватывания растворов наблюдается в первое время после помола шлака (рис. 89). Замечено, что чем тоньше измельчен шлак, тем интенсивнее падает его активность.

Вязкость раствора максимально повышается в первые 1—2 мес хранения шлака. При пониженных температурах наиболь-

шее замедление сроков схватывания растворов прослеживалось в первые 2—4 мес хранения шлака. С повышением температуры и давления среды интенсивность замедления сроков схватывания растворов снижалась.

Измельченные шлаки, находясь в открытой таре под навесом в естественных условиях, изменяют свойства приготовленных из них растворов в зависимости от продолжительности хранения примерно так же, как и при хранении в помещении. Однако в первом случае снижение активности более заметно.

Водоотдача шлаковых растворов

К одному из существенных недостатков шлакопесчаных растворов следует отнести быстрое отстаивание воды. Свойства шлакопесчаных растворов могут быть улучшены введением в них бентонитовых глин.

С увеличением добавки бентонитовой глины количество воды, идущей на затворение для получения раствора с необходимой растекаемостью (17—18 см), возрастает и при дозировке ее 12,5% составляет 53,4% против 33,5% для чистого раствора. Увеличение количества глины снижает водоотдачу раствора и при некотором количестве ее вода практически не отделяется.

Шлакопесчаный раствор, содержащий примерно треть воды, большую часть ее отфильтровывает за первые минуты после затворения. Введение в раствор небольших количеств бентонитовой глины способствует снижению водоотдачи, и уже при добавке 5% ее от массы сухой смеси количество отфильтрованной воды снижается почти вдвое. При дозировке 12,5% бентонитовой глины через 5 мин водоотдача составляет 0,3%, к 30 мин — 3% и через 1 ч — 6%, хотя при этом водопотребность шлакопесчаных растворов увеличивается, т. е. в раствор вводили дополнительное количество воды на смачивание глины.

Введение бентонитовой глины в шлакопесчаные цементы способствует также снижению плотности раствора, главным образом в связи с увеличением количества воды в растворе.

Сцепление шлаковых цементов с металлом

Сцепление шлакопесчаных цементов со стальным стержнем (по ранее описанной методике) зависит от температуры, давления, водошлакового отношения и других факторов.

Из рис. 90 видно, что сцепление твердеющего шлакопесчаного раствора с металлом возрастает с увеличением температуры и сроков схватывания.

Смазывание стальных стержней буровым раствором во всех случаях приводит к снижению сцепления до нуля. При выдавливании стержней переменного сечения из цементного камня,

Изменение сроков схватывания шлакопортландцементных смесей при температуре 22 °С

Массовый состав раствора, %			Сроки схватывания, ч—мин	
шлак	цемент	вода	начало	конец
100	0	29	60—00	64—00
90	10	29	6—50	8—00
80	20	29	6—50	7—40
70	30	30	6—40	7—40
50	50	30	6—00	7—10
30	70	46	5—25	6—50
10	90	40	5—00	6—35
0	100	40	5—00	6—35

находящегося в обойме, сцепление интенсивно возрастает и общая нагрузка достигает больших значений, что указывает на то, что шлакопесчаный камень, находясь в обойме, работает на сжатие.

ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТЫ

Для успешного использования шлаковых и шлакопесчаных цементов при температурах ниже 100—120 °С необходимо вводить интенсификаторы твердения. К их числу относится портландцемент. В табл. 32 приведены данные об изменении сроков схватывания шлаковых растворов с различным содержанием тампонажного портландцемента.

Данные табл. 32 показывают, что шлаковый раствор при температуре 22 °С схватывается весьма медленно. Массовая добавка 10% портландцемента приводит к резкому сокращению сроков схватывания раствора, причем основную роль при этом играет портландцемент. Дальнейшее увеличение дозировки портландцемента способствует незначительному последовательному ускорению сроков схватывания, в связи с чем нецелесообразно повышать его количество. С возрастанием температуры до 75 °С активность шлака увеличивается и добавка даже 3% портландцемента приводит к очень быстрому ускорению сроков схватывания, что объясняется также сроками схватывания раствора из портландцемента: чем быстрее схватывается портландцемент, тем интенсивнее схватывается смесь.

Механическая прочность смесей приведенных составов изменяется в зависимости от количества вводимого портландцемента. Повышение последнего от 3 до 17% от массы смеси увеличивает механическую прочность образцов на изгиб (сжатие) через одни сутки твердения в 3,2 (6,2) раза; через двое суток —

Физико-механические свойства шлакопортландцементных образцов, твердеющих при 75 °С

Массовый состав раствора, %			Предел прочности образцов, МПа			
шлак ли- пецкий	портландце- мент	вода	двухсуточного возраста		десятисуточного возраста	
			на изгиб	на сжатие	на изгиб	на сжатие
100	0	42	—	—	2,4	8,5
90	10	42	2,3	4,7	2,7	11,7
80	20	43	3,5	15,2	5,2	16,0
70	30	44	4,6	16,9	5,6	20,2
60	40	44	5,3	20,9	6,0	20,7
50	50	43	5,9	22,1	6,3	22,1
40	60	42	6,0	22,3	6,9	23,1
30	70	41	7,4	27,9	7,2	—
20	80	40	8,9	30,9	8,1	33,5
10	90	38	8,9	37,4	6,3	30,2
0	100	35	10,0	41,9	—	—

в 2,6 (6,2) и через 7 сут — в 3,4 (7,2) раза. Для получения камня с повышенными прочностными показателями целесообразно вводить 10—20% портландцемента. Сроки схватывания раствора будут несколько более замедленными по сравнению с растворами из портландцемента. С удлинением времени твердения таких смесей пределы прочности их как на изгиб, так и на сжатие возрастают. С увеличением дозировки портландцемента проницаемость шлакопортландцементных образцов уменьшается. Плотность камня из шлакопортландцемента увеличивается и при удлинении времени твердения образцов.

Дальнейшее повышение температуры и давления приводит к интенсификации процессов твердения шлаковых растворов. Шлакопортландцементные растворы без предварительного анализа в лаборатории применять нельзя, если забойная температура превышает 80—90 °С. Сроки схватывания этих смесей регламентируются в основном сроками схватывания портландцемента и наступают, как правило, очень быстро, что не дает возможности рекомендовать их для цементирования скважин без дополнительной химической обработки. При правильном подборе шлакового раствора с учетом срока вылеживания шлака вполне возможно применение их при температуре 100—125 °С без использования активаторов.

Шлакопортландцементные образцы при твердении в условиях действия температуры 75 °С с возрастом увеличивают механическую прочность, если в смесь введено до 60% портландцемента (табл. 33).

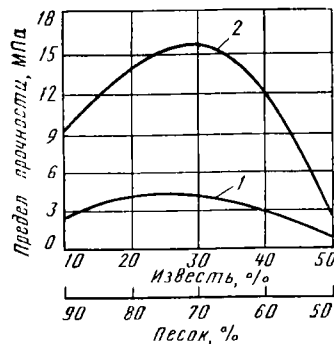


Рис. 91. Изменение механической прочности известково-песчаного камня двухсуточного возраста ($t=150^{\circ}\text{C}$, $p=50$ МПа):

1 — на изгиб; 2 — на сжатие

Твердение образцов при температуре 75°C при дозировках портландцемента не более 60% приводит к некоторому снижению прочности к 1 сут. Загрязнение шлакопесчаных цементов портландскими и неучет этого явления при химической обработке растворов приводят к резкому ускорению сроков схватывания.

В качестве других ускорителей сроков схватывания шлакопесчаных растворов могут быть применены известь, гипс и т. д. Использование извести в качестве регуляторов сроков схватывания шлаковых смесей позволяет получить растворы, обладающие затяжными сроками схватывания, но пониженной механической прочностью.

ИЗВЕСТКОВО-ПЕСЧАНЫЕ РАСТВОРЫ

Известково-песчаные растворы могут быть получены смешиванием извести-кипелки (извести-пушонки и известкового теста), молотого кварцевого песка и бентонитовой глины для стабилизации раствора. Растворы схватываются и затвердевают в камень при высоких температурах. При пониженных температурах (менее 100°C) растворы долгое время остаются в пастообразном состоянии. Повышение температуры и давления приводит к резкому ускорению сроков схватывания и при температурах $130\text{--}150^{\circ}\text{C}$ и давлении 50 МПа начало схватывания растворов не менее 30 мин. В качестве замедлителя применяют виннокаменную кислоту (1,25%) в комбинации с борной кислотой (0,25—0,50%). Такое количество замедлителя обеспечивает получение известково-песчаного раствора с началом схватывания 1,5—2 ч при температурах $150\text{--}200^{\circ}\text{C}$ и давлении 50 МПа. Прочность камня двухсуточного возраста при этих же условиях составляет примерно 3—5 МПа на изгиб и 10—20 МПа на сжатие (рис. 91). Проницаемость камня близка к нулевой.

Вместо кварцевого песка могут быть использованы измельченные кремнеземные добавки: трасс, туф, пемза, диатомит, вулканический пепел и др.

БЕЛИТОКРЕМНЕЗЕМИСТЫЙ ЦЕМЕНТ

Для цементирования глубоких высокотемпературных скважин разработан белитокремнеземистый цемент (БКЦ), представляющий собой продукт совместного помола отходов производства глинозема, соды и поташа из нефелиновых руд, а также кварцевого песка. Вяжущим материалом в нем является нефелиновый, или белитовый, шлак. Основная масса (до 80%) нефелинового шлака представлена β - $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Общее количество гидратированных зерен составляет 5—7%.

Нефелиновые шламы в обычных условиях твердеют очень медленно, на их активность влияют температура сушки, введение активаторов (известь, гипс, портландцемент).

С увеличением температуры и давления белитокремнеземистые растворы ускоряют сроки схватывания и повышают механическую прочность. Технология изготовления БКЦ сводится к сушке и совместному или разделному (с последующим их смешением) помолу составляющих.

Сроки схватывания раствора и механическая прочность камня БКЦ определяются составом смеси, удельной поверхностью компонентов, температурой твердения и количеством воды в растворе. Оптимальное содержание кремнеземистой составляющей 30—50%. Начало схватывания такого раствора из БКЦ при температуре 160—200 °С и давлении 60—70 МПа составляет 1,5—4,5 ч. При длительном хранении, особенно при повышенной влажности, БКЦ комкуется, слеживается, но меньше, чем портландцемент. Введение портландцемента в БКЦ приводит к ускорению сроков схватывания раствора из белитокремнеземистого цемента.

Практические занятия

Расчет цементно-песчаной смеси

Масса P раствора цементно-песчаной смеси может быть подсчитана по формуле

$$P = Ц (A + B + 1). \quad (70)$$

Объем V раствора цементно-песчаной смеси определяют по формуле

$$V = Ц/\rho_c + A + B/\rho_n, \quad (71)$$

а плотность

$$\rho = \frac{A + B + 1}{1/\rho_{\text{ц}} + A + B/\rho_{\text{п}}}, \quad (72)$$

где Ц — масса цемента; $\rho_{\text{ц}}$ — плотность песка (для кварцевого песка она равна 2,65—2,75 г/см³, для «грузинского» кварцево-магнетитового — 3,05—3,08 г/см³); A — водоцементное отношение; B — отношение песка к цементу.

Объем раствора V_1 из 1 т цементно-песчаной смеси при $B : \text{Ц} = A$ и $\Pi : \text{Ц} = B$ может быть вычислен по формуле

$$V_1 = \frac{1 - B\text{Ц}}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{B\text{Ц}}{\rho_{\text{п}}} + A(1 - B\text{Ц}), \quad (73)$$

а объем V_2 цементно-песчаного раствора из 1 т цемента найден по зависимости

$$V_2 = 1/\rho_{\text{ц}} + B/\rho_{\text{п}} + A. \quad (74)$$

При использовании цементно-песчаных смесей в соотношениях, больших чем 2 : 1, необходимо увеличивать A до 0,6, пользуясь графиком (см. рис. 84).

Лабораторная работа № 6

Руководствуясь разделом «Подбор цементно-песчаной смеси» настоящей главы, подобрать цементно-песчаные растворы с различным содержанием песка и замерить плотность.

Контрольные вопросы

1. Что такое цементно-песчаные смеси?
2. Как устанавливается соотношение цемент : песок для различных температурных условий?
3. Как изменяется плотность цементно-песчаных растворов с увеличением количества песка? Почему?

Глава X

ЦЕМЕНТЫ ДЛЯ РАСТВОРОВ ПОНИЖЕННОЙ ПЛОТНОСТИ И УТЯЖЕЛЕННЫЕ ЦЕМЕНТЫ

Увеличение глубин скважин приводит к тому, что необходимый для разобщения пластов интервал возрастает, в разрезе появляется большое число горизонтов, которые должны быть разобщены. В связи с разбуриванием газовых и газоконденсатных месторождений при использовании обсадных труб со стан-

дартными резьбами и обычных тампонажных цементов часто наблюдается проникновение газа в заколонное пространство и далее к устью скважины.

Для уменьшения возможности движения газа необходимо поднять тампонажный раствор на большую высоту — до устья скважины, башмака предыдущей обсадной колонны или плотных пород с облегчением получения цементного камня необходимой плотности (минимальной проницаемости). При заполнении заколонного пространства на большую высоту плотным материалом появляется возможность повышать давление гидро разрыва, на большую глубину отгартывать жидкость в скважине при ее опробовании. При значительной высоте подъема цементного раствора в затрубном пространстве на большей длине обеспечивается лучшая сохранность обсадной колонны при наличии коррозионных пластовых вод. Большая высота подъема (до устья) тампонажного раствора в затрубном пространстве предпочтительна при наличии существенной разности температур в верхнем и нижнем участках скважины.

Тампонажный раствор можно поднять в заколонное пространство скважины на значительную высоту с помощью следующих методов:

1) применение двухступенчатого цементирования с некоторым разрывом сплошности цементного кольца по высоте;

2) использование тампонажного раствора пониженной плотности, т. е. снижение разницы плотностей цементного и бурового раствора с одновременным регулированием других свойств тампонажного раствора;

3) обратная циркуляция и его комбинации.

Облегченные тампонажные растворы получили широкое распространение в нефтедобывающих районах Советского Союза и в зарубежной практике. Наиболее известными добавками для снижения плотности цементных растворов являются бентонит, перлит, пуццолановые материалы, диатомитовая земля и гильсонит. При использовании большинства «облегчителей» снижение плотности цементного раствора заключается в удержании добавками избыточного количества воды, т. е. в повышении водоцементного отношения или введения с наполнителем воздуха. Во всех случаях введение «облегчителей» способствует снижению механической прочности камня.

В качестве облегчающей добавки наибольшее распространение получил бептонит. Он дает возможность значительно повысить водоцементное отношение и тем самым снизить плотность; заметного расслоения раствора при этом не наблюдается.

Перлит также способствует удержанию большого количества воды. Как правило, его вводят в цемент вместе с небольшим количеством бентонита — во избежание флотации частиц

перлита и для получения более однородного раствора. Однако растворы с добавкой перлита обладают существенным недостатком: под влиянием давления перлит разрушается и плотность растворов повышается, что может привести к осложнениям.

Добавление пуццолановых материалов незначительно понижает плотность цементного раствора — всего до $1,6 \text{ г/см}^3$. Использование диатомовой земли при цементировании скважин в США способствует введению в цементные растворы большого количества воды. Она снижает прочность цементного камня, но в связи с пересмотром требований к его прочности широко используется в зарубежной практике. Образцы с диатомовой землей показали повышенную устойчивость в агрессивной среде.

Гильсонит представляет собой твердый углеводород, классифицируется как асфальт. Он имеет зернистую структуру и низкую плотность ($1,07 \text{ г/см}^3$), практически непроницаем, химически нейтрален в цементном растворе. Наличие его в смеси не влияет на действие различных ускорителей сроков схватывания. Добавление гильсонита к цементу в соотношении $1:4$, $1:2$ достаточно для успешной борьбы с поглощением цементного раствора. Гильсонит требует введения меньшего количества воды, чем другие «облегчители», вследствие чего и прочность камня выше. Однако в маловязком цементном растворе гильсонит из-за малой плотности способен всплывать, поэтому необходимо соблюдать особые меры предосторожности и вводить бентонит в качестве структурообразующей добавки.

При цементировании нефтяных и газовых скважин используют легкие цементные растворы, изготавливаемые тремя способами:

1) смешение цементного порошка с неводопотребной добавкой более низкой плотности. Примером такой добавки является гильсонит. Интервал изменения плотности невелик;

2) смешение цементного порошка с водопотребной добавкой; в результате введения избыточного количества воды (до получения раствора требуемой подвижности) может быть значительно изменена плотность раствора. Примерами такой добавки являются глина, опока и др.;

3) смешение цементного порошка с добавками, содержащими воздух (например, керамзит, золы, перлит). Плотность раствора может быть получена низкой, однако при помещении раствора в среду гидродавления плотность резко повышается, что следует из данных табл. 34.

Анализ данных табл. 34 показывает, что давление существенно повышает плотность цементно-перлитового раствора. Изменения плотности раствора при различных условиях пока не может быть предопределено. При повышении давления объ-

**Изменение плотности цементно-перлитовых растворов
при различных давлениях**

Состав раствора, кг			Давление, МПа	Начальная плотность раствора ρ_0 , г/см ³	Плотность при давлении ρ , ρ_p , г/см ³	$\rho_p - \rho_0$, г/см ³
цемент	перлит	вода				
100	25	100	10	1,31	1,52	0,21
			30		1,52	0,21
			50		1,53	0,25
100	33	145	30	1,19	1,42	0,23
			50		1,44	0,25
100	50	210	30	1,05	1,35	0,30

ем цементно-перлитового раствора уменьшается на 15—30 %, что должно учитываться на практике.

Наиболее просты в приготовлении и применении цементно-бентонитовые растворы.

Облегченные цементные растворы могут быть получены тремя способами.

Первый способ. Вяжущий материал затворяют буровым (бентонитовым) раствором. Затворять цемент на специально приготовленном буровом растворе проще. Приготовление специального раствора представляет определенные трудности. Часто целесообразно использовать и имеющийся буровой раствор, однако следует проверить его в пробном затворении, а их смесь — в лаборатории.

Второй способ, основанный на затворении водой тщательно смешанных цемента и глины, успешно применяется во многих нефтегазовых районах Советского Союза. При затворении водой сухих материалов смесь может комковаться, а плотность раствора бывает выше, чем в первом случае. Тем не менее тщательный контроль и подготовка смеси позволяют устранить указанные недостатки.

На рис. 92 приведена схема приготовления облегченных тампонажных растворов на базе тампонажного портландцемента и бентонитовой порошкообразной глины.

При этом способе получения облегченных цементно-бентонитовых растворов могут образоваться пачки раствора с высокой (вследствие неравномерности смешения глины и цемента) или низкой вязкостью.

При первом способе можно получить более легкие растворы, но, несмотря на перечисленные преимущества, применять их рекомендуется только в случаях несложных цементирований по следующим причинам: а) в условиях буровой невозможно строго выдерживать подобранную в лаборатории рецептуру; как реологические свойства раствора, так и физико-механические

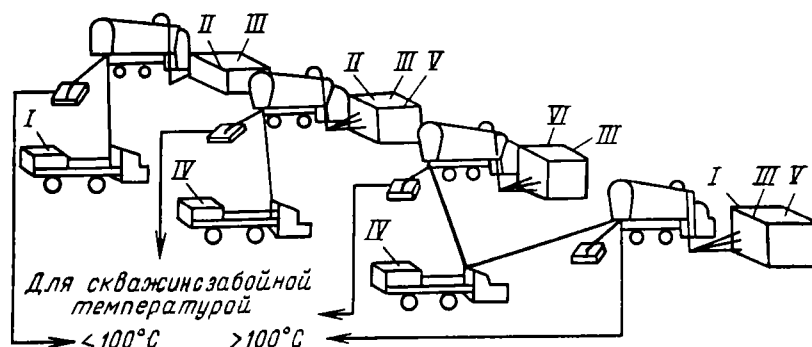


Рис. 92. Схема приготовления облегченных тампонажных растворов:

I — вода, реагенты-понижители вязкости; II — портландцемент; III — бентонитовая глина; IV — вода, реагенты-замедлители и понизители вязкости; V — порошкообразная опока; VI — шлаковый цемент

показатели, находясь в непосредственной зависимости от степени и качества обработки глинистого раствора, будут резко изменяться, что может привести к неожиданным результатам; б) физико-механические свойства цементно-бentonитового камня в данном случае ниже, чем при втором способе, при котором, кроме того, обеспечивается расширение несвязавшейся с водой глины в заколонном пространстве скважины.

Возможен и третий способ приготовления легких тампонажных растворов: заготовленный буровой раствор направляют вместе с цементным в нагнетательные линии, перемешивают у цементировочной головки в блоке манифольда 1БМ-700 и транспортируют в скважину. Способ прост, но требует серьезной подготовительной работы.

В зависимости от свойства используемого цемента и бентонита растворы могут несколько отличаться друг от друга, но результаты физико-механических испытаний близки для трех способов приготовления растворов.

При нормальных условиях указанные смеси имеют затяжные сроки схватывания, однако при температуре 75°C они схватываются относительно быстро. При больших дозировках бурового раствора и относительно низких температурах желательно введение ускорителей. Повышение температуры до 120°C и давления до 40 МПа ускоряет сроки схватывания растворов и без замедлителей они практически не пригодны к использованию. Обработка легких растворов замедлителями и ускорителями ничем не отличается от аналогичной обработки обычных растворов. Замедлитель целесообразнее растворять в воде до смешения с бентонитом. При увеличении количества бентонитовой глины в смеси наблюдается последовательное снижение плотности раствора. Введение крупного песка и песка средней круп-

ности во всех случаях способствует повышению плотности раствора, однако если температура в скважине выше 100 °С, его необходимо добавлять в смесь по указанным ранее соображениям. В этом случае более подходящим следует считать мелкий или молотый песок, который требует дополнительного количества воды на смачивание и в некоторой степени компенсирует повышение плотности раствора.

Во всех случаях с увеличением содержания бентонита уменьшается прочность камня, удлиняются сроки схватывания раствора и понижается его плотность. С возрастанием времени твердения образцов в воде с температурой 75 °С наблюдается рост прочности цементного камня при всех дозировках бентонита. Избыточное количество воды в растворе повышает проницаемость и уменьшает устойчивость камня.

Цементно-бентонитовые растворы рекомендуется применять не только в осложненных условиях бурения. Они успешно могут быть использованы и дают несомненный эффект в скважинах, где бурение ведется с буровыми растворами нормальной плотности (например, в условиях, аналогичных условиям Татарии, Башкирии и т. д.).

Цементно-бентонитовые растворы обладают ярко выраженной структурной вязкостью, минимальное значение которой находится в пределах 0,12—0,2 Па·с. С ростом температур наблюдается тенденция к повышению вязкости. Этот факт необходимо учитывать при цементировании скважин, так как в некоторых случаях загустевание растворов приводит к резкому возрастанию давлений.

Необходимость снижения вязкости цементно-бентонитовых растворов вполне очевидна. Этого можно достичь повышением водоцементного отношения растворов или обработкой химическими реагентами. Вторым путем наиболее приемлем, так как без ухудшения физико-механических свойств камня и резких колебаний плотности растворов можно получить подвижные смеси с практически не повышаемыми во время процесса цементирования скважины структурно-механическими свойствами.

В качестве разжижителя цементно-бентонитовых растворов используется сульфитно-спиртовая барда.

При температуре 22 °С через двое суток твердения прочность образцов цементно-бентонитовых смесей мала; пределы прочности образцов на сжатие при составах от 4 : 1 до 3 : 2 изменяются от 1,0 до 0,3 МПа. Через 28 сут твердения образцы тех же композиций имеют пределы прочности на сжатие соответственно 9 и 3,5 МПа.

Рост температуры до 75 °С способствует повышению механической прочности цементно-бентонитового камня. Так, приведенные составы затвердевали в камень через двое и 28 сут с пределами прочности на сжатие соответственно 9—5 и 10—

**Основные показатели смесей и растворов при различном соотношении
портландцемента и бентонитового глинопорошка**

Состав смеси, кг		Соотноше- ние масс цемента и глины	Плотность, г/см ³	Соотноше- ние масс воды и смеси	Растекае- мость по кольцу АзНИИ, см	Примерный объем рас- твора из 1 т смеси, м ³	Примерный объем 1 т сухой сме- си, м ³	Эквивалент- ное количе- ство смеси (взамен 1 т цемента) для полу- чения одинакового объема рас- твора
цемент	глина							
1000	0,00	1:0	1,85	0,50	22	0,82	0,32	1,00
800	2,00	4:1	1,56	0,84	18	0,17	0,33	0,70
750	2,50	3:1	1,50	0,93	18	1,27	0,34	0,65
670	3,30	2:1	1,46	1,05	18	1,39	0,34	0,59
600	4,00	3:2	1,45	1,05	17	1,40	0,35	0,59
500	5,00	1:1	1,38	1,30	18	1,65	0,35	0,50

7,5 МПа. Введение опоки в растворы способствует улучшению качества цементно-бентонитового камня почти во всех случаях. Его проницаемость при принятой методике определения (просушивание образцов при температуре 105 °С до постоянной массы) низка: при температуре 75 °С через 7 сут твердения и более она уменьшается с возрастом камня. При температуре 22 °С вследствие низкой прочности цементно-бентонитовые образцы при просушивании разрушаются. После воздушной сушки образцов в течение 7 сут проницаемость невелика. Повышение температуры до 100—110 °С и давления до 40 МПа способствует резкому снижению проницаемости цементно-бентонитового камня после двухсуточного твердения, что позволяет применять предложенные смеси до температуры 100—110 °С.

В табл. 35 приведены основные показатели смесей и растворов при различном соотношении портландцемента и бентонитовой глины, рекомендованных к промышленному применению. Во всех случаях портландцемент и глинопорошок предварительно смешивают и затем затворяют водой, время перемешивания раствора принято равным 3 мин. Из табл. 35 видно, что выход раствора значительно возрастает с повышением дозировки глинопорошка.

**ОБЛЕГЧЕННЫЕ ТАМПОНАЖНЫЕ РАСТВОРЫ С ТОНКОМОЛОТЫМИ
КРЕМНЕЗЕМИСТЫМИ ДОБАВКАМИ**

При температурах выше 100 °С и высоких давлениях в цементно-бентонитовые растворы целесообразно вводить молотые кремнеземистые добавки, которые, связываясь с выделяющимся гидроксидом кальция, образуют низкоосновные гидросиликаты, устойчивые в данных условиях.

Снижение плотности цементных растворов может быть обеспечено также вследствие повышения водоцементного отношения, однако роль «облегчителя» может выполнять тонкомолотая кремнеземистая добавка. Плотность раствора в данном случае можно снизить до $1,5 \text{ г/см}^3$.

К числу кремнеземистых добавок, применяемых для снижения плотности тампонажных растворов, относятся диатомит, пемза, опока, трепел.

Преимуществом облегченных тампонажных растворов с добавками указанных кремнеземистых материалов являются повышенные физико-механические свойства камня при твердении в условиях действия высоких температур и давлений. К недостаткам относятся повышенная водоотдача и способность к расслоению.

Для увеличения сроков схватывания и загустевания раствора при высоких температурах и давлениях следует применять замедлители. При этом необходимо учитывать, что часть реагента адсорбируется на поверхности глины или кремнеземистой добавки, поэтому по отношению к цементу необходимо брать повышенное количество замедлителя. Цементно-бentonитовые растворы в данном случае требуют относительно большего количества реагента.

В МИНГ разработан тампонажный цемент с добавкой трепела. Разработанная смесь содержит 47% клинкера, 50% трепела, 3% гипса и позволяет готовить раствор плотностью $1,5 \text{ г/см}^3$ при водоцементном отношении 0,9. Начальная вязкость раствора 0,6 Па·с; раствор имеет несколько пониженную водоотдачу, относительно легко обрабатывается замедлителем сроков схватывания КМЦ.

ОБЛЕГЧЕННЫЕ ШЛАКОВЫЕ РАСТВОРЫ

При высоких температурах и давлениях в связи с ухудшением физико-механических свойств камня из тампонажного портландцемента для приготовления облегченных цементных растворов целесообразно применять шлаки. На их основе могут быть изготовлены облегченные тампонажные растворы как с тонкоизмельченными кремнеземистыми, так и глинистыми материалами.

Наибольшее распространение получили шлаковые облегченные растворы с бентонитовой глиной, а также с бентонитовой глиной и опокой.

На рис. 93 показано изменение плотности шлакобentonитового раствора с увеличением дозировки бентонита и воды. Различные шлаки по-разному реагируют на введение бентонитовой глины, но во всех случаях сроки схватывания последовательно замедляются (рис. 94). Некоторые шлаки при введении уже

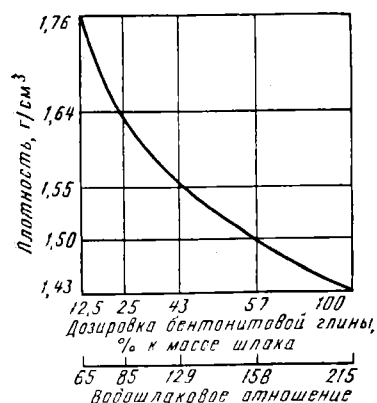


Рис. 93. График изменения плотности шлакобentonитового раствора с увеличением дозировки бентонита и воды

30—50% бентонитовой глины настолько удлиняют время начала схватывания, что смеси практически мало пригодны для испытуемых условий. Поэтому их следует либо применять при более высоких температурах, либо обрабатывать активаторами. Например, введение 43% глины (к массе лежалого шлака) способствует замедлению начала схватывания шлакоглинистого раствора ориентировочно от 20 мин до 1 ч 20 мин при температуре 130°C и давлении 40 МПа. Введение 100% глины дает возможность замедлить начало схватывания раствора до 6 ч 30 мин. Повышение температуры до 150°C способствует сокращению сроков схватывания, однако абсолютное значение (4 ч 20 мин) остается (соотношение 1 : 1) достаточно продолжительным для цементирования.

Лежалый шлак позволяет получить шлакобentonитовые растворы с еще более продолжительными сроками схватывания, на его основе могут быть получены растворы с удовлетворительными сроками схватывания при более высоких температурах. Введение опоки вместе с глиной способствует улучшению структуры шлакобentonитового камня, повышению прочности камня, понижению его проницаемости.

Добавление бентонитовой глины в больших количествах к шлаковому цементу способствует, вопреки установившемуся мнению, увеличению механической прочности шлакоглинистого камня, если добавка глины не превышает примерно 50% массы шлака (рис. 95). Рост механической прочности образцов прослеживается при увеличении возраста камня (температура 130°C). При температуре 170°C и давлении 40 МПа прочность чистого шлакового камня несколько выше, чем прочность образцов с глиной. Тем не менее, абсолютные значения прочности камня в данном случае выше, чем при температуре 130°C. Добавление опоки также способствует росту прочности камня.

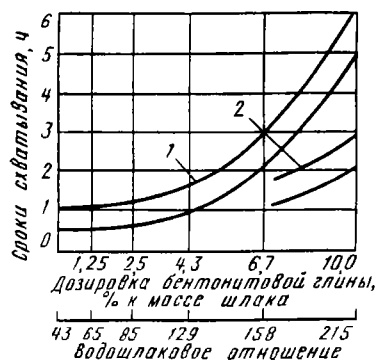


Рис. 94. График изменения сроков схватывания шлакобentonитовых растворов с увеличением дозировки бентонита и воды:
1 — $t=130^{\circ}\text{C}$, $p=40$ МПа (шлак свежего помола); 2 — $t=170^{\circ}\text{C}$, $p=40$ МПа (шлак лежалый)

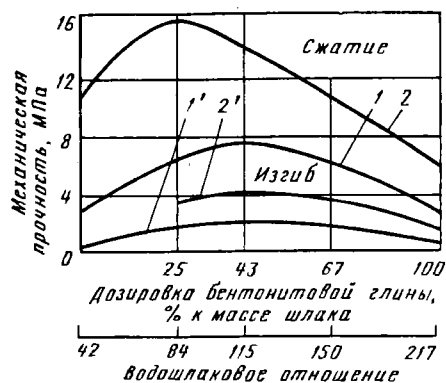


Рис. 95. График изменения механической прочности шлакобentonитовых образцов двухсуточного возраста с увеличением дозировки бентонитовой глины:
1, 1' — $t=130^{\circ}\text{C}$, $p=40$ МПа; 2, 2' — $t=170^{\circ}\text{C}$, $p=40$ МПа

С повышением количества глины в образце пористость его увеличивается, а плотность и объемная масса уменьшаются.

Облегченные растворы на базе шлака могут быть приготовлены затворением шлаков ранее изготовленным бентонитовым раствором. Разработаны и другие облегченные тампонажные растворы на базе портландцемента, шлака, извести. В МИНГ и ИНХ и ПС АН КазССР получен состав известково-кремнеземистого цемента, на основе которого могут быть получены растворы более низкой плотности.

АЛИНИТОВЫЙ ЦЕМЕНТ И ТАМПОНАЖНЫЙ ОБЛЕГЧЕННЫЙ МАТЕРИАЛ

Алинитовый портландцемент, изготовленный на основе алинитового клинкера низкотемпературного синтеза, разработан Ташкентским НИИстромпроектом. Алинитовый клинкер получают, обжигая при сравнительно низких ($1000\text{—}1200^{\circ}\text{C}$) температурах исходный шлам с добавлением минерализатора обжига. В качестве минерализатора применяют хлорид кальция.

По минералогическому составу алинитовый клинкер значительно отличается от клинкера тампонажного портландцемента. Основным минералом у него является не алит C_3S , а алинит $\text{Ca}_{11}(\text{Si}_{0,75}\text{Al}_{0,25})_4\text{O}_{18}\text{Cl}$. Кроме известных минералов, в клинкере присутствуют хлоралюминаты, хлорферриты и хлоралюмоферриты кальция. Кристаллическая структура алинита принципиально отличается от структуры алита, что и определяет новые свойства цемента — высокую гидравлическую активность и ско-

рость гидратации, что приводит к интенсивному твердению цементного раствора.

Во ВНИИКРнефти при участии НИИСтромпроекта разработан состав алинитового портландцемента для цементирования нефтяных и газовых скважин.

Гранулометрический состав тампонажного алинитового цемента отличается от тампонажного портландцемента. Первый при удельной поверхности 3800—4000 см²/г имеет массовый остаток на сите № 008 не более 10%, а портландцемент — не более 15%.

Соотношение крупных и мелких частиц в сравниваемых цементах различно: алинистый цемент содержит мелких частиц (10—20 мкм) в 2—3 раза больше, чем обычный портландцемент. Это обеспечивает высокую седиментационную устойчивость растворов из алинистого цемента.

При растекаемости по конусу АзНИИ менее 18 см сроки схватывания при температуре $22 \pm 2^\circ\text{C}$ находятся в пределах 3 ч. Разница между концом и началом схватывания составляет 15—20 мин, загустевание при температуре 75°C около 1,5 ч. Цементный камень при температуре $22 \pm 2^\circ\text{C}$ уже через 12 ч имеет прочность при изгибе не меньше 1,5 МПа, а к 24 ч — не менее 2,8 МПа.

Короткие сроки схватывания, высокая начальная прочность, способность сохранять эти свойства в течение длительного времени позволяют использовать алинистый цемент в качестве базового вяжущего для облегченных материалов, твердеющих при низких положительных температурах.

На базе алинистого портландцемента во ВНИИКРнефти разработан материал тампонажный облегченный типа МТО, который представляет собой сухую смесь, содержащую 93—95% алинистого цемента с 5—7% перлитового песка марок М75 или М100.

МТО, как и базовое вяжущее, обладает короткими сроками схватывания (около 4—5 ч), высокой прочностью, которая через 24 ч составляет 0,7—0,9 МПа при температуре $22 \pm 2^\circ\text{C}$.

Полученный раствор седиментационно-устойчив, а цементный камень малопроницаем.

Как базовое вяжущее, так и МТО устойчивы в коррозионных средах, технология применения не требует никаких дополнительных операций.

Рекомендуемый температурный интервал применения алинистого цемента и МТО — от 10 до 75°C .

УТЯЖЕЛЕННЫЕ ЦЕМЕНТНЫЕ РАСТВОРЫ

В нефтяных и газовых скважинах применяют утяжеленные тампонажные цементы. Утяжеление цементных растворов целесообразно только при цементировании скважин, бурящихся с

Некоторые физические свойства утяжелителей

Физические свойства	Пиритовые огарки	Гематит	Магнетит	Ферросилиций	Зеркальный чугун	Феррофосфор
Плотность, г/см ³	4,29	4,35	4,52	6,52	6,55	7,69
Средняя плотность, г/см ³ :						
рыхлого	1,87	1,89	2,39	2,13	2,14	3,64
уплотненного	2,26	2,32	2,81	2,09	2,93	4,76
Наибольший размер зерен, мм	0,15	0,20	0,30	0,15	0,15	0,20

использованием буровых растворов плотностью примерно 1,9 г/см³ и выше.

Утяжелять цементные растворы можно двумя способами: получением рудных цементов и введением в цементы утяжеляющих добавок. Первый способ не позволяет получить цементные растворы высокой плотности, второй (смешение цементов с порошкообразными утяжелителями) позволяет регулировать плотность в широких пределах в зависимости от количества, гранулометрии и влагоемкости утяжелителя. Для снижения количества воды с целью повышения плотности целесообразно вводить в раствор реагенты-пластификаторы, наиболее эффективными из которых являются сульфитно-спиртовая барда, сульфитно-целлюлозный экстракт и др.

В табл. 36 приведены некоторые физические свойства утяжелителей.

Из данных табл. 36 видно, что плотность утяжелителей достаточно высока, причем у феррофосфора она достигает 7,69 г/см³.

Наличие посторонних примесей в гематите и особенно в пиритовых огарках требует введения в растворы излишнего количества воды, что связано с понижением плотности утяжеленных цементных растворов. Плотность раствора при использовании одного и того же утяжелителя можно повысить в результате более грубого его помола, так как в этом случае на его смачивание требуется меньше воды. Часто крупнозернистый утяжелитель меньшей плотности обеспечивает возможность получения раствора с более высокой плотностью, чем тонкоизмельченный утяжелитель повышенной плотности. Первые три утяжелителя довольно часто используются в практике. Утяжелители имеют относительно высокую твердость по Бринеллю: зеркального чугуна — 350 НВ, ферросилиция — 220 НВ. Тем не менее указанное обстоятельство не может служить серьезным препятствием к применению их в качестве утяжелителей, так

Таблица 37

Изменение свойств цементных растворов, твердеющих при температуре 90 °С, при введении различных утяжелителей

Массовая доля компонентов раствора, %			Плотность, г/см ³	Сроки схватывания, ч—мин		Предел прочности через 2 сут, МПа		Пористость, %
цемент	утяжелитель	вода		начало	конец	на изгиб	на сжатие	
100	0	40	1,90	1—26	1—46	6,8	21,6	37,9
100	0	50	1,83	1—50	2—40	4,7	9,3	46,5
Гематит								
100	50	61	1,98	1—31	2—26	3,6	6,3	44,2
100	100	74	2,09	1—37	2—40	2,8	3,8	44,8
100	150	88	2,17	1—39	2—41	2,0	2,7	44,9
100	200	100	2,20	1—41	2—43	1,4	2,3	45,0
Магнетит								
100	50	53	2,08	1—56	2—13	4,3	7,7	43,2
100	100	55	2,32	1—33	2—29	4,0	7,3	39,3
100	150	58	2,48	1—25	2—15	3,9	7,1	36,0
100	200	61	2,60	1—22	2—09	3,5	6,5	35,4
Ферросилиций								
100	70	62	2,18	—	6—33	2,8	5,3	44,9
100	100	70	2,29	6—10	7—28	2,6	5,2	46,5
100	150	81	2,42	6—26	8—18	2,5	3,9	47,9
100	200	88	2,56	6—51	8—21	2,2	3,8	49,5
Зеркальный чугун								
100	70	61	2,19	6—09	6—53	3,2	7,3	44,3
100	100	69	2,29	7—01	8—06	2,9	7,1	45,7
100	150	76	2,43	7—14	8—13	—	6,9	45,9
100	200	79	2,62	7—25	8—37	2,8	6,0	46,5
Феррофосфор								
100	50	56	2,11	3—00	3—50	3,8	5,9	42,0
100	100	59	2,45	4—23	5—57	3,4	—	45,0
100	150	65	2,69	4—33	6—46	3,2	4,7	47,5
100	200	67	2,89	4—31	6—49	3,1	4,6	47,7

как стоимость их низка, а эффективность значительна. В качестве утяжелителя применяют также и барит.

В табл. 37 приведены данные о влиянии утяжелителей на свойства цементных растворов, твердеющих при температуре 90°C в течение двух суток. Добавление к цементу гематита позволяет готовить растворы довольно высокой плотности и при соотношении цемента к гематиту 1:2 можно получить раствор плотностью 2,2 г/см³. По мере увеличения количества гематита в растворе механическая прочность образцов снижается.

Введение ССБ позволяет замедлить сроки схватывания, уменьшить расходы воды и тем самым повысить плотность и прочность образцов. Цементные растворы значительно утяжеляются при использовании магнетита (магнетитового песка). Магнетит имеет меньшую водопотребность, чем гематит.

Пиритовые огарки вследствие относительно низкой плотности и большой загрязненности породой, требующей введения избыточного количества воды, не позволяют существенно повысить плотность раствора. Добавление к цементам ферросилиция и зеркального чугуна несмотря на их высокую плотность не дает ожидаемого эффекта вследствие высокой водопотребности порошка.

При определенном (оптимальном) гранулометрическом составе использование незагрязненных утяжелителей высокой плотности даст возможность получить тампонажные растворы большой плотности.

Качество материала как утяжелителя цементных растворов может быть оценено удельной поверхностью, плотностью, чистотой, отсутствием водопотребных добавок и гранулометрическим составом. Для получения цементных растворов высокой плотности недостаточно иметь утяжеляющий материал высокой плотности, необходимо, чтобы он имел вполне определенную удельную поверхность и был чист, свободен от водопотребных добавок. Наоборот, в отдельных случаях, пользуясь материалом относительно невысокой плотности (2,5—3,0 г/см³), но низкой удельной поверхности, можно значительно утяжелить цементные растворы. Поэтому неверно считать, что следует обязательно молоть утяжелитель до тонкости помола цементного порошка. Это необоснованно и технико-экономически невыгодно.

Удельную поверхность утяжелителя следует подбирать (при технической возможности) для каждого конкретного случая с учетом увеличения плотности раствора при сохранении или улучшении других его свойств. Высококачественным утяжелителем для повышения плотности цементных растворов могут считаться зерна оксидов железа и других тяжелых материалов, гранулометрический состав которых ограничивается размером сит 0,60—0,15 мм или если указанная фракция еще более низка

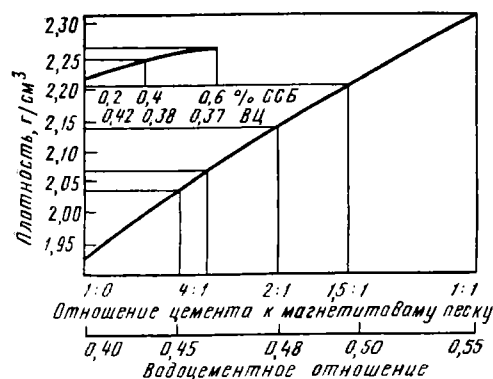


Рис. 96. График изменения плотности утяжеленных портландцементных растворов с введением магнетитового песка

(0,6—0,4 мм). Верхнюю границу зерен утяжелителя необходимо подбирать с учетом отсутствия седиментации и сохранности оборудования при транспортировании цементного раствора в затрубное пространство скважины. Естественно, понятия о тонкости помола утяжелителя применительно к буровому и цементному растворам различны.

Вводя магнетитовый песок в портландцементы, можно получить тяжелые цементные растворы (рис. 96). Так, наличие 50—100% магнетитового песка в портландцементе повышает плотность растворов до 2,14—2,33 г/см³. Наибольшие дозировки (до 0,4—0,5%) сульфитно-спиртовой барды способствуют разжижению растворов, что позволяет снизить количество воды и тем самым дополнительно увеличить плотность. При соотношении 1:1 (портландцемент: магнетитовый песок) и 0,4—0,6% ССБ был получен раствор плотностью 2,45 г/см³.

При использовании кварцевого песка естественной крупности как материала, водопотребность которого значительно меньше, чем цемента, можно получить растворы плотностью 2,05 г/см³. Введение ССБ в данном случае способствует незначительному приросту плотности.

Техника подбора рецептуры утяжеленных цементных растворов, необходимых для применения в глубоких высокотемпературных скважинах, имеет свои особенности. Замедлитель растворяют в подобранном для затворения цемента количестве воды. После установления и корректировки растекаемости раствора измеряют его плотность, которую можно повысить, снизив водоцементное отношение или повысив количество утяжелителя в смеси.

Цементные растворы утяжеляют также с помощью кварцево-магнетитового (грузинского) песка. Так как удельная поверхность этого песка мала, для его смачивания требуется небольшое количество воды и плотность цементно-песчаной смеси может быть значительно повышена.

В США для утяжеления цементных растворов применяют в основном барит различного помола и титанистый железняк, с помощью которых доводят плотность растворов до 2,10—2,25 г/см³, а также оттавский песок. Ильменит (магнетитовый песок) как утяжелитель имеет преимущества перед баритом. При специальном разделении на фракции можно получить наименее водопотребный утяжелитель цементных растворов. К высокоэффективным утяжелителям могут быть отнесены «галена» и арсенит железа, которые способствуют некоторому ускорению сроков схватывания растворов. Однако на практике они редко применяются из-за высокой их стоимости.

УТЯЖЕЛЕННЫЕ ШЛАКОВЫЕ РАСТВОРЫ

При высоких температурах и давлениях применяют утяжеленные шлаковые растворы. Утяжелителем являются те же материалы, которые используют для повышения плотности тампонажных растворов на основе портландцемента.

Шлаковый цемент по сравнению с тампонажным портландским имеет пониженную плотность, однако на базе шлака получают тампонажные растворы плотностью 2,20—2,25 г/см³.

Введение гематита, магнетита и других утяжелителей способствует некоторому замедлению сроков схватывания шлаковых растворов. Наилучшие результаты по утяжелению растворов получены с магнетитом (табл. 38).

АЭРИРОВАННЫЕ ЦЕМЕНТНЫЕ РАСТВОРЫ

При бурении скважин на истощенных месторождениях с низкими пластовыми давлениями и высокой проницаемостью пород требуется снизить давление на забое и стенке скважин. Одним из действенных мероприятий по безаварийной проводке и цементированию скважин является применение аэрированных буровых и цементных растворов.

Могут быть использованы аэрированные цементные, цементно-бentonитовые растворы и растворы, обработанные поверхностно-активными веществами (ПАВ).

Цементные и цементно-бentonитовые растворы легко аэрируются при механическом перемешивании раствора, при этом сохраняется равномерное распределение воздуха в растворе. Однако разгазируются растворы относительно быстро (особенно цементный).

Введение в воду затворения цементного или цементно-бentonитового раствора сульфонола в количестве 0,25—0,40 % позволяет доводить степень аэрации до 20—22. Растворы становятся более стабильными. Для этих же целей применяется мылонафт.

После выделения некоторого количества воздуха и затвердевания раствора цементный камень имеет достаточную прочность и пониженную проницаемость.

Тампонажные растворы аэрируются с помощью компрессора. Цементирующим агрегатом раствор сразу же закачивают в скважину. Технология приготовления и применения аэрированных тампонажных растворов разработана во ВНИИКРнефти.

Практические занятия

Определение количества материала, требуемого для приготовления необходимого объема тампонажного раствора

В соответствии с геологическими условиями устанавливают необходимую плотность (ρ) тампонажного раствора и выбирают отношение массы цементирующего материала к массе наполнителя.

Количество цементирующего материала $P_{ц.м}$ (цемент, шлак, гипс и др.), наполнителя P_n (песок, опока и т. д.) и жидкости, используемой для затворения, $P_{ж.з}$ (вода, соледержащие растворы и др.), необходимых для приготовления 1 м³ раствора заданной плотности, определяют по аналитическим зависимостям, которые получены после совместного решения уравнений:

$$P_{ц.м} = \frac{\rho - \rho_{ж.з}}{\frac{\rho_{ц.м} - \rho_{ж.з}}{\rho_{ц.м}} + \frac{1}{k} \frac{\rho_n - \rho_{ж.з}}{\rho_n}}; \quad (75)$$

$$P_n = P_{ц.м} / k; \quad (76)$$

$$P_{ж.з} = \rho - (P_{ц.м} + P_n). \quad (77)$$

В большинстве случаев для затворения растворов используют воду ($\rho_{ж.з} = 1,0$ т/м³)

$$P_{ж.з} = \rho - (P_{ц.м} + P_n).$$

Упростим уравнение

$$P_{ц.м} = \frac{\rho - 1}{1 - \frac{1}{\rho_{ц.м}} + \frac{1}{k} \left(1 - \frac{1}{\rho_n}\right)}, \quad (78)$$

где $\rho_{ц.м}$, ρ_n , ρ — плотности соответственно цемента, наполнителя и тампонажного раствора, т/м³.

Однако расчет по формуле (76) сопряжен с некоторыми трудностями, удобнее вести расчет по номограмме (рис. 97).

Пример 7. Требуется определить расход шлака (в т) на приготовление 1 м³ шлакопесчаного раствора плотностью $\rho = 2,0$ т/м³ при $k = 3:2 = 1,5$. Ис-

Изменение плотности шлаковых растворов при введении различных утяжеляющих добавок

Отношение шлака к утяжелителю	Водошлаковое отношение	Растекаемость по конусу АзНИИ, см	Плотность, г/см ³
1:0	0,50	25	1,78
1:0	0,40	17	1,90
Песок магнетитовый			
3:1	0,45	17	2,05
2:1	0,45	16	2,13
1:1	0,52	16	2,26
Гематит			
3:1	0,52	18	2,03
2:1	0,57	16	2,08
1:1	0,67	16	2,15
Песок гранулированный			
3:1	0,47	18	1,98
2:1	0,45	17	2,06
1:1	0,52	16	2,14
Песок гидроразрывной			
3:1	0,45	17	1,98
2:1	0,45	16	2,02
1:1	0,50	16	2,10
Песок кубанский			
3:1	0,47	19	1,95
2:1	0,47	18	1,98
1:1	0,55	18	2,03

ходные материалы: ферромарганцевый шлак ($\rho_{ц.м}=2,8$ т/м³) и магнетитовый песок ($\rho_n=3,3$ т/м³). Жидкость затворения — вода.

Решение. На оси ρ_n находим величину 3,3 т/м³ и проводим параллельную оси X прямую до пересечения с $k=1,5$, после чего параллельно оси опускаем прямую до пересечения с $\rho_{ц.м}=2,8$ т/м³. Затем перпендикулярно к оси Y проводим прямую до пересечения с кривой $\rho=2,0$ т/м³. Из полученной точки опускаем перпендикуляр на ось $\rho_{ц.м}$ и находим искомую величину $\rho_{ц.м}=0,91$ т/м³. Остальные значения будут в соответствии с формулами следующими: $\rho_n=0,91:1,5=0,61$ т/м³ и $\rho_v=2-(0,91+0,61)=0,48$ т/м³.

Лабораторная работа № 7

I. Подбор рецептуры тампонажных растворов пониженной плотности.

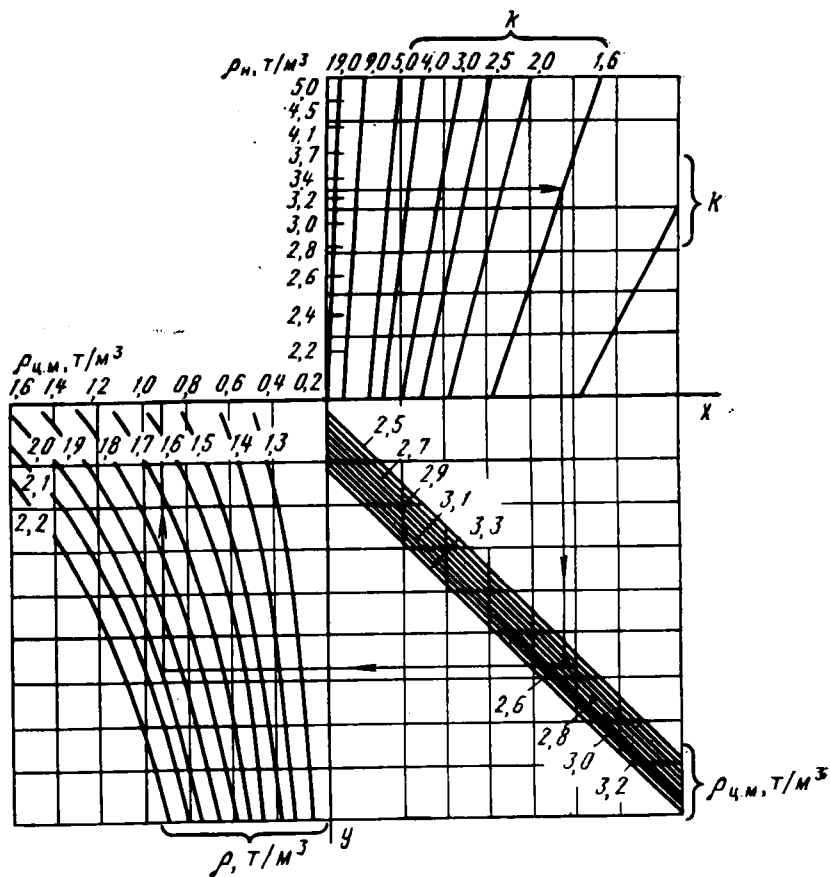


Рис. 97. Номограмма для определения массы цементирующего материала в 1 м³ тампонажного раствора заданных состава и плотности

Приготавливают сухую смесь цемента и бентонитового порошка в соотношении 2:1 (200 г цемента и 100 г бентонитового порошка). Смесь тщательно перемешивают и вливают в нее 200 см³ воды. После 3—5 мин перемешивания раствора определяют (согласно ГОСТ 1581—85):

а) растекаемость раствора (которая должна быть не менее 18 см по конусу; в случае несоответствия количество воды увеличивают);

б) плотность раствора;

в) сроки схватывания цементного раствора при температуре 75 °С.

II. Подбор рецептуры утяжеленного цементного раствора.

Приготавливают сухую смесь цемента и гематита состава 2:1 (300 г цемента и 150 г гематита). После тщательного переме-

шивания смесь затворяют водой (ориентировочно 160 см³). После 3 мин перемешивания определяют:

а) растекаемость (которая не должна быть менее 18 см по конусу);

б) плотность раствора;

в) сроки схватывания утяжеленного цементного раствора при температуре 75 °С.

III. Подбор рецептуры утяжеленного цементного раствора с заданной плотностью.

Предварительно рассчитывают компоненты по номограмме (см. рис. 97). Составляют смесь цемента и имеющегося утяжелителя заданной плотности. Смесь затворяют некоторым количеством воды, равным примерно половине массы пробы цемента плюс 2—3% на смачивание утяжелителя. Если количество воды оказывается значительным, а плотность тампонажного раствора недостаточной, то вводят 0,2—0,3% ССБ с одновременным уменьшением количества воды и определяют растекаемость. Раствор считается приготовленным, если при растекаемости не менее 18 см плотность его будет равна заданному значению.

Контрольные вопросы

1. Что такое утяжеленные тампонажные растворы?
2. Какова процедура составления утяжеленных тампонажных растворов?
3. Какова область применения утяжеленных тампонажных растворов?
4. Назовите утяжелители тампонажных растворов.

Глава XI

ЦЕМЕНТНЫЕ РАСТВОРЫ, ЗАТВОРЕННЫЕ НА КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ РАСТВОРАХ СОЛЕЙ

Значительная часть месторождений нефти и газа приурочена к подсолевым и межсольевым отложениям. Бурение и крепление глубоких скважин в солевых отложениях до настоящего времени вызывают значительные трудности. К наиболее часто встречающимся минералам относятся галит (NaCl), сильвит (KCl), бишофит (MgCl₂·6H₂O), карналлит (KCl·MgCl₂·6H₂O). Солевые отложения, имеющие различные физико-химические и механические свойства, при бурении подвержены интенсивным ка-

вернообразованиям; соли в различных концентрациях по-разному влияют на изменение свойств тампонажных растворов. Например, насыщение бурового раствора хлоридом магния в значительной мере уменьшает темп кавернообразования.

Считают установленным, что одной из основных причин недоброкачественного цементирования скважин, проведенных в соленосных отложениях, является растворение соли цементным раствором, в результате чего между стенкой скважины (представленной солями) и тампонажным камнем образуется зазор, заполненный раствором солей. В зоне контакта цементный раствор не схватывается из-за большого разбавления солей раствором. Чтобы предотвратить (или снизить) их растворение, применяют тампонажные растворы, жидкость затворения которых специально насыщена солями. Эти тампонажные растворы препятствуют заметному изменению свойств при попадании в них солей, которое приводит в зависимости от природы и концентрации солей к ускорению или замедлению сроков схватывания и загустеванию тампонажных растворов. При попадании солей в растворы свойства их изменяются и при наличии в них различных наполнителей. Тампонажные растворы, насыщенные солью, в большинстве своем совместимы с обычно применяемыми легкими и тяжелыми добавками.

Значительным практическим преимуществом тампонажных растворов, содержащих NaCl, является улучшение их реологических свойств. Добавки соли в большинство тампонажных растворов в количествах, необходимых для насыщения ею воды затворения, значительно снижают консистенцию цементного раствора и критическую скорость его закачки, от которой в значительной степени зависит полнота вытеснения бурового раствора. Эффект усиливается при добавлении соли к тампонажным растворам, содержащим бентонит. Солевая обработка тампонажных растворов существенно изменяет поведение тампонажного камня в агрессивных средах, которые представлены минерализованными пластовыми водами.

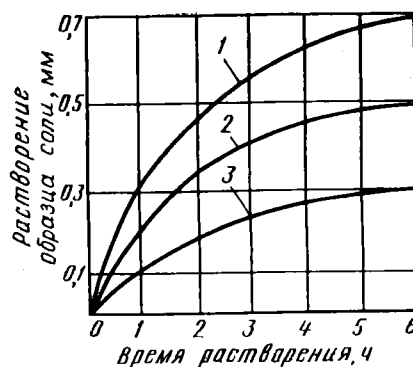
РАСТВОРЕНИЕ СОЛЕВЫХ ПОРОД В ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРАХ

Ниже представлена растворимость солей воды.

Соль	NaCl	MgCl ₂	CaCl ₂	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	Na ₂ CO ₃
Растворимость:						
г/л	360	558,1	731,9	354,3	168,3	193,9
%	26,4	36,0	42,3	26,2	14,4	16,2

С повышением температуры растворимость большинства солей возрастает. Смеси солей различного состава имеют отличную от приведенной выше растворимость. Ангидриды растворяются в воде плохо — до 2,0%. Длительность растворяющего воздействия цементного раствора на солевую стенку скважины значительно меньше, чем у воды.

Рис. 98. График растворения образцов соли на контакте с твердеющим цементным раствором при температуре 25 °С



При неполном насыщении фильтрата солью цементного раствора после окончания закачки его в затрубное пространство в статическом состоянии стенка скважины растворяется менее интенсивно; растворение продолжается до насыщения прилежащего к солевым стенкам слоя цементного раствора.

Наибольшее растворение соли наблюдалось в цементном растворе без добавок соли, с увеличением содержания соли растворение уменьшается.

На рис. 98 представлен характер растворения образцов соли (NaCl) на контакте с твердеющим цементным раствором при температуре 25 °С. Приведены растворы без соли (кривая 1), с 10 % (кривая 2) и 25 % (кривая 3) соли, введенной в воду затворения до приготовления цементного раствора.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ЗАСОЛЕННЫХ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ

Учет причин осложнений и технологических особенностей, связанных с естественной и искусственной минерализацией тампонажных растворов, а также многочисленные научно-исследовательские работы позволили сформулировать следующие условия успешного проведения процесса цементирования и повышения качества разобщения пластов в соленосных отложениях:

- 1) применение тампонажных растворов, содержащих соли и имеющих необходимые свойства;
- 2) выбор оптимального режима вытеснения бурового раствора из скважины;
- 3) предотвращение смешения бурового и тампонажного растворов в скважине.

Подбор рецептуры тампонажного раствора и количества вводимых солей определяются интенсивностью растворения солевых отложений, температурой и давлением. Важное значение имеют непроницаемость и долговечность тампонажного камня и зоны контакта тампонажный камень — солевые отложения.

Соотношение компонентов тампонажной смеси зависит от заданного насыщения (пересыщения), достигнутой концентрации соли в водном растворе для затворения и необходимого водоцементного отношения. Во всех случаях при затворении цемента засоленной водой плотность раствора существенно повышается.

Соли могут вводиться в тампонажные растворы следующим образом.

1. Их растворяют в воде затворения в количествах до насыщения воды по отношению к соли. В некоторых случаях применяют перенасыщенные растворы искусственные или естественные (рассолы). На принятом водном растворе соли затворяют цемент.

2. Тампонажный цемент перемешивают с сухой солью (в виде порошка) в заданном количестве с последующим затворением смеси водой (для данной цели малоэффективен).

3. Смесь тампонажного цемента с солью затворяют водой, в которой предварительно растворено определенное количество соли.

При температурах, близких к 22°C, добавки примерно 3—5% хлорида натрия способствуют ускорению процесса структурообразования в цементных растворах. Увеличение количества добавляемой в раствор соли приводит к замедлению процессов структурообразования. Точная дозировка NaCl, с которой процесс структурообразования раствора начинает замедляться, зависит от химико-минералогического состава цемента. Последний всегда несколько колеблется даже для цементов одного и того же завода. Поэтому считают, что поваренная соль ускоряет сроки схватывания раствора из портландцемента при температуре 22°C, когда массовая доля NaCl не превышает ориентировочно 5%. Водный раствор соли считается насыщенным, когда в нем растворено 26,4% NaCl.

На рис. 99 показано влияние различной концентрации соли (NaCl) в цементном растворе (цемент Новороссийского завода) на структурообразование при температуре 22°C (Волгоград-НИПИнефть).

При повышении температуры от 22 до 95°C (рис. 100) время структурообразования тампонажных растворов с любыми количествами соли интенсифицируется. Однако в этих условиях дозировки до 5% NaCl также замедляют процессы структурообразования раствора.

Добавка более 20% NaCl не оказывает заметного влияния на ускорение процессов структурообразования в цементных растворах, т. е. скорость структурообразования растворов при дозировке соли 20% и более практически одинакова. Дальнейшее увеличение количества поваренной соли способствует снижению механической прочности цементного камня через один—два суток твердения. Определение времени загустевания на конси-

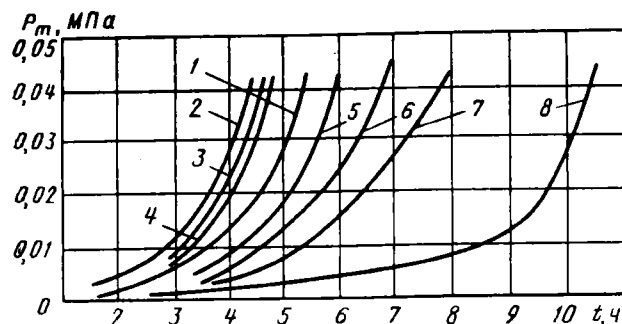


Рис. 99. Зависимость характера структурообразования цементного раствора от содержания соли (температура 22 °С, водоцементное отношение 0,45). Затворение цемента: 1 — водой; раствором NaCl: 2 — 3%-ным, 3 — 5%-ным, 4 — 10%-ным, 5 — 15%-ным, 6 — 20%-ным, 7 — 25%-ным, 8 — 26,4%-ным

стометре растворов с пересыщением NaCl показало, что при температурах 130—150 °С и давлениях 40—70 МПа наиболее эффективен замедлитель ВКК в количестве 0,5—1,0%. Рост структуры начинается быстро и приводит к образованию непрокачиваемых растворов через 1,5—2,0 ч после затворения цемента.

При добавке до 5—8% поваренной соли одно- и двухсуточная прочность цементного камня, твердеющего при температурах 20—50 °С, увеличивается.

Добавка карналлита ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$) до 10—30% повышает механическую прочность цементного камня. Насыщение водного раствора карналлита наступает при 30%-ном количестве соли. С увеличением концентрации карналлита увеличивается плотность раствора. При концентрациях этой соли в цементном растворе около 30% образуется нетекучая масса.

Структурообразование цементных растворов даже с частичным засолонением их карналлитом возрастает настолько интенсивно, что растворы быстро загустевают. Эффект действия карналлита возрастает с увеличением дозировки и повышением температуры.

Применение засоленных тампонажных растворов при повышенных температурах иногда затруднено из-за ускоренного их структурообразования и потери подвижности. Для подобных случаев следует подобрать замедлители структурообразования (сроков схватывания) тампонажных растворов.

Установлено, что такие реагенты, как ССБ и КССБ, более интенсивно вспенивают засоленные тампонажные растворы, чем изготовленные с использованием пресной воды. Для обработки засоленных тампонажных растворов могут быть применены КМЦ и гипан, однако они способствуют понижению растекае-

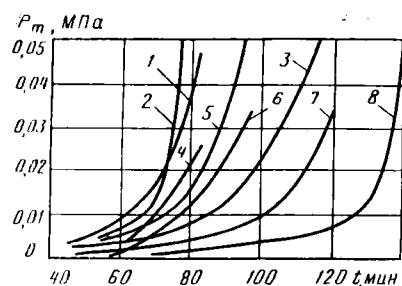


Рис. 100. Зависимость характера структурообразования цементного раствора от концентрации соли (температура 80 °С, водоцементное отношение 0,45).

Концентрация соли, %: 1 — 26,4; 2 — 6; 3 — 3; 5 — 20; 6 — 15; 7 — 5; 8 — 10; 4 — без добавок соли

мости растворов. Эффективно применение виннокаменной кислоты (ВКК), борной кислоты (БК) при температурах более 100 °С и высоких давлениях. Эти же реагенты эффективно замедляют процессы структурообразования цементных растворов, содержащих повышенные количества карналлита.

ВЛИЯНИЕ СОЛЕЙ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ

Присутствие в тампонажном растворе хлорида натрия значительно снижает динамическое напряжение сдвига τ_0 на протяжении длительного времени. Пластическая вязкость несколько возрастает в начальный момент.

Введение 5% сильвина ускоряет структурообразование и рост реологических характеристик тампонажного раствора. Увеличение количества сильвина до полного насыщения раствора приводит к снижению динамического напряжения сдвига, но повышает пластическую вязкость тампонажного раствора.

Бишофит способствует интенсификации процессов гидратационного структурообразования, реологические константы возрастают. Добавка 15% хлорида магния через 30 мин после затворения приводит к тому, что тампонажный раствор становится непрокачиваемым. Полное насыщение тампонажного раствора приводит к практически мгновенному его загустеванию.

Действие карналлита на тампонажные растворы более сложное. Хлориды калия и магния, содержащиеся в карналлите, оказывают противоположное друг другу действие на структурообразование раствора. При введении карналлита, имеющего в своем составе больше хлоридов калия, чем магния, разжижается система и увеличивается период прокачивания; присутствие карналлита с преобладанием хлоридов магния вызывает ускорение структурообразования. Антагонизм электролитов хлоридов калия и магния заключается в способности катионов K^+ понижать адсорбционную активность Mg^{2+} .

Совместное влияние бишофита и карналлита приводит к тому, что динамическое напряжение сдвига от минимального зна-

чения до максимального в конце измерения изменяется в широком диапазоне. Пластическая вязкость меняется незначительно.

Растворение бишофита в тампонажном растворе, насыщенном галитом, в количестве 15% вызывает лавинный рост динамического напряжения сдвига, которое уже через 20 мин после затворения возрастает в 2 раза по сравнению с первоначальным, достигая вскоре максимального значения. Реологические показатели того же раствора изменяются аналогично при введении в него хлорида магния.

Эффективным замедлителем структурообразования тампонажных растворов, насыщенных бишофитом, является декстрин при температурах до 90 °С. Большинство же других добавок при повышенных температурах не позволяет получить тампонажные растворы с замедленными сроками схватывания.

ВОДООТДАЧА ЗАСОЛЕННЫХ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ

Различные тампонажные портландцементные растворы с одинаковым количеством воды и различных добавок (не понижающих водоотдачу специально) при прочих равных условиях имеют примерно одинаковую водоотдачу.

Повышение концентрации солей несколько снижает водоотдачу цементного раствора. Введение комбинированных реагентов КССБ и КМЦ в засоленные цементные растворы позволяет снизить их водоотдачу почти вдвое. Более эффективно снижается водоотдача тампонажных растворов, засоленных карналлитом. Наиболее эффективное понижение водоотдачи обеспечивается введением в растворы или цементы бентонитовой глины.

На рис. 101 показана зависимость относительной водоотдачи¹ цементного раствора при перемешивании от концентрации соли в воде затворения (водоцементное отношение 0,5, температура 22 °С, давление 0,2 МПа).

СЦЕПЛЕНИЕ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ С СОЛЯМИ

Сцепление твердеющего цементного камня с солями определяется в первую очередь природой цемента и породы, температурой, давлением, окружающей средой и состоянием поверхностей контакта.

При увеличении концентрации соли в воде затворения цементный камень смещается (страгивается) относительно солевого зерна при большей нагрузке, чем без соли. Аналогичная зависимость удельных нагрузок с увеличением количества введенной соли в воде затворения повышается с ростом температуры

¹ Под относительной водоотдачей понимается отношение объема фильтрата к объему жидкости затворения.

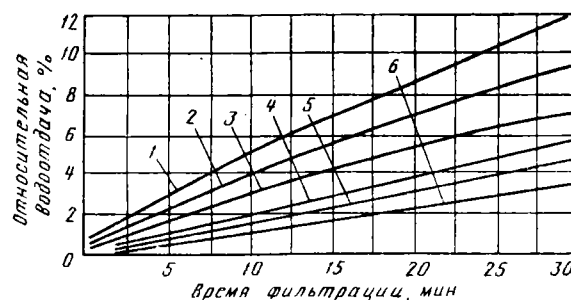


Рис. 101. Зависимость водоотдачи цементного раствора от концентрации соли в воде затворения (водоцементное отношение 0,5, температура 22 °С, давление 0,2 МПа):

1 — затворение водой без добавки соли; затворение водой с добавкой соли, %: 2 — 5, 3 — 10, 4 — 15, 5 — 20, 6 — 26,4

до 50 °С. Еще большее увеличение удельных страгивающих нагрузок наблюдается при использовании в экспериментальных работах расширяющихся цементов.

Сцепление цементного камня с карналлитовыми образцами меньше, чем с образцами из поваренной соли. Естественно, поверхности пород должны быть чистыми.

КОРРОЗИЯ КАМНЯ ИЗ ТАМПОНАЖНОГО ЦЕМЕНТА

Водная среда с растворенной в ней поваренной солью оказывает разрушающее действие на твердеющий в ней камень из тампонажного цемента, затворенного пресной и соленой водой.

На повышение механической прочности образцов из тампонажного цемента с пресной и соленой водой затворения благоприятное влияние оказывает добавление 20—30% кварцевого песка, опоки, диатомита и других материалов, содержащих значительное количество кремнекислоты. Указанные добавки при температуре 22 °С способствуют росту механической прочности даже после полутора лет твердения в водной среде с различным количеством поваренной соли.

Активная кремнекислота этих добавок связывает свободной гидроксид кальция в практически нерастворимый в воде гидросиликат кальция — устойчивость камня повышается.

Цементирование скважин в солевых отложениях засоленными тампонажными растворами способствует обеспечению контакта с ними (при отсутствии глинистой прослойки). Это объясняют также некоторым расширением засоленных цементных растворов при твердении (до 0,02—0,05%).

При повышенных температурах и давлениях солестойкость цементных образцов уменьшается, что объясняется отрицательным влиянием температуры. Затворение цемента на насыщен-

ном растворе способствует некоторому снижению интенсивности падения прочности при температурах 110—125 °С.

Весьма разрушительным для портландцементного камня является раствор из карналлита. Образцы цементного камня, твердеющие в нем при температуре 125 °С, разрушаются через 1,5—2 мес. Степень разрушения портландцементных образцов наибольшая в том случае, когда в их воду затворения введено 10—20% карналлита.

В условиях действия температуры 110—130 °С и давления лучше сохраняются образцы на шлаковой основе с добавками бентонита (примерно до 7—10%) и кварцевого песка.

ОСОБЕННОСТИ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН В ЗОНЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД (МЛМП)

Глубина залегания пород, содержащих нефть и газ, где отмечены температуры ниже нуля, составляет в зависимости от различных условий 100—500 м. Температура пород также колеблется от —1 до —10 °С.

Проблема цементирования скважин в зонах многолетнемерзлых пород сложна и требуются большие усилия для обеспечения высококачественного разобщения пластов.

Опыт крепления скважин в районах распространения зоны МЛМП показывает, что качество цементирования с использованием обычных тампонажных цементов невысокое. Цементные растворы долгое время не схватываются, замерзают, и при нарушении теплового режима скважины в заколонном пространстве образуются каналы. Для многих площадей характерно, что при бурении под кондуктор буровой раствор имеет температуру, близкую к нулю. Повышение ее приводит к оттаиванию и последующей потере устойчивости стенки скважины. Температура закачиваемого в скважину тампонажного раствора составляет обычно 0—10 °С.

Цементный камень формируется и при температурах, близких к нулю. Однако в этих условиях резко замедляются процессы структурообразования, для формирования камня требуется значительное время. Так, при положительной температуре, близкой к нулю, сроки схватывания примерно в 4—5 раз более замедлены, чем при температуре 22 °С. Механическая прочность цементного камня двухсуточного возраста в этом случае меньше в 5—10 раз, чем при температуре 22 °С, и составляет при изгибе 0,2—0,4 МПа.

Проницаемость тампонажного камня в ранние сроки твердения при низких температурах высока. Механическая прочность цементного камня повышается, а проницаемость с течением времени уменьшается даже в случае твердения образцов при температурах, близких к нулю. После оттаивания тампонажного

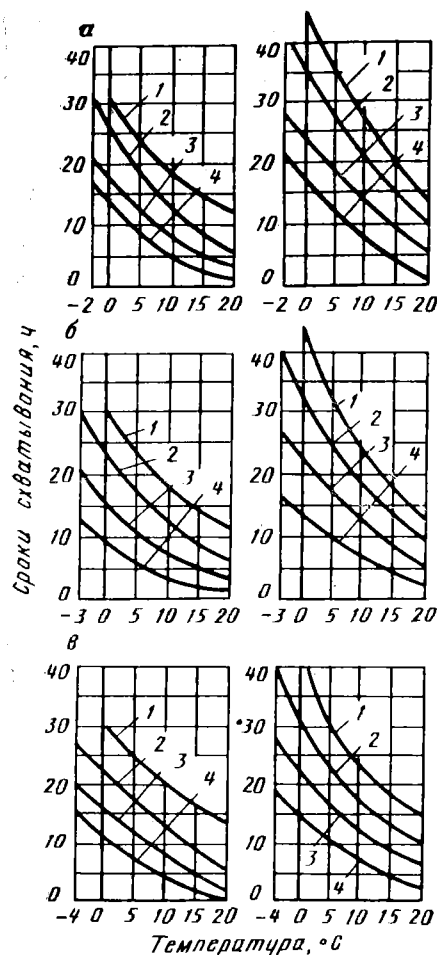


Рис. 102. Зависимости сроков схватывания цементных растворов с добавками от температуры.

Добавки: а — 4%, б — 6%, в — 8%; 1 — цементный раствор без добавок; цементный раствор с добавкой: 2 — NaCl , 3 — CaCl_2 , 4 — AlCl_3 .

вания в заколонном пространстве, и твердение камня с нарастанием прочности и уменьшением проницаемости до определенных величин в сроки, отведенные техническими нормами. Лучшие результаты получены с применением в качестве ускорителя хлорида кальция. При температурах $0-5^\circ\text{C}$ количество CaCl_2 принимается от 4 до 10%. Например, при затворении цемента водой с хлоридом кальция в количестве 5% с последую-

раствора он загустевает, но затвердевает, если температура становится положительной.

Камень из цементного раствора, твердеющего при температурах, близких к нулю, часто имеет включения льда, при оттаивании которого появляются трещины, а иногда и каналы. Количество и размеры трещин зависят от различных факторов, к которым относятся сроки замораживания и схватывания, температура оттаивания, водоцементное отношение и др. Образцы, которые подвергались замораживанию, обычно вспучиваются, увеличиваются в объеме.

Для устранения или ослабления отрицательного воздействия пониженных температур на свойства тампонажных цемента и качество цементирования скважин целесообразно вводить в растворы ускорители сроков схватывания или применять специальные цементы. Добавки-ускорители процессов структурообразования и твердения должны обеспечивать незамерзание жидкой фазы цементного раствора при наиболее низких температурах, которые возможны во время схваты-

щим снижением температуры до $-3-5^{\circ}\text{C}$ удается получить цементный камень с удовлетворительными физическо-механическими свойствами. Однако необходимо тщательно соблюдать рецептуру раствора, подобранную в лаборатории.

В качестве ускорителя сроков схватывания тампонажных растворов применяют также NaCl , добавку которого согласно подобранной в лаборатории рецептуре принимают равной 2—3% от массы цемента.

На цементные растворы эффективно воздействует хлорид алюминия. Добавка 4—10% AlCl_3 сокращает сроки схватывания цементного раствора при температурах $0-5^{\circ}\text{C}$ в 5—8 раз, но растекаемость раствора при этом снижается.

Эффективность добавок-ускорителей зависит не только от типа цемента и температуры окружающей среды, но и от сроков и условий хранения цемента. Во всех случаях при использовании ускорителей прочность цементного камня увеличивается, проницаемость уменьшается.

На рис. 102 показано влияние различных ускорителей на сроки схватывания цементных растворов при низких температурах. Однако ускорение загустевания и схватывания тампонажных растворов не решают полностью проблемы качественного разобщения пластов в районах вечной мерзлоты. В последнее время разработаны новые тампонажные цементы, специально предназначенные для цементирования скважин в зоне МЛМП. Следует уделить серьезное внимание технологии цементирования с соблюдением условий быстрого разбуривания всей зоны вечной мерзлоты.

Необходимо внимательно следить за работами, связанными с нарушением теплового режима скважин как при бурении, так и при разработке месторождений.

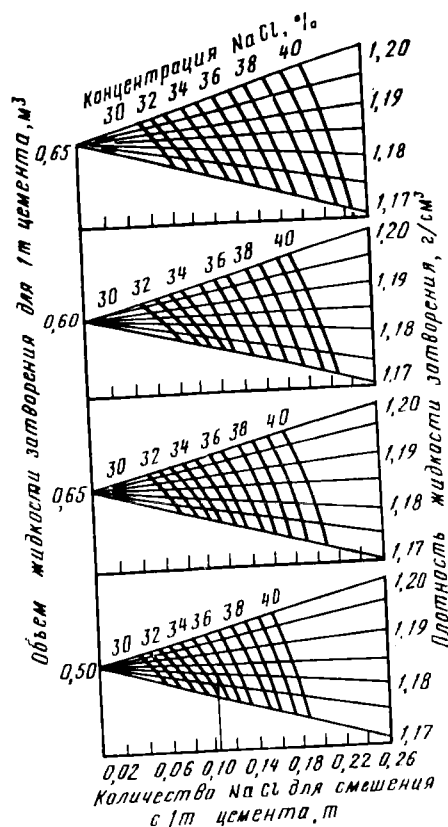


Рис. 103. Номограмма для определения состава соледоцементной смеси

Перед цементированием скважины следует нагревать воду затворения.

Лабораторная работа № 8

Методика расчета компонентов растворов и приготовление со- лецементной смеси

Соотношение компонентов тампонажной смеси зависит от следующих факторов: заданного пересыщения, достигнутой концентрации соли в водном растворе для затворения и принятого водоцементного отношения.

Методика и порядок расчета для выдачи необходимых сведений следующие. Исходные (для примера) данные: степень пересыщения 35%; количество водного солевого раствора, необходимое для затворения единицы массы тампонажной смеси, равно 0,5 единицы объема (при этом истинное водоцементное отношение с учетом растворенной соли составляет 0,45), плотность жидкости, подготовленной для затворения, 1,18 г/см³ (концентрация NaCl в ней 23,6%).

1. Определить количество (в т) NaCl, необходимое для получения 36%-ной концентрации в исходных 0,45 м³ пресной воды. При 35%-ной концентрации солевой раствор состоит из 0,65 м³ (т) пресной воды и 0,35 т соли. Отсюда искомое количество хлорида натрия (в т)

$$\text{NaCl} = \frac{0,45 \cdot 0,35}{0,65} = 0,24 \text{ т.}$$

2. Определить содержание NaCl в том количестве приготовленного солевого раствора, которое включает 0,45 м³ (т) пресной воды. Солевой раствор при достигнутой 23,6%-ной концентрации состоит из 0,76 т пресной воды и 0,24 т растворенной соли. Тогда

$$\text{NaCl} = \frac{0,45 \cdot 0,236}{0,76} = 0,14 \text{ т.}$$

3. Недостающее количество хлорида натрия, которое необходимо добавить к 1 т цемента, равно 100 кг (0,24 т — 0,14 т = 0,1 т), а на каждый мешок цемента массой 50 кг следует добавлять 50 кг соли.

В практической деятельности может возникать разнообразное сочетание указанных факторов, от которых зависит соотношение компонентов и солецементной смеси. Для упрощения и оперативности получения необходимых данных составлена номограмма (В. М. Вязельщиков).

В зависимости от количества жидкости (рис. 103), требуемой для затворения 1 т цемента, выбирают один из четырех участков номограммы.

Из точки пересечения прямой плотности жидкости затворения с кривой требуемой концентрации опускают перпендикуляр на горизонтальную ось, на которой определяют количество хлорида натрия, необходимое для добавления к 1 т цемента.

Лабораторная работа № 9

Определение сроков схватывания цементного раствора

1. В сосуд с отмеренным количеством воды для затворения цемента всыпают соль (NaCl) до насыщения при комнатной температуре. Раствором соли затворяют цемент. Определяют сроки схватывания цементного раствора.

2. К воде затворения добавляют CaCl_2 , массовая доля которого составляет 5%. После его растворения затворяют цемент. Определяют сроки схватывания цементного раствора.

3. Провести тот же опыт, но с введением NaCl (3%) и AlCl_3 (5%) вместо CaCl_2 .

Контрольные вопросы

1. Что такое насыщенные (солю) растворы?
2. Для чего необходимо применять растворы с использованием соли?
3. Какие минеральные образования в виде солей применяются для засолонения тампонажных растворов?

Глава XII

ТАМПОНАЖНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БОРЬБЫ С ПОГЛОЩЕНИЯМИ БУРОВОГО РАСТВОРА

Поглощения бурового раствора — серьезные осложнения, особенно если они часты и интенсивны. Природа поглощений неоднотипна. Часть поглощений связана с наличием пустот, вскрываемых скважиной, другие же возникают в результате гидроразрыва пород, раскрытия ранее сомкнутых трещин пород под действием высокого давления столба жидкости, находящейся в скважине, возникающих повышенных давлений при движении буровых и цементных растворов в скважине. Методы предупреждения и ликвидации поглощений, имеющих неодинаковую природу, различны. Если предупреждение поглощений буровых растворов при гидроразрывах часто достигается снижением

плотности растворов и скорости их движения или химической обработкой, то при наличии каверн, трещин, пустот при проводке скважин часто применяют такие тампонажные растворы, которые закупоривают трещины, попав в пустоты, быстро схватываются или, не уходя далеко от скважины, загустевают, создавая тампон, позволяющий продолжать бурение. Лучшим средством борьбы с поглощением буровых растворов является его предупреждение.

Поглощение буровых растворов можно предупредить или ликвидировать уменьшением перепада давления между скважиной и пластом, заполнением трещин, каверн и других «пустот» специальными тампонирующими материалами, а также перекрытием зоны поглощения обсадной колонной.

Важнейшими свойствами закупоривающих материалов считаются размеры частиц, их форма, жесткость, плотность. Если диаметр пор и трещин, подлежащих закупорке, не превышает размер частиц более чем в 3 раза, то материал приемлем для проведения работ. Для закупоривания трещин больших размеров используют специальные материалы.

В практике борьбы с поглощениями буровых растворов при бурении скважин применяют материалы, которые могут прокачиваться с буровым раствором и способствуют, как полагают, предупреждению поглощений или борьбе с ними. В качестве таких материалов используют кокс, комки глины, кожу, хлопья целлюлозы, мох, слюду, асбест, керамзит, перья, бумагу (и мешки от цемента), отходы текстильной и резиновой промышленности (кромку, волокно), коробочки хлопчатника, шерсть, войлок, перлитовые и шлаковые зерна, волокна сахарного тростника и кукурузных стеблей, мягкую стружку, пшеничные отруби, горох, бобы, хлопок и другие материалы.

Материалы для закупоривания зон поглощения делят на волокнистые, пластинчатые и зернистые.

Выбор типа и размера волокна в значительной мере определяется характером работ, они же определяют и качество работ.

Применение волокнистых материалов приводит к удовлетворительным результатам при наличии песчаных и гравийных пород с размером (диаметром) зерен до 25 мм для закупоривания небольших трещин.

Пластинчатые материалы используют для закупоривания трещин и пор размером до 2—3 мм.

Зернистые материалы наиболее эффективно закупоривают поры и трещины в пластах, сложенных гравийными породами, с размером зерен до 25—30 мм. Измельченную резину, например, применяют, когда следует закупорить отверстия диаметром до 8 мм, перлит — для закупоривания пор размером до 10—12 мм. Часто используют смеси волокнистых и пластинчатых материалов, а также пластинчатых и зернистых.

Для ликвидации поглощений при низких давлениях наиболее эффективна смесь, состоящая из высококоллоидного бурового (глинистого) раствора с введенными в него волокнистыми материалами (для образования сетки) и слюдой.

Ликвидация поглощения сводится к доставке закупоривающего материала к месту поглощения и создания перемычки, способной выдержать некоторый перепад давления. Каждую последующую операцию по закупориванию пор или трещин проводят с материалами, большими по размеру, чем ранее примененные.

ТАМПОНИРУЮЩИЕ СМЕСИ ДЛЯ БОРЬБЫ С ПОГЛОЩЕНИЯМИ ПРИ БУРЕНИИ

Успех работ по борьбе с поглощениями в значительной мере определяется качеством применяемых тампонажных смесей.

Тампонажная смесь должна обладать рядом особенностей. Она должна оставаться текучей в процессе транспортирования к месту поглощения и быстро схватываться, превращаясь в камень, за короткое время. Камень не должен разрушаться под действием пластовых вод, температуры и давления. Выбирать компоненты тампонажной смеси и устанавливать ее свойства следует с обязательным учетом конкретных условий скважины.

Многие свойства тампонажных смесей, применяемых для борьбы с поглощениями, близки к свойствам тампонажных растворов, применяемых для цементирования обсадных колонн. Оценка пригодности тех и других материалов для применения их во многих случаях одинакова.

Физико-механические свойства камня из тампонажных смесей не регламентированы, но на основании данных практики и лабораторных исследований можно считать, что тампонажные смеси, затвердевающие в камень с механической прочностью на сжатие 3—4 МПа и проницаемостью $(1 \div 2) \cdot 10^{-3}$ мкм², могут считаться вполне пригодными для проведения изоляционных работ.

Очень важным свойством тампонажных смесей для борьбы с поглощениями является рост вязкости после доставки их к месту поглощения. При этом должна быть сохранена подвижность смесей в процессе продавливания их в затрубное пространство скважины.

Для приготовления тампонажных смесей применяют различные вяжущие основы. Наиболее распространены неорганические вяжущие портландцемент (тампонажный, строительный), глиноземистый, гипсоглиноземистый, гипсовый цементы и др.

Применяют и волокнистый цемент, особенно при закупоривании относительно больших пор и трещин. Его готовят обычно на базе портландцемента. В качестве волокнистого на-

полнителя применяют материалы минерального и органического (естественного и искусственного) происхождения (асбестовые и кожаные волокна, измельченная пластмасса, ореховая и хлопковая скорлупа и др.). Обычно волокна материалов имеют длину до 8—10 см. При добавке в портландцементы порошкообразной резины получают так называемые пластические цементы.

Для борьбы с поглощениями применяют соляробентонитовые смеси. Они быстро повышают прочность структуры, что способствует эффективной герметизации поглощающего пласта. Однако соляробентонитовым смесям присущи недостатки — они реагируют на введение в их состав воды и имеют низкую механическую прочность.

БЫСТРОСХВАТЫВАЮЩИЕСЯ СМЕСИ

Быстросхватывающиеся тампонажные смеси очень часто применяют при ликвидации поглощений в условиях, где температуры не превышают 50—70 °С. В этих условиях тампонажные и строительные растворы имеют затяжные сроки схватывания, что не обеспечивает тампонирующего эффекта вследствие удаления раствора от ствола скважины. Быстросхватывающиеся смеси, попав в трещины и каверны, меньше разбавляются пластовыми водами или буровым раствором и после доставления их к месту поглощения интенсивно загустевают и затвердевают в камень. Время превращения их в камень значительно меньше, чем обычных цементных растворов; время ожидания затвердевания цементного раствора (ОЗЦ) короче.

Обычно быстросхватывающиеся тампонажные смеси готовят на базе тампонажных цементов с введением в воду затворения некоторого количества ускорителей процессов структурообразования (схватывания) растворов. Большинство реагентов или приемов, ускоряющих процессы схватывания тампонажных растворов, способствуют увеличению механической прочности цементного камня на ранней стадии твердения.

В практике борьбы с поглощениями чаще используют хлорид кальция CaCl_2 . При введении в цементные растворы с водой затворения 2—3% CaCl_2 начало схватывания раствора сокращается до 30—60 мин; начальная механическая прочность резко увеличивается. Для повышения качества изоляционных работ перед цементным раствором в скважину закачивают раствор хлорида кальция, очищающий стенки трещин и каналов, подлежащих тампонированию.

В качестве ускорителя сроков схватывания тампонажных растворов применяют также до 3—5% поваренной соли NaCl . При несколько более повышенном ее содержании сроки схватывания тампонажного раствора замедляются.

Для подобных целей используют гипс как добавку к тампонажным цементам или самостоятельно, если температуры зоны поглощения не превышают 50—60 °С. В этих условиях иногда требуется применять и замедлители структурообразования для обеспечения необходимых сроков схватывания смеси. В качестве замедлителей используют те же реагенты, что и для замедления сроков схватывания тампонажных растворов при первоначальном цементировании.

Гипс обычно добавляют к цементу и смесь тщательно перемешивают. Цемент со смесью гипса при затворении водой отличается быстрыми сроками схватывания. Прочность раствора нарастает быстро: через 1—2 ч после затворения камень характеризуется пределом прочности на сжатие, равным более 10 МПа. Раствор при затвердевании несколько расширяется. Значительные количества жидкого стекла способствуют резкому увеличению структурообразования цементного раствора, однако при его использовании схема расположения наземного оборудования может быть усложнена. Для этого применяют также кальцинированную соду (в небольшой концентрации), которую следует вводить в тампонажный раствор (при затворении цемента) в количестве, точно соответствующем подобранному лабораторией.

В качестве быстросхватывающихся компонентов в цементы вводят различные смеси. Такие системы отличаются определенными преимуществами, однако во всех случаях все тампонажные растворы должны быть проверены в лаборатории в условиях, близких к существующим в скважине.

В ВолгоградНИПИнефти разработаны облегченные глиноцементные смеси с наполнителями для изоляции зон поглощения в глубоких скважинах. Состав раствора (в %): глинопорошок 50—70, тампонажный порошок 20—45, инертный наполнитель — керамзит, кварцевый песок с размерами частиц до 5 мм — 5. Плотность этих растворов составляет 1,25—1,45 г/см³.

Облегченные бентонитоцементные смеси с инертными наполнителями целесообразно применять при ликвидации полных поглощений бурового раствора в трещиноватых и кавернозных породах в скважинах на глубине более 3000 м при повышенной температуре в стволе (70—95 °С).

ГЕЛЬЦЕМЕНТЫ

Под гелъцементами принято понимать пастообразные растворы, состоящие из цемента и глины (бентонита). Часто их готовят затворением цемента глинистым раствором или водой с некоторым содержанием бентонита.

Полученный раствор имеет пониженную плотность, характеризуется наличием прочной структуры и затвердевает в камень.

При приготовлении растворов пресную воду иногда обрабатывают карбонатом натрия и каустической содой. Затем к воде добавляют бентонит из расчета 250—300 кг/м³ и дают ему распуститься.

Чтобы снизить давление на пласты, при борьбе с поглощениями применяют тампонажные растворы пониженной плотности: цементно-бентонитовые, цементно-перлитовые, смеси с добавками пуццолана, опоки, диатомита, трепела, пемзы и др. В зарубежной практике используют гильсонит, перлит, диатомовую землю.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА СХВАТЫВАНИЯ БЫСТРОСХВАТЫВАЮЩИХСЯ ТАМПОНАЖНЫХ СМЕСЕЙ. ПОДБОР СОСТАВА СМЕСЕЙ

Технология процесса борьбы с поглощениями предусматривает изменения состояния тампонирующих смесей от жидкого, текучего (в период прокачивания) до вязкопластичного при попадании их в трещины и каналы и превращение в камнеподобное тело при продолжении дальнейших работ в скважине.

Наиболее важными свойствами тампонажных быстросхватывающихся смесей являются структурно-механические. По их основному показателю — механической прочности структуры — можно иметь представление о состоянии тампонажной смеси во времени при различных условиях. В основе метода оценки механической прочности структуры лежат работы акад. П. А. Ребиндера и его школы. В основу измерения прочности структуры тампонажных быстросхватывающихся смесей может быть положен метод конического пластомера, состоящий в погружении конуса в загустевающий тампонажный раствор. При этом измеряют глубину его погружения при данной нагрузке.

Пластическую прочность P_m (в Па) системы, по П. А. Ребиндеру, рассчитывают по зависимости

$$P_m = k_\alpha \frac{F}{h^3 m}, \quad (79)$$

где k_α — коэффициент, зависящий от формы конуса (α — угол при вершине конуса); F — постоянная (принятая) нагрузка на конус, Н; h — глубина погружения конуса, см.

В ВолгоградНИПИнефти пластическую прочность структуры различных тампонажных смесей измеряют стандартным прибором Вика. Вместо иглы предложен набор конусов. На рис. 104 приведены конусы с различными углом α и массой. Предложенный комплект конусов дает возможность измерять различные состояния структур тампонажных смесей, их пластическую прочность от 0,05 до 50 Н. На рис. 105 приведены две кривые, характеризующие изменение пластической прочности быстро-

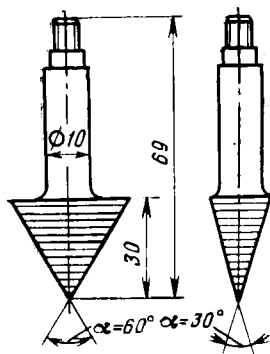
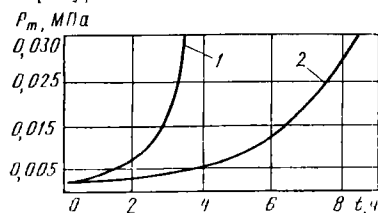


Рис. 104. Конусы

Рис. 105. График изменения пластической прочности тампонажных растворов при температуре 22 °С



схватывающегося (кривая 1) и медленносхватывающегося (кривая 2) тампонажных растворов.

Приведенные данные относятся к статическим условиям. Существенное влияние на процесс структурообразования тампонажных растворов и в первую очередь быстросхватывающихся смесей оказывает процесс перемешивания (движения) раствора. Установлено, что процесс движения раствора способствует замедлению сроков схватывания и загустевания растворов и смесей. Однако необходимо учитывать продолжительность движения (перемешивания) раствора и условия окружающей среды (в основном температурные). Так, если в конкретных условиях перемешивание заканчивается на ранней стадии коагуляционного структурообразования, то сроки схватывания тампонажного раствора могут даже ускориться. При длительном и интенсивном перемешивании раствор или быстросхватывающаяся смесь может оставаться в подвижном состоянии, хотя вокруг отдельных центров кристаллизации будет происходить резкое загустевание и схватывание массы.

Лабораторная работа № 10

1. Составление быстросхватывающейся смеси (БСС). Цемент смешивают с гипсом в соотношении 5 : 1, смесь затворяют водой. Перемешанный раствор заливают в кольцо для определения сроков схватывания раствора.

II. Измерение пластической прочности быстросхватывающихся смесей с помощью пластомера.

В стандартном приборе Вика для определения сроков схватывания иглу заменяют конусными наконечниками. В кольцо, установленное на пластину и смазанное техническим вазелином, заливают испытуемый цементный раствор; избыток раствора срезают. Острие наконечника подводят к поверхности цементного раствора и сбрасывают. Через каждые 5—10 мин для нормальных или замедленных тампонажных растворов и 1—2 мин

для быстросхватывающихся смесей определяют глубину погружения конусного наконечника в раствор. По формуле (77) определяют изменение пластической прочности цементного раствора. Строят кривую изменения пластической прочности раствора во времени.

Контрольные вопросы

1. Что такое быстросхватывающиеся смеси и для чего они применяются?
2. Что такое пластическая прочность цементного раствора?
3. Как определить пластическую прочность тампонажного раствора?

Глава XIII

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТАМПОНАЖНЫЕ ЦЕМЕНТЫ И РАСТВОРЫ

КОРРОЗИОННО-СТОЙКИЕ ТАМПОНАЖНЫЕ ЦЕМЕНТЫ

Цементный камень по своей природе является материалом, термодинамически нестойким в водных растворах, содержащих различные ионы, особенно при действии высоких температур и давлений. В конечном счете он должен разрушаться с ухудшением, даже с потерей тампонажных свойств.

Пластовые воды большинства нефтегазовых месторождений Советского Союза содержат в основном хлориды натрия и кальция. Однако известно, что воды месторождений Узбекистана, Поволжья, Башкирии, Украины, Северного Кавказа имеют высокие концентрации сульфат-ионов, ионов магния, сероводорода, углекислого газа. Эти пластовые воды, особенно содержащие сероводород, при высоких температурах и давлениях способны разрушить некоторые виды тампонажных материалов за один год и менее. Так, пластовые воды площадей Урта-Булак, Тенгиз-Куль и других содержат значительные количества сероводорода. В пластовых водах месторождениях Тенгиз-Куль, кроме сероводорода, содержатся десятки тысяч миллиграммов на 1 л ионов магния и сульфата. Если не принимать специальные меры по обеспечению коррозионной стойкости, цементное кольцо скважин на этих месторождениях будет быстро разрушаться.

Однако термодинамическая нестойкость материалов в данной среде еще не означает, что они неизбежно будут быстро

разрушаться. Скорость коррозии материалов в различных условиях отличается чрезвычайно сильно, и коррозионную стойкость цементного кольца можно регулировать подбором тампонажных материалов и добавок к ним.

При введении в цементы активных минеральных добавок, содержащих диоксид кремния, средняя основность гидросиликатов понижается до 0,8—1,2. При температуре окружающей среды до 150—160 °С образуются низкоосновные гидросиликаты так называемой тоберморитовой группы или CSH(B) состава $(0,8—1,2)\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, а при более высокой температуре — ксонотлит $\text{Ca}_6\text{Si}_6\text{O}_{17}$.

При температуре до 50—70 °С роль активных кремнеземистых добавок выполняют вещества, содержащие некристаллическую, аморфную кремнекислоту — трепел, опока, диатомит, сиштоф, пемза, туфы. Четыре первых добавки обладают очень большой активностью по связыванию гидроксида кальция, выделяющегося при гидролизе цементов, так как являются пористыми материалами с огромной поверхностью пор капилляров.

При более высокой температуре значительную активность по взаимодействию с известью приобретает и обычный кварцевый песок. Чем тоньше помол песка, чем меньше размер его частиц, тем быстрее он связывает гидроксид кальция, выделяющийся при твердении цементов, понижая основность гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Чем крупнее добавляемый к цементу кварцевый песок, тем более высокая температура и больше времени требуются для полного его связывания с гидроксидом кальция цемента.

Состав продуктов твердения шлаков в принципе не отличается от состава гидратов цемента. Основным отличием шлаков от портландцемента является меньшее содержание в первых оксида кальция и большее — диоксида кремния. Например, в цементе содержится от 60 до 55% CaO и от 20 до 25% SiO₂, а в шлаках — 20—50 и 30—50% соответственно.

Вследствие этого в шлаковом камне содержится меньше гидроксида кальция, чем в портландцементном.

Одним из видов коррозии цементного камня может быть коррозия выщелачивания гидроксида кальция. Чем выше концентрация извести в порах цементного камня, тем больше при прочих равных условиях скорость выщелачивания.

Чем выше Ca²⁺ и OH⁻ в выщелачивающей среде, тем меньше скорость выщелачивания извести, поэтому «мягкие» воды, содержащие мало солей кальция, более агрессивны, чем «жесткие».

Хлорид натрия сильно повышает растворимость извести, поэтому минерализованные воды, содержащие эту соль, обладают более высокой выщелачивающей способностью, чем пресные. Повышение температуры увеличивает подвижность ионов каль-

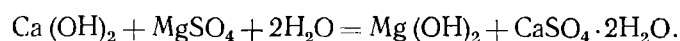
ция, т. е. коэффициент диффузии, поэтому с ростом температуры скорость коррозии выщелачивания растет.

Значительное влияние на скорость выщелачивания извести оказывает коэффициент диффузии. Эта величина определяется проницаемостью цементного камня, его структурными характеристиками. Чем плотнее цементный камень, чем меньше радиус его пор, тем меньше коэффициент диффузии. Снижению коэффициента диффузии способствует уменьшение водоцементного отношения тампонажного раствора, добавка к ним высокомолекулярных реагентов — гипана, КМЦ и т. п.

Наоборот, облегченные цементные растворы (с глиной) с высоким водоцементным отношением имеют повышенный радиус пор и соответственно больший коэффициент диффузии.

Шлаковые вяжущие характеризуются низкой концентрацией извести в жидкой фазе и умеренной пористостью, поэтому выщелачиваемость извести в них понижена.

Если в окружающей цементный камень среде содержатся вещества, образующие с гидроксидом кальция малорастворимые или малодиссоциирующие химические соединения, то концентрация извести в ней будет поддерживаться на очень низком уровне до тех пор, пока эти вещества не будут израсходованы. Это явление наблюдается, например, под влиянием растворов сульфата магния:



В результате этой реакции образуются гидроксид магния, растворимость которого при комнатной температуре составляет всего сотые доли грамма в 1 л воды, и гипс с растворимостью в воде около 1,9 г/л при комнатной температуре. В результате этого под влиянием растворов гидроксида магния цементный камень может полностью разрушиться. Сходное, но более слабое действие оказывают растворы хлорида магния.

Важной особенностью процесса магниальной коррозии является образование малорастворимого гидроксида магния, который, откладываясь в зоне коррозии в порах цементного камня, кольматирует их, что способствует замедлению проникновения новых порций агрессивного раствора в глубь цементного камня.

Кольматирующая роль слоя малорастворимых продуктов коррозии определяется их плотностью, которая зависит от содержания извести в порах цементного камня. Следовательно, чем выше основность вяжущего, т. е. содержание в нем извести, тем плотнее слой продуктов коррозии, тем сильнее она тормозит продвижение фронта коррозии в глубь цементного камня, тем выше магниальная стойкость последнего.

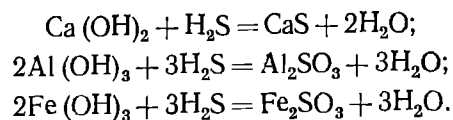
Введение в цементные материалы активных минеральных добавок (диатомита, опоки, пемзы, туфа, глин, молотого кварцевого песка при повышенных температурах) уменьшает содер-

жание извести, понижает магнизальную стойкость вяжущих пропорционально количеству активной добавки. Пуццолановые цементы, содержащие значительные количества активных минеральных добавок, разрушаются в магнизальных растворах значительно быстрее, чем чистый портландцемент.

Поэтому в средах, содержащих значительные концентрации ионов магния, недопустимо применение облегченных цементных растворов с активными минеральными добавками.

Шлаковые цементы содержат в среднем в 1,5 раза меньше оксида кальция, чем портландцемент, но их магнизальная стойкость отличается от портландцемента не столь сильно. Основной причиной этого является то, что при магнизальном разложении шлаковых гидросиликатов образуется значительное количество кремнекислоты, отличающейся вследствие особенной структуры повышенной плотностью, которая оказывает существенное колюматизирующее действие. Однако и в этом случае целесообразно в условиях магнизальной агрессии применять шлаки повышенной основности. Добавки к шлакам глины и активных минеральных веществ в этом случае недопустимы. Хлорид магния в несколько раз менее агрессивен, чем сернистый.

На нефтяных и газовых месторождениях одним из распространенных видов агрессии, сопровождающихся образованием малорастворимых осадков, является сероводородная. При сероводородной коррозии наблюдается образование малорастворимых сульфидов кальция, алюминия и железа:



Наиболее энергично образуется сульфид железа, поэтому для повышения стойкости вяжущих против сероводородной агрессии следует ограничить содержание в них оксидов железа, марганца и других тяжелых металлов, образующих прочные, устойчивые сульфиды.

Наиболее сложным видом химической коррозии цементов является образование малорастворимых соединений, сопровождающихся увеличением объема твердой фазы. Примером этого является воздействие на портландцементный камень сульфатных растворов, например сульфатов кальция или натрия. В состав гидроалюминатной фазы портландцемента входят гидроалюминаты кальция, которые, взаимодействуя с сульфатом кальция, образуют сложную комплексную соль — гидросульфогидроалюминат кальция. Так как при образовании этой соли к твердой фазе присоединяется много воды, объем кристаллов увеличивается в несколько раз. Растущие с увеличением объема кри-

сталлы сульфоалюмината кальция вызывают большие внутренние напряжения в цементном камне, что в конечном счете приводит к трещинообразованию и полному его разрушению.

Известно несколько методов борьбы с сульфоалюминатной агрессией. Наиболее простым из них является введение в портландцемент активных минеральных добавок, понижающих концентрацию гидроксида кальция, например трепелов, диатомитов, опок, обожженной каолининовой глины, туфа, пемзы и т. д.

Другим методом уменьшения гидросульфоалюминатной агрессии является ограничение содержания в цементе трехкальцевого алюмината. В сульфостойких цементах должно содержаться не более 5% этого минерала.

Наличие в растворе, кроме сульфатов, значительного количества хлоридов, особенно преобладание последних (что обычно и наблюдается в пластовых водах), уменьшает отрицательное влияние сульфоалюминатной агрессии. Следует отметить также термическую неустойчивость гидросульфоалюмината кальция.

В отечественной практике цементирования скважин используют коррозионно-стойкие тампонажные цементы, к числу которых относятся пуццолановые, песчаные, шлакопортландские тампонажные цементы, в некоторых случаях применяют глиноземистый и карбонатный цементы.

Наиболее важно правильно выбрать коррозионно-стойкие тампонажные цементы для конкретных условий цементирования с учетом химического состава пластовых вод.

При цементировании скважин с температурой в нижней части ствола 50—70 °С и содержанием ионов SO_4^{2-} в пластовых водах приблизительно 1000 мг/л и более рекомендуется применять сульфатостойкие цементы с низким (<5%) содержанием трехкальцевого алюмината. Если при этом содержание в пластовых водах ионов Mg^{2+} не превышает 1000 мг/л, допустима добавка к цементам ограниченного количества (10—15%) глины, опок, трепелов, мела, а также молотого кварцевого песка до 50%.

При температуре в нижней части ствола скважин 90—100 °С и выше наилучшим материалом являются цементно-песчаные и шлакопесчаные смеси.

При содержании в пластовых водах более 1000 мг/л ионов и температуре в нижней части ствола скважин до 100 °С рекомендуется применять портландцемент с ограниченным содержанием трехкальцевого алюмината без кремнесодержащих добавок, а также цементно-песчаные, шлаковые и шлакоцементные смеси.

Добавка кремнеземистых материалов, особенно тонкомолотых, резко ухудшает магниезиальную стойкость цементов и шлаков. При наличии магниезиальной агрессии необходимо стремиться к минимальному водоцементному отношению растворов.

При сероводородной агрессии рекомендуется применять шлакопесчаные и цементно-шлакопесчаные смеси с добавкой тонкого молотого песка.

Цементы и шлаки должны содержать минимальное количество оксидов железа и алюминия. Большое значение имеет здесь обеспечение высокой плотности цементного камня, поэтому надо ориентироваться на минимальные водоцементные отношения растворов. Наиболее целесообразно применять в этом случае диатомиты, опоки и другие кремнеземистые материалы с минимальным содержанием оксидов железа и алюминия.

Если необходимо утяжелять тампонажные растворы при наличии сероводородной агрессии, то целесообразно использовать не соединения железа (магнетит, гематит), а барит.

При углекислотной агрессии следует применять портландцементные, шлакоцементные и шлаковые растворы. Добавка кремнеземистых материалов должна быть ограничена.

При отсутствии в пластовых водах указанных выше агрессивных агентов при температуре выше 80—100 °С возможна в основном тепловая коррозия цементного камня, так как коррозия выщелачивания в чистом виде, очевидно, большой угрозы не представляет. К тому же мероприятия, обеспечивающие высокую термостойкость, повышают также стойкость против коррозии выщелачивания. При температуре окружающей среды выше 100 °С не рекомендуется применение тампонажных растворов на основе портландцемента без активных кремнеземистых добавок. Наилучшей является добавка 40—50% молотого кварцевого песка к портландцементу или 30—50% к доменному шлаку. При температуре 120—130 °С и выше возможно использование также немолотого кварцевого песка. Для службы в условиях высоких температур необходимо применять цементы, шлаки и добавки с минимальным содержанием оксида алюминия.

Тампонажный облегченный коррозионно-стойкий цемент типа ЦТОК

Тампонажный облегченный коррозионно-стойкий цемент типа ЦТОК предназначен для цементирования нефтяных и газовых скважин, вскрывших зоны с аномально низкими пластовыми давлениями или низкими градиентами давления гидроразрыва пласта. Отличительной особенностью тампонажного цемента типа ЦТОК является его высокая сохраняемость и неслеживаемость, а особенностью тампонажного камня — повышенная коррозионная стойкость в агрессивных гидротермальных водах. Температурный диапазон применения ЦТОК от —4 до 150 °С.

Тампонажный цемент типа ЦТОК получают путем смешения вяжущего с облегчающей добавкой (керогеном). Кероген по-

ставляется в мешках по 25 кг и представляет собой гидрофобный тонкомолотый органоминеральный порошок с плотностью около $1,25 \text{ г/см}^3$. В зависимости от температуры применения в ЦТОК в качестве вяжущего используют: при температуре от -4 до $+50^\circ\text{C}$ — тампонажный портландцемент для «холодных» скважин (ПЦХ) с добавкой $0-5\%$ CaCl_2 ; от -4 до $+30^\circ\text{C}$ — тампонажный цемент для низких температур (ЦТН); от 50 до 90°C — тампонажный портландцемент для «горячих» скважин (ПЦГ); от 90 до 150°C — шлакопесчаный тампонажный цемент марки ШПЦС-120.

В зависимости от соотношения вяжущее : кероген плотность тампонажного раствора может меняться в широких пределах — от $1,34$ до $1,65 \text{ г/см}^3$ при незначительном уменьшении водосмесевого отношения ($0,75-0,55$).

Проведены НИР с целью применить тампонажный раствор из ЦТОК при цементировании эксплуатационных колонн на месторождении Уренгой в одну ступень до устья. Для этого рекомендована рецептура — ПЦХ: кероген = $60:40$. При $\text{В/С} = 0,7$ растекаемость раствора составляет $19-20 \text{ см}$, плотность $1,37 \text{ г/см}^3$. Проведенные расчеты показали, что раствор такой плотности можно поднять до устья без поглощения, при этом динамическая температура на забое скважины будет $60 \pm 2^\circ\text{C}$; время проведения процесса цементирования составит $2 \text{ ч } 40 \text{ мин} - 3 \text{ ч}$; восстановление в интервале вечной мерзлоты температуры, равной 6°C , произойдет через $40-48 \text{ ч}$ времени ОЗЦ, а температуры 0°C — через $80-100 \text{ сут}$ после окончания цементирования.

Время загустевания рекомендованных рецептов тампонажного раствора из ЦТОК определяли на КЦ-3 по следующему температурному режиму: подъем температуры от 15 до 60°C — 1 ч ; изотермическое выдерживание при 60°C — 1 ч ; охлаждение раствора от 60 до 30°C — 1 ч ; помещение полученного раствора в формочки-балочки и их твердение 48 ч при равномерном снижении температуры от 30 до 6°C . При этом все рецептуры раствора через 48 ч образуют камень, так как раствор ЦТОК без ускорителя имеет время загустевания $4 \text{ ч } 20 \text{ мин}$, а предел прочности при изгибе через 48 ч ($+6^\circ\text{C}$) — $0,27 \text{ МПа}$; при введении 2% CaCl_2 время загустевания составило $3,5 \text{ ч}$, а предел прочности при изгибе — $0,35 \text{ МПа}$.

Результаты исследований показывают, что цемент ЦТОК обеспечит получение камня достаточной прочности во всем интервале цементирования, включая интервал зоны многолетней мерзлоты.

Облегченный тампонажный раствор из ЦТОК применен при цементировании эксплуатационных колонн на месторождениях Каламкас и Узень ПО «Мангышлакнефть» и на площадях объединения «Кубаньморнефтегазпрома».

Коррозионно-стойкий тампонажный цемент типа ЦТУК-120

Во ВНИИКРнефти разработан и исследован новый бесклинкерный утяжеленный коррозионно-стойкий тампонажный цемент типа ЦТУК-120, предназначенный для цементирования нефтяных и газовых скважин, вскрывших зоны с аномально высокими пластовыми давлениями и агрессивными сероводородсодержащими флюидами. Температурный диапазон применения этого цемента от 80 до 160 °С (С. Б. Трусов).

ЦТУК-120 состоит из совместно измельченных доменного гранулированного шлака, кварцевого песка и гидрофобизирующей добавки с последующим смешением до однородного состояния с баритовым утяжелителем.

Опытная партия ЦТУК-120 изготовлена на Константиновском заводе утяжелителей. Цемент имел удельную поверхность 2360 см²/г; при В/Ц=0,3, 0,12% КССБ-2 и 0,1% бихромата калия растекаемость тампонажного раствора составила 20,5 см, плотность 2,21 г/см³. При температуре испытаний 120 °С и давлении 60 МПа время загустевания этого раствора составило 3 ч 25 мин, начало схватывания 5 ч 25 мин, конец — 6 ч 15 мин, предел прочности камня при изгибе/сжатии через 24 ч твердения составил 3,12/3,87 МПа, газопроницаемость — $0,74 \cdot 10^{-3}$ мкм².

Исследования сохраняемости тампонажного цемента ЦТУК-120 в зимне-весенне-летний период на буровых площадках месторождения Западного Казахстана показали, что через 10 мес хранения цемент соответствует требованиям, заложенным в ТУ. Это обеспечивается действием гидрофобизатора, предотвращающим проникновение гигроскопической влаги воздуха в межзерновое пространство цемента и гидратацию его частиц в порошке.

Исследования коррозионной стойкости тампонажного камня из ЦТУК-120 подтвердили гипотезу о повышенной стойкости камня из гидрофобного цемента в агрессивной среде. Так, коэффициент коррозионной стойкости тампонажного камня из ЦТУК-120, хранившегося 6 мес при температуре 120 °С и парциальном давлении сероводорода 1,7—2,0 МПа (концентрация сероводорода 16,3—19,2 г/л), составил 0,96, что обеспечивается благоприятным фазовым составом тампонажного камня и остаточной гидрофобностью его порового пространства, замедляющей диффузию и обменные процессы в камне.

Испытание ЦТУК-120 показали его высокие качества.

Легкий тампонажный цемент типа ЦТЛ

Легкий тампонажный цемент типа ЦТЛ предназначен для цементирования нефтяных, газовых и других скважин, вскрывших зоны с аномально низким пластовым давлением (АНПД)

или низкими градиентами давления гидроразрыва пластов в пределах геостатических температур 20—150 °С.

Легкий тампонажный цемент подразделяют на марки в зависимости от температуры применения: ЦТЛН, ЦТЛУ и ЦТЛП. Последняя буква в обозначении указывает на температурный интервал применения цемента — нормальный, умеренный и повышенный, соответственно.

ЦТЛ — гидравлический порошкообразный тампонажный материал (С. Б. Трусов), получаемый тщательным смешением в сухом виде вяжущего (70%) и облегчающих добавок — фильтровального перлита (15%) и шлифовальной пыли (15%).

При производстве ЦТЛ в качестве вяжущего используют тампонажные цементы, выпускаемые промышленностью по ГОСТ 1581—85: тампонажный портландцемент для «холодных» (при производстве ЦТЛН, применяемом в интервале температур 20—50 °С) или «горячих» скважин (ЦТЛУ при 50—100 °С), песчанистые тампонажные портландцементы, содержащие 40% молотого кварцевого песка (ЦТЛП при 100—150 °С).

Легкий тампонажный раствор плотностью 1,32 г/см³ получают, затворяя ЦТЛ водой при В/Ц = 1,40 ± 0,03, выход раствора — 1,5—1,6 м³/т. Для регулирования технологических свойств раствора и камня из ЦТЛ рекомендуется использовать известные выпускаемые промышленностью химические реагенты: ускорители (CaCl₂) или замедлители (ВКК и др.) сроков схватывания, понизители водоотдачи (КМЦ, ПВС-ТР и др.) Прочность камня колеблется в широких пределах в зависимости от состава и температуры твердения. ЦТЛ отличается от аналогичных цементов тем, что наряду с фильтровальным перлитом (тонкодисперсный, кремнеземсодержащий порошок), содержит шлифовальную пыль (отход, получаемый в результате абразивной обработки асбесторезиновых изделий), которая способствует повышению стабильности приготавливаемого легкого тампонажного раствора, улучшению упругодеформационных характеристик, снижению газопроницаемости и повышению коррозионной стойкости камня.

РАСШИРЯЮЩИЕСЯ ТАМПОНАЖНЫЕ ЦЕМЕНТЫ

В строительстве нефтяной и газовой промышленности используется несколько видов расширяющихся тампонажных растворов. При цементировании скважин они применяются редко. Расширение большинства таких цементов вызывается образованием и ростом при твердении кристаллов гидросульфата алюмината кальция. Для этой цели используется также расширение при гидратации оксида магния.

4 Рецептуры расширяющихся тампонажных цементов следует выбирать таким образом, чтобы рост кристаллов соединений продолжался до определенного момента, характеризующегося

прочностью структуры твердеющего камня. В противном случае, если интенсивно расширение будет продолжаться после того как камень приобретает высокую прочность, может наступать его разрушение. Даже незначительные отклонения от подобранной рецептуры цемента могут привести к разрушению камня.

Большинство растворов из расширяющихся цементов имеет ускоренные сроки схватывания, быстро затвердевает при повышении температуры. Глиноземистый цемент и гидросульфоалюминат кальция — важнейшие составляющие расширяющихся тампонажных цементов — неустойчивы при действии высоких температур и давлений.

В СССР наибольшее распространение получили водонепроницаемый и гипсоглиноземистый расширяющиеся цементы. Первый — быстросхватывающийся; он изготавливается при смешении или совместном помоле глиноземистого цемента, полуводного гипса и специально приготовленного гидроалюмината кальция.

Медленнее схватываются растворы из гипсоглиноземистого расширяющегося цемента, состоящего из тонкоизмельченных высокоглиноземистых доменных шлаков и природного двуводного гипса в соотношении 70:30. Его применение ограничено температурами 70—80 °С вследствие разложения сульфалюмината.

В НИИЦементе разработан цемент, состоящий из 60—65% портландцемента, 3—6% глиноземистого цемента, 5—10% двуводного гипса, 20—25% гидравлической добавки.

В МИНГ разработана рецептура: 80—82% клинкера, 15% негашеной извести, 3—5% двуводного гипса, при этом достигается расширение камня до 3—4%.

В КуйбышевНИИНП составлена рецептура облегченного расширяющегося тампонажного цемента, состоящая из 70% тампонажного портландцемента и 30% диатомита. В качестве расширяющегося компонента к массе добавляют 15% гипсоглиноземистого цемента. При водоцементном отношении 0,8 достигается расширение камня до 1%.

В практике цементирования скважин некоторое распространение получили тампонажные расширяющиеся цементы состава: портландцементы 80—90% и гипсоглиноземистый цемент 10—20%. Расширение камня — до 1%.

Расширяющиеся тампонажные цементы для удлинения сроков схватывания приготовленных из них растворов могут быть обработаны известными замедлителями.

ТАМПОНАЖНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО ГИПСА

Гипс в качестве тампонажного материала применяют сравнительно недавно. Его иногда использовали как материал для борьбы с поглощением бурового раствора при бурении скважин.

Высокопрочный гипс стали применять также для цементирования кондукторов и в некоторых случаях промежуточных колонн в Башкирии.

Известно несколько модификаций гипса: двухводный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, полуводный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ и безводный CaSO_4 — растворимый (искусственный) ангидрид и нерастворимый природный или искусственный ангидрид.

Плотность полуводного гипса 2,60—2,75 г/см³. Способ получения гипса определяет его состав. При этом может быть получен строительный (β-полугидрат) или высокопрочный (α-полугидрат) гипс. Отличительной особенностью высокопрочного гипса является высокая прочность гипсового камня в первые часы твердения.

Полуводный гипс при затворении водой переходит в двухводный гипс — высокопрочный камень, отличающийся мелкокристаллической структурой.

В связи с быстрым схватыванием раствора из высокопрочного гипса его не применяют при цементировании скважин без замедлителей сроков схватывания. Исключение составляют только отдельные случаи цементирования направлений или шурфов. Начало схватывания раствора из высокопрочного гипса не превышает 10—20 мин.

Хорошее замедляющее действие на гипсовые растворы при обычных условиях оказывают нейтрализованный черный контакт (НЧК), сульфонол и сульфитно-спиртовая барда (ССБ), эффект замедляющего действия которых основан на образовании пленки ПАВ на зернах гипса, предупреждающей доступ воды к гипсу.

Другая группа замедлителей, к которым относятся неорганические вещества, понижает растворимость гипса, что также приводит к замедлению процесса схватывания гипса. К ним относятся бура, триполифосфат натрия, гексаметафосфат натрия, суперфосфат и др.

Замедлители предварительно растворяют в воде, которой затворяется гипс. Наименее желателен как замедлитель суперфосфат, дозировка которого должна быть высокой; он вызывает пенообразование раствора.

Существенное влияние на сокращение сроков схватывания гипсовых растворов оказывает температура. Ускоряющее действие температуры проявляется примерно до 50 °С, после чего наблюдается обратное действие температуры — сроки схватывания замедляются. Замедление их происходит примерно пропорционально повышению температуры. При температуре около 80 °С раствор полуводного гипса не схватывается. Отсюда область применения высокопрочного гипса в качестве тампонажного цемента ограничивается условиями, где температура не превышает 50 °С.

Водоотдача чистого гипсового раствора в начальный момент велика, но быстрое прохождение процесса схватывания раствора не дает возможности изучить его более детально. При наличии замедлителей водоотдача гипсового раствора с увеличением перепада давления растет.

Механическая прочность камня из гипсового раствора уже через несколько часов (3—5) достигает 2,5—3,0 МПа (на изгиб). Существенное влияние на прочность камня оказывают тип и дозировка вводимого замедлителя сроков схватывания раствора. Так, добавка 9% приводит к снижению предела прочности камня на изгиб до нуля через 3 ч твердения.

Гипсовый раствор твердеет с выделением тепла. По данным П. П. Будникова, полная теплота гидратации, т. е. количество тепла, выделяемое 1 г гипса, равна 103,2 Дж/г. Характерным для гипсового раствора является выделение практически всего тепла в первые часы схватывания и твердения.

При твердении гипсовый раствор и камень расширяются. По данным Ю. М. Бутта, расширение еще незатвердевшего гипсового раствора составляет 1%.

Гипс — это воздушное вяжущее вещество. Недостаточная водостойкость камня из гипса объясняется растворимостью в воде сульфата кальция, которая при температуре 20 °С составляет более 2 г/л. В большинстве минерализованных вод камень из гипса становится менее водостойким, что ограничивает его применение в нефтепромысловом деле.

Водостойкость гипса может быть повышена введением в него до 50% шлака.

Характерной особенностью вяжущих на гипсовой основе является малая зависимость скорости твердения при снижении температуры до 0 °С. Поэтому наиболее эффективной областью применения тампонажных материалов на основе полуводного гипса является крепление низкотемпературных скважин, особенно при наличии многолетнемерзлых пород. Во ВНИИКРнефти совместно с ВНИИСТРОМ им. П. П. Будникова и Воскресенским ПО «Минудобрения» разработана технология и освоен промышленный выпуск гипсоцементного тампонажного материала, получившего название «Цемент тампонажный для низкотемпературных скважин типа ЦТН». Он представляет собой композицию, состоящую из высокопрочного гипса (70—80%), портландцемента (20—30%) и замедлителя. Высокопрочный гипс получают автоклавной переработкой фосфогипса — отхода производства фосфорных удобрений.

Тампонажный раствор из ЦТН при водоцементном отношении 0,45—0,50 имеет плотность 1,70—1,76 г/см³, растекаемость по конусу АзНИИ 18—20 см, время загустевания при 20 °С не менее 60 мин. Сроки схватывания при температуре 20 °С: начало — не ранее 1 ч 15 мин, конец — не позднее 2 ч 30 мин. После

окончания схватывания цементного раствора камень интенсивно набирает прочность: через 4—6 ч после затворения прочность образцов при температуре 0—5 °С составляет 1,2—1,6 МПа (на изгиб), расширение камня 0,07—0,12%. Быстрый набор прочности камня позволяет существенно снизить затраты при строительстве скважин вследствие сокращения времени ОЗЦ. Применение ЦТН упрощает технологию цементирования скважин, так как не требуется предварительного растворения ускорителей схватывания в воде затворения. Существенным преимуществом гипсоцементного вяжущего является лучшая сохранность свойств при хранении. Гарантийный срок сохранности ЦТН составляет 4 мес; промысловые испытания ЦТН показали, что при хранении его в течение 6—8 мес потеря активности (по прочности образцов в раннем возрасте) составляет 10—15%, цемент не слеживается и не комкуется.

Рекомендуемая область применения ЦТН — крепление направлений, кондукторов и промежуточных колонн при геостатической температуре пород от +30 до —2 °С. При бурении под кондуктор с использованием буровых растворов с положительной температурой (в устойчивых при растеплении мерзлых породах) применение ЦТН возможно при температуре пород до $-5 \div -6$ °С.

ГИДРОФОБНЫЕ ЦЕМЕНТЫ

При длительном хранении, особенно в осенне-зимний или любой влажный период времени, свойства тампонажного портландцемента ухудшаются: цемент комкуется, удлиняются сроки схватывания цементного раствора, повышается вязкость, снижается механическая прочность цементного камня. Длительное хранение во влажных условиях иногда приводит к превращению всего цемента, находящегося в обычном бумажном мешке, в камнеподобное тело.

Снижение гигроскопичности тампонажного цемента, а следовательно, повышение его сохранности, может быть достигнуто обработкой цемента гидрофобизирующими (несмачиваемыми водой) добавками. Для строительных цементов в качестве гидрофобизирующих добавок используют асидол, мылонафт, олеиновую кислоту, остатки жирных кислот, окисленный петролатум и др. Добавки вводят обычно в мельницы при помоле цементного клинкера.

Однако применение гидрофобного цемента в нефтедобывающих районах страны дает существенное преимущество по сравнению со стандартными тампонажными цементами в следующих случаях:

- а) при длительном хранении на разбуриваемых площадях;
- б) цементировании скважин в разведочном бурении;

в) при необходимости получения низковязкого тампонажного раствора.

Гидрофобный цемент продолжительное время сохраняет сыпучесть, имеет малую слеживаемость, меньше комкуется, чем стандартные цементы. Образовавшиеся комочки при длительном хранении (8—10 мес) легко разрушаются при механическом воздействии, что не удается достичь для обычных тампонажных цементов.

Свойства гидрофобного цемента, обуславливающие его технико-экономическую эффективность, заключаются в следующем:

а) гидрофобизирующие свойства облегчают измельчение цементного клинкера, т. е. интенсифицируют помол цемента, что увеличивает производительность помольных цехов на заводах;

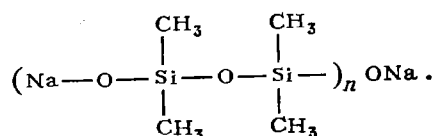
б) гидрофобизированный цементный порошок практически негигроскопичен, поэтому он способен сохранять свою активность при длительном хранении даже во влажных условиях.

Тампонажный цемент должен быть хорошо смачиваемым и вместе с тем низкогигроскопичным.

Гидрофобизирующая добавка не должна снижать прочности цементного камня, увеличивать его проницаемость, повышать вязкость раствора, она должна удлинять сохранность цемента, снижая его гигроскопичность.

Гигроскопичность цемента может быть снижена введением при помоле в тампонажные цементы аминоспиртов: моноэтаноламина $\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}$ — до 0,5%, диэтаноламина $\text{NH}(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_2$ и триэтаноламина $\text{N}(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_3$ — 0,25—0,5% и др.

В настоящее время при разработке гидрофобного тампонажного цемента в качестве реагента-гидрофобизатора используют отходы производства кремнийорганических соединений, среди которых важное место занимает диметилсилоксанолят натрия



Он нетоксичен, технологичен при применении, представляет собой невязкую жидкость, не замерзающую до -35°C . Добавляют данный гидрофобизатор при помоле клинкера в количестве 0,2—0,3% к массе цемента. Его введение резко снижает затраты электроэнергии на помол и увеличивает производительность мельниц в 1,5 раза. Причем гидрофобный цемент имеет большую тонкость помола, чем негидратированный при равном времени помола.

Растекаемость и сроки схватывания при длительном хранении его более стабильны, чем у обычных стандартных цементов.

При водоцементном отношении 0,5 водоотделение гидрофобного цемента значительно ниже, чем без гидрофобизатора.

Опыты по сохраняемости гидрофобного цемента показали, что через 6 мес хранения отсев через сито цемента с гидрофобной добавкой составил около 5%, в то время как эталонного — 23%. Это показывает, что гидрофобный цемент обладает существенно большей сохраняемостью, чем эталонный, а камень на его основе высокими прочностными характеристиками. Прочность камня из гидрофобного цемента на изгиб при хранении падает значительно медленнее, чем обычно. Сохраняемость по этому показателю возрастает на 15—20%.

Гидрофобные цементы обладают преимуществами по сравнению с обычными тампонажными цементами только в условиях длительного хранения. При приготовлении цементного раствора из свежеприготовленного гидрофобного цемента наблюдается плохое смачивание его и вспенивание. Существующие механические и термические методы разрушения адсорбционных гидрофобизирующих слоев рассчитаны на сравнительно длительное воздействие. При цементировании скважин, когда продолжительность контакта цементного порошка с водой до момента всасывания раствора насосами цементировочных агрегатов измеряется короткими промежутками времени, эти методы непригодны. Для практически мгновенного смачивания свежеприготовленных гидрофобных цементов в этом случае необходимо применить один из путей гидрофилизации:

- 1) введение ПАВ-гидрофилизаторов в воду затворения;
- 2) использование силы гидроудара для разрушения гидрофобизирующей пленки на частицах цемента.

В остальном технология приготовления обычная.

В лабораторных условиях готовят гидрофобный цемент путем перемешивания навески цемента в шаровых мельницах с необходимым количеством гидрофобизатора в течение 20 мин, отбирают пробу и испытывают на гидрофобность в соответствии с ГОСТ 10178—85. Вода остается на поверхности цементного порошка в виде свободно передвигающейся капли в течение 5—10 мин. Обычный же цемент впитывает каплю воды в течение 1—2 с, т. е. практически мгновенно. Наиболее показательны в этом отношении результаты хранения гидрофобного цемента в открытых бюксах во влажной среде и особенно над водой при относительной влажности 100%.

Образцы хранят в эксикаторе и каждые 10 дней определяют их привес. Через 1,5 мес пробы цементов сильно комкуются и начинают схватываться, в то время как гидрофобные цементы сохраняют первоначальную текучесть в течение нескольких месяцев. Для определения потери активности цемента его рассеивали на сите № 0,08 и определяли процент отсева, а также потери при прокаливании.

Тампонажный камень в скважине подвергается комплексу статических (давления в обсадной колонне) и динамических (перфорация, спускоподъемные операции) нагрузок, переменных по величине и знаку.

Используемые цементы характеризуются значительной прочностью на изгиб и сжатие, малой проницаемостью и другими положительными свойствами. Однако, обладая низкой деформационной способностью и трещиностойкостью, они не способны противостоять разовым и циклическим нагрузкам.

При разработке высокопрочных материалов широко используют принципы композиций: для их изготовления применяют несколько компонентов, обладающих различными физико-механическими свойствами (особенно упругопластическими). На основании этого принципа во ВНИИКРнефти разработаны дисперсно-армированные тампонажные (на базе портландцементов и шлаков) материалы, представляющие смесь вяжущего и коротких волокон, произвольно ориентированных и равномерно распределенных по всему объему, работающих совместно с матрицей за счет сил сцепления.

Дисперсная арматура отличается от обычной тем, что произвольно ориентированные по всему объему композита отрезки волокон при достаточной равномерности распределения и определенном количестве более эффективно воспринимают и перераспределяют часть нагрузки практически любого направления. Если трещины все же образуются за счет преодоления сопротивления дисперсно-армирующей добавки или нарушения сцепления волокон в тампонажном камне, то начинает проявляться некоторая не менее важная функция волокон. Охватывая каждую из образовавшихся трещин со всех сторон, они препятствуют дальнейшему их росту и развитию, сохраняя целостность цементного камня.

В качестве армирующих добавок используют волокна трех типов: искусственные (нейлон, полипропилен, полиэтилен и др.), минеральные (шлаковые, кварцевые, асбестовые, базальтовые и др.), а также органические (хлопок и др.).

Характер работы дисперсно-армирующей добавки в тампонажном материале, а следовательно, и физико-механические свойства камня во многом зависят от свойств самих волокон. Волокна, применяемые для армирования, должны обладать достаточной стойкостью в продуктах твердения, высокой механической прочностью и определенным сцеплением с цементным камнем (адгезией), быть дешевыми и доступными.

Так как волокна используют для дисперсного армирования тампонажных материалов, применяемых в широком диапазоне температур (от 0 до +250 °С), они должны быть термостойкими.

Исследования, проведенные с разными типами волокон, дали положительные результаты.

В качестве армирующей добавки в тампонажные материалы наиболее целесообразно использовать минеральные волокна (П. Ф. Паринов).

Введение в цементную матрицу отрезков волокон определенных размеров повышает прочность при растяжении (изгибе) в результате использования собственной прочности волокон. В этом случае важными факторами являются не только прочность выбранных волокон на разрыв, но и их размеры (диаметр, длина).

Количество дисперсно-армирующей добавки в цементном камне определяет расстояние между центрами волокон. Среднее расстояние между волокнами по формуле Макки

$$S = \sqrt[3]{V/P},$$

где V — объем одного волокна; P — объемная доля волокна в растворе, %.

Дисперсно-армированные тампонажные материалы с улучшенными деформативными свойствами, как показал опыт их применения, рекомендуется применять для повышения качества цементирования обсадных колонн в зоне перфорации, при ремонтных работах, установке мостов в нефтяных и газовых скважинах.

ОБРАЩЕННЫЕ НЕФТЕЭМУЛЬСИОННЫЕ ТАМПОНАЖНЫЕ РАСТВОРЫ

Промышленное внедрение буровых растворов на углеводородной основе вызвало практическую необходимость разработки тампонажных растворов для цементирования обсадных колонн в скважинах, которые пробурены с промывкой забоя известково-битумными или другими аналогичными растворами.

В качестве исходной предпосылки для обеспечения качественного бурения таких скважин принято считать, что природа буровых и тампонажных растворов должна быть примерно одинаковой.

В МИНГ им. И. М. Губкина разработаны рецептуры обращенных нефтеэмульсионных цементных растворов (ОНЭЦР), применение которых в значительной мере позволяет сохранить коллекторские свойства разбуриваемых продуктивных пластов, а также предотвратить осложнения, связанные с возможным смешиванием углеводородных буровых растворов с цементными.

Жидкая фаза раствора ОНЭЦР (дисперсионная среда) представлена дизельным топливом, которое загущают высокоокисленным битумом; дисперсной фазой служат частицы цементного порошка, смоченные водой, и эмульгированные капельки воды.

В качестве реагента-эмульгатора и гидрофобизатора в

ОНЭЦР добавляют 1,5—2% сульфонола, который стабилизирует систему. Добавка сульфонола в количестве более 2% увеличивает сроки схватывания раствора и несколько снижает прочность цементного камня, которая во всех случаях характеризуется величиной, значительно меньшей по сравнению с камнем из цементных растворов на водной основе.

К числу преимуществ растворов ОНЭЦР следует отнести отсутствие фильтрации воды из него, а также повышенную адгезию его камня к поверхности металла и горных пород, покрытых углеводородной пленкой.

Высокая степень седиментационной устойчивости и отсутствие расслоения столба раствора ОНЭЦР по высоте скважины предопределяет вероятность сохранения гидростатического давления на продуктивные пласты в течение всего периода ОЗЦ.

В качестве примера может быть рекомендована следующая рецептура ОНЭЦР, из числа разработанных в МИНГ (приводится потребность компонентов для приготовления 1 м³ раствора):

Цемент для «горячих» скважин, кг	940
Вода, дм ³	565
Дизельное топливо или раствор битума в нем, дм ³	378
Сульфонол, дм ³	19
Каустическая сода, кг	7

Параметры этого тампонажного раствора и камня из него будут следующими:

Плотность раствора, кг/м ³	1650
Растекаемость по конусу АзНИИ, см	18
Водоотделение, л	200
Начало загустевания при $T=90^{\circ}\text{C}$, ч-мин	3—00
Начало схватывания, ч-мин	8—00
Температурный интервал цементирования, $^{\circ}\text{C}$	40—90
Прочность камня через 3 сут на изгиб/сжатие, МПа	1/3

Для промысловых условий рекомендован следующий порядок приготовления ОНЭЦР.

Доставленный на буровую в автоцистернах раствор окисленного в дизельном топливе битума перекачивают в мерники цементировочных агрегатов; после введения в битумный раствор 75% расчетного количества ПАВ смесь тщательно перемешивают цементировочными насосами по схеме замкнутой циркуляции: мерная емкость — насос — мерная емкость. Циркулирующий раствор дизельного топлива с помощью цементировочного насоса одного агрегата на первой скорости вводят в цементный раствор соответствующей плотности, затворенный по общепринятой схеме (на воде) с применением цементосмесителя и цементировочных агрегатов.

При смешивании водного цементного раствора с битумным концентратом в присутствии ПАВ образуется обращенная эмульсия. После прекращения эмульгирования с поверхности ОНЭЦР насосами удаляют выделившуюся из раствора избыточную воду в количестве 50—60% от первоначального объема, использованного для затворения цемента; затем ОНЭЦР обрабатывают оставшимся количеством ПАВ и перемешивают до однородного состояния.

Приготовленный ОНЭЦР перекачивают в специальные емкости, где его можно хранить до момента закачивания в скважину (в течение нескольких суток).

Наличие межфазных пленок по границе раздела фаз блокирует центры кристаллизации и сдерживает рост кристаллов новообразований, благодаря чему приготовленный заранее ОНЭЦР в течение длительного времени сохраняет свои технологические параметры, подобранные первоначально в соответствии с условиями цементирования.

К числу технологических особенностей спуска и цементирования обсадных колонн в скважинах, пробуренных с использованием растворов на углеводородной основе, следует отнести возможность значительного увеличения гидродинамических давлений в скважинах как в процессе спуска колонн, так и при цементировании. Это обусловлено увеличением предельных напряжений сдвига буровых растворов в скважине, которые могут достигать 100 Па и более и способны вызывать гидроразрывы пластов.

НЕФТЕЦЕМЕНТНЫЕ РАСТВОРЫ

Особое место среди тампонажных растворов занимают нефтецементные растворы, состоящие из цемента и нефти или дизельного топлива. Основные преимущества нефтецементных растворов — несхватываемость при отсутствии воды и высокая прочность камня вследствие взаимодействия с незначительным количеством воды (20—25%). В процессе проникновения в водопроводящие каналы раствор быстро густеет и, выделяя нефть (или другую основу — дизельное топливо, керосин и т. д.), вступает во взаимодействие с водой, давая прочный камень.

При смешении нефтецементного раствора с водой масса очень быстро теряет подвижность, превращается в комки и камень с выделением почти всего количества нефтепродукта. Для увеличения подвижности раствора и лучшего отмыва нефтепродукта применяют высокодействующие поверхностно-активные вещества: кубовый остаток этилового эфира ортокремневой кислоты, крезол, димеру, асидол, нафтенат кальция. Менее дефицитен крезол ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$), используемый нефтяной промышленностью в качестве селективного растворителя.

Повышенное содержание нефтепродукта и ПАВ делает смесь более подвижной, длительное хранение нефцецементного раствора с дизельным топливом в присутствии кубового остатка (КОС) снижает растекаемость смеси. Обычно к массе цемента добавляют 40—50% нефтепродукта.

Крезол по своему воздействию на нефцецементные растворы несколько отличается от кубового остатка, хотя во многом их свойства совпадают. При добавлении до 1% крезола подвижность нефцецементного раствора возрастает, при больших количествах — падает. В течение 1—8 ч хранения крезол способствует некоторому увеличению подвижности раствора. В процессе продолжительного его хранения (до 5 мес) наблюдаются незначительное расслоение раствора и выделение топлива. В присутствии крезола нефцецементные растворы с увеличением температуры повышают свою подвижность. При смешении с горячей водой нефцецементные растворы быстро густеют до нетекучего состояния и по мере соединения с водой интенсивно выделяют нефтепродукт. При соединении с 30—35% воды смеси освобождаются от 90—95% нефтепродукта, превращаясь в густую массу и затем в камень.

Нефцецементные растворы (без воды) не схватываются при температурах выше 200 °С и давлении 70 МПа. Однако замещение 20% нефтепродукта водой приводит к тому, что растворы быстро густеют уже при температуре 120 °С и давлении 30 МПа и схватываются за 20—30 мин.

На основе нефцецементных растворов введением в них ускорителя могут быть приготовлены быстросхватывающиеся смеси для ликвидации поглощения в скважинах. Эти растворы при отсутствии воды не схватываются. Вода способствует быстрому их загустеванию, а ускоритель — схватыванию. Ускорителями сроков схватывания могут быть кальцинированная сода, гипс и другие материалы.

В отдельных случаях в нефцецементные растворы вводят наполнители — песок, глину, улучшающие тампонажные и механические свойства растворов.

Как обычные (водные), так и нефцецементные растворы проникают в пласты только по трещинам и каналам и практически не проникают в поры пластов.

Частично схватившаяся нефцецементная масса интенсивно разрушается при действии на нее серной кислоты. Последняя, реагируя с нефтепродуктом, вытесняет его и, получив доступ к цементным частицам, вступает с ними во взаимодействие. В результате происходит сильный саморазогрев массы с выделением газа, образуются двуводный гипс, сульфоалюминат кальция и другие сульфаты. Возникновение этих соединений сопровождается значительным увеличением объема цементной массы и способствует ее быстрому разрушению.

Нефтецементные образцы быстро разрушаются от действия серной кислоты 10—25%-ной концентрации. Интенсивность разрушения нефтецементной массы зависит от количества воды, прореагировавшей с цементом, от концентрации кислоты и условий прохождения реакции.

Солянокислотные обработки могут быть применены в скважинах, где водяные пропластки близко расположены к нефтяным. У нефтяных разрушение частично схватившегося камня из нефтецементного раствора произойдет интенсивно, у водяных, где повышено количество воды, должен образоваться качественный тампон.

ОРГАНИЧЕСКИЕ И ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН

Широко применяемые тампонажные растворы на основе минеральных вяжущих часто не обеспечивают надежного разобщения пластов.

Проблема качественного тампонирувания скважин остается очень актуальной. Для ее решения необходимы такие тампонажные материалы, технологические характеристики которых исключили бы недостатки, присущие минеральным вяжущим. Такими материалами могут быть тампонажные составы на основе макромолекулярных соединений.

Пластические массы имеют малую плотность, они устойчивы к различного рода коррозиям, многие из них обладают высокой адгезией к металлам и горным породам. Благодаря этим ценным свойствам их еще шире используют во многих отраслях техники. В строительной практике, например, широко применяют полимеры в качестве добавок к цементам, чтобы повысить их качество.

Задача о разработке полимерных тампонажных материалов в самом общем виде может быть сформулирована следующим образом: система, пригодная для производства тампонажных работ, должна иметь невысокую начальную вязкость (не более 0,5 Па·с), регулируемое время загустевания и затвердевать в безусадочный камень с определенными физико-механическими свойствами.

Возможности макромолекулярной химии, способной решать задачи о превращении жидких систем в твердые тела, которые предполагается использовать в качестве тампонажного камня, велики. Твердые монолитные продукты из жидких могут образовываться в результате одной из трех основных реакций: полимеризации и сополимеризации, поликонденсации, макроаналогичных превращений.

Исследования ВНИИКРнефти позволили получить новые тампонажные материалы с использованием метода макроанало-

гичных превращений. Из материалов этого класса наиболее интересным и изученным является вулканизируемый поливинилхлорид.

Тампонирующий материал на основе поливинилхлорида, обладая всеми преимуществами полимерных материалов, лишен недостатков портландцементных и шлаковых камней. Рецепт содержит поливинилхлорид марки Е-62 в виде порошка, дибурилфталат, О-оксилон, каолин и безводный хлорид цинка. Анализ показал, что наиболее рациональной является следующая рецептура:

а) объемная доля ПВХ 5—8% (эта величина соответствует максимуму прочности и удовлетворительному времени загустевания, которое уменьшается при росте концентрации ПВХ);

б) объемная доля хлорида цинка в пределах 0,7—1,1% (эти значения соответствуют среднему времени загустевания, прочность от концентрации хлорида цинка зависит слабо);

в) объемная доля каолина 18—20% соответствует средним значениям $\tau_{\text{зат}}$ и σ_p и дает удовлетворительную растекаемость состава по конусу АзНИИ;

г) объемная доля ДБФ 18% соответствует максимальной прочности и максимальному времени загустевания;

д) максимальная прочность при достаточно длительных сроках загустевания отмечается при температурах 80—135 °С.

Тампонирующий раствор на основе поливинилхлорида можно успешно использовать при креплении скважин, температура в которых не превышает 135 °С. Наряду с указанными свойствами разработанный способ обладает очень важной особенностью. В результате хранения камня в различных средах установлена его способность набухать в водной среде на 15—20%, а в углеводородной среде давать усадку на 20—28%.

С учетом описанных преимуществ тампонирующий раствор на основе поливинилхлорида может быть использован при креплении скважин и для борьбы с поглощениями, а также для ремонтных работ в эксплуатационных скважинах с целью селективной изоляции пластов.

Аналогично получены тампонирующие составы на основе гипана, поливинилового спирта, карбоксиметилцеллюлозы, полиакриламида.

Полимерные тампонажные материалы имеют ряд преимуществ перед растворами минеральных вяжущих веществ:

1) низкую плотность и возможность ее регулирования в широких пределах;

2) регулируемое время загустевания;

3) способность фильтрующихся жидких фаз твердеть, что при проникновении их в глинистую или битумную корку, а также в проницаемую породу обеспечивает сплошность тампонажного камня, глинистой корки и породы;

- 4) возможность обеспечить адгезию тампонажного камня к металлу колонн и горным породам;
- 5) высокую седиментационную устойчивость;
- 6) отсутствие контракционных процессов в период твердения;
- 7) практически полную непроницаемость камня во всех случаях;
- 8) инертность шлама пластмассового камня к буровым растворам;
- 9) высокую инертность пластмасс к флюидам скважины.

Полиолефин-цементные композиции. Здесь главным образом рассматривается полиэтилен. Этот полимер термопластичен. Температура стеклования его $+115^{\circ}\text{C}$, плавления $+137^{\circ}\text{C}$, предел прочности при разрыве 24,5 МПа, модуль упругости 210 МПа, разрывное удлинение 500%. При температурах выше 130°C при действии сильных окислителей связь $\text{C}-\text{H}$ способна диссоциировать, и полиэтилен в этих условиях может сшиваться в трехмерную структуру.

Присутствие коллоидного полиэтилена в цементном камне улучшает некоторые свойства последнего и иногда весьма значительно: повышаются пластичность камня и его деформационная способность, увеличиваются пределы прочности на изгиб и на разрыв, возрастает химическая стойкость, резко снижается водопроницаемость.

Полиэтилен вводят в полиолефин-цементные композиции в виде твердых частиц или в виде дисперсии порошка полимера в воде или другой жидкости. Цементный камень, армированный полиэтиленовыми волокнами, имеет повышенную устойчивость к ударным нагрузкам.

Дисперсию полиэтилена в воде можно с успехом применять для модификации свойств шлакового камня. Полиэтилен-шлаковые композиции могут быть рекомендованы для применения в «горячих» нефтяных и газовых скважинах.

Поливинилхлорид-цементные композиции. Поливинилхлорид (ПВХ) — белый аморфный полимер с высокой поверхностной твердостью (15—16 НВ). Макромолекулы ПВХ представляют собой полиуглеродные цепи большой длины, в которых 75% свободных валентностей замещено атомами водорода и 25% — атомами хлора.

Температура стеклования ПВХ 81°C , температура плавления 212°C , но уже при 120°C ПВХ начинает разлагаться, выделяя хлорид водорода.

При использовании сополимеров с винилацетатом был получен безусадочный цементный камень с большой влагуостойчивостью.

Значительный интерес представляет использование латексов — сополимеров ПВХ с полиакрилатами. Латексы не коагу-

лируют под действием поливалентных катионов и их с успехом можно применять для модификации цементных растворов. Введение латексов в цементные растворы повышает подвижность последних, улучшает их прокачиваемость и снижает проницаемость камня в десятки раз. Использование сополимера винилхлорида и ненасыщенной кислоты, ее ангидрида или амида повышает эластичность цементного камня, а также его однородность.

Приведенные данные указывают на то, что цементные композиции, содержащие поливинилхлоридные сополимеры, можно рекомендовать для крепления скважин с невысокой забойной температурой (до 50—60 °С) в условиях агрессии кислых вод.

Поливинилацетат-цементные (ПВА) композиции. При температуре ниже +80 °С ПВА представляет собой стекловидный материал; выше этой температуры он размягчается и приобретает эластичные свойства. Последние сохраняются до температуры 120—130 °С; выше 130 °С ПВА начинает разлагаться с выделением уксусной кислоты.

Поливинилацетат немного набухает в воде, нерастворим в бензине, керосине, хорошо растворим в полярных органических жидкостях и ароматических углеводородах, обладает высокой адгезией к силикатным материалам.

Малая гидролитическая устойчивость ПВА в щелочной среде цементного раствора не дает возможности сохранять длительно новые свойства камня. Процесс гидролиза резко ускоряется во влажной горячей среде.

В процессе гидролиза ПВА постепенно превращается в поливиниловый спирт. При степени конверсии 60% и выше поливиниловый спирт становится растворим в воде и при наличии перепада гидростатического давления или в результате осмотических перетоков вымывается из цементного камня.

Твердение композиций представляет собой комбинированный процесс гидратационного твердения цементного клинкера и высыхания дисперсии полимера. На формирование структуры цементного камня с добавкой ПВА благоприятное влияние оказывает добавление хлорида кальция. Количество добавки ПВА к цементу может изменяться от долей процента до 20—30%, а для изготовления цементного клея можно добавлять до 50% ПВА.

Введение полимера в цементный раствор вызывает удлинение начала схватывания, причем при конденсации полимера до 30% это удлинение пропорционально содержанию полимера.

Поливинилацетат-цементные композиции обладают хорошими тампонажными свойствами, однако низкая гидролитическая устойчивость ПВА и снижение прочности композиций во влажной среде ограничивают возможности их применения. Композиции можно использовать для временной изоляции пластов при

борьбе с поглощением бурового раствора и капитальном ремонте скважин.

Поливинилалкоголь-цементные композиции. Из синтетических полимеров алифатического ряда, содержащих в макромолекулах гидроксильные группы, в настоящее время промышленность выпускает в значительных количествах только поливиниловый спирт (ПВС).

ПВС — один из немногих полимеров, хорошо растворимых в воде, что облегчает его введение в цементный раствор.

Высокая степень полимеризации ПВС (молекулярная масса 10^6 и более) и развернутая форма макромолекул в водной среде позволяют эффективно снижать водоотдачу цементного раствора. Добавка 0,4% ПВС снижает водоотдачу от 40 до 20 мл за 30 мин, а добавка 0,8% ПВС — до 5 мл за 30 мин.

Если ПВС в количестве 1—2% вводить в цементно-песчаную (1:2) смесь, то прочность при сжатии возрастает. Увеличение содержания ПВС до 10% придает цементному раствору повышенную клейкость — он хорошо соединяется со старым цементным раствором.

Цементный камень в определенных условиях эксплуатации может быть улучшен добавлением ПВС, так как ПВС легко образует водонерастворимые комплексы со многими веществами, в частности с соединениями бора. Введение комплексообразователей в цементный раствор позволит удерживать ПВС в цементном камне. Другой путь — введение ПВС в те цементы, которые должны эксплуатироваться при температурах выше 100°C . При этой и более высокой температуре, особенно в щелочной среде, ПВС сшивается в трехмерную структуру, образуя очень прочный каркас. Исследования, проведенные во ВНИИКР-нефти, показали, что ПВС может быть сшит в разбавленных растворах в трехмерную структуру при температурах $30\text{—}100^\circ\text{C}$ обработкой полимера окислительно-восстановительной системой, содержащей бихромат аммония и тиосульфат натрия.

Полиакрил-цементные композиции. В эту группу веществ включены композиции на основе цемента с добавкой полиакриловой кислоты, ее солей и полиакриламида. Они хорошо растворимы в воде. В то же время перечисленные мономеры легко вступают в реакцию сополимеризации со многими полифункциональными мономерами, образуя трехмерные, водонерастворимые продукты. Реакции полимеризации и сополимеризации, а также реакции функциональных групп с компонентами цементного клинкера идут при невысоких температурах с достаточно большой скоростью.

Органический компонент может быть введен в цемент в виде мономера с последующей полимеризацией его при гидратации цемента или сразу в виде раствора полимера. Первый путь более распространен и находит значительное применение в горной

и нефтедобывающей промышленности для крепления горных пород и цементирования скважин.

Наряду с акриламидом для сополимеризации могут быть использованы акриловая, метакриловая кислоты и их водорастворимые соли (щелочные и щелочноземельные). Эти добавки позволяют получить цементный камень с высокой ранней прочностью.

Второй путь использования в органоцементных композициях производных акриловой кислоты — введение в цементный раствор полимера — также реализован промышленностью. Введение в портландцемент полиакриламида в небольших количествах способствует повышению начальной механической прочности камня.

Водные растворы полиакриловой кислоты (К-4) можно применять для получения быстросхватывающегося тампонажного материала в присутствии раствора хлорида кальция. Хлорид кальция вводят для образования избытка ионов кальция, иначе полимер, выводя из реакции кристаллизации ионы кальция, входящие в цементный клинкер, вызовет ухудшение технологических и механических свойств цементного раствора и камня. Эти тампонажные смеси имеют небольшую плотность, схватываются и твердеют независимо от агрессивности пластовых вод.

Однако чаще водные растворы полиакриловой кислоты и полиакриламида используют в виде небольших добавок для предупреждения схватывания цементных растворов при цементировании нефтяных и газовых скважин, при проведении работ в условиях повышенных температур, для снижения водоотдачи цементных растворов, а также в качестве коагуляторов высокоструктурных гельцементов.

Добавление 0,015—0,025% полиакрилонитрила (гипана) также замедляет гидратацию цемента и уменьшает водопотребность цемента, а в дальнейшем сокращает сроки схватывания.

Полистиролцементные композиции. Полистирол — прозрачный твердый полимер, очень прочный и весьма устойчивый в химическом отношении против действия минеральных реагентов. В воде полистирол нерастворим, в предельных углеводородах набухает, в ароматических и высокополярных органических жидкостях медленно растворяется. К числу преимуществ следует отнести высокую износостойкость полистирола, приближающуюся при трении к металлической сетке и при качении к износостойкости баббита.

Полистирол проявляет очень слабую тенденцию к кристаллизации, что обусловлено структурной нерегулярностью макроцепей. Ниже 100 °С полистирол — стеклообразное тело, в интервале 100—150 °С — это каучукоподобный полимер, выше 150 °С он начинает плавиться.

Полистирол был применен для модификации свойств цементного камня четырьмя способами: затворением цемента на водополистирольной суспензии, затворением цемента на водополистирольной эмульсии, введением в цементный раствор кусочков полистирола, пропиткой готовых изделий стиролом с последующей полимеризацией стирола в блоке.

Введение 5—25% сополимера в цементный раствор снижает водопотребность, повышает механическую прочность цементного камня. Композиции на основе цемента и дивинилстирольного латекса СКЗ-65ГП обладают высокой стойкостью к атмосферным осадкам. Этот же латекс можно с успехом применять для защиты от атмосферных воздействий ячеистого бетона.

Введение в воду затворения стирола является по существу водоизменением первого способа, но имеет ряд преимуществ по сравнению с ним (более равномерное распределение полимера в массе цементного камня, более высокое качество получаемой композиции и т. д.), однако имеет и существенные недостатки, основной из которых — необходимость проведения дополнительной операции полимеризации стирола.

Вместо стирола применяют и другие его производные (в частности, стиролакрилат) в количестве 1—5%, позволяющие значительно удлинить сроки схватывания цементного раствора. Цементное кольцо может быть пропитано стиролом при изоляции зон поглощения путем установки стирольной ванны в зоне разбуренного цементного моста в том случае, если цементный экран негерметичен. В стирол перед закачкой его в скважину необходимо вводить инициатор полимеризации. Выбор инициатора зависит от температуры ствола скважины в зоне установки экрана. Для температур 70—90 °С целесообразно использовать пероксид бензола, для 90—120 °С — пероксид третбутилбензоила, для 120—140 °С — пероксид дитретбутила.

Фенолцементные композиции. Фенолальдегидные поликонденсаты (ФАС) относятся к числу наиболее распространенных и доступных синтетических материалов. Поэтому исследование их совместимости с цементом приняло широкий размах. Существуют фенолальдегидные ФАС кислотного и щелочного отверждения. Совершенно естественно, что первая группа не способна образовывать в среде цементного камня трехмерную пространственную структуру.

Рассмотрение механизма взаимодействия фенолов с компонентами цементного клинкера указывает на то, что фенолы реагируют с ионами кальция. Чем более многоатомным является фенол, тем длиннее и разветвленное образуются цепочки и тем выше начальная консистенция цементного раствора; чем больше фенола вводят в цементный раствор, тем больше выводится из реакции затворения ионов кальция и тем больше замедляются сроки схватывания. Однако при определенной концентрации

фенола в присутствии формальдегида реакция поликонденсации начинает обгонять реакцию гидратации и скорость схватывания цементного теста возрастает. Начиная с концентрации фенола 10—12% в смеси, фенолоальдегидный поликонденсат способен образовать самостоятельную трехмерную структуру, отличающуюся высокой механической прочностью. Прочность цементных кристаллообразований снижается вследствие инактивации ионов кальция гидроксильными группами фенолов.

Опыты ВНИИКРнефти показали, что добавка 25% резорцин-формальдегидного полимера в полимерцементной композиции приводит к увеличению прочности цементного камня в 2—3 раза и снижению проницаемости камня до нуля. Замена моноальдегидов (формальдегида, ацетальдегида) полиальдегидами (глиоксальем, полиоксиметиленом) также увеличивает прочность камня. При отделении от раствора способен отверждаться как чистый фильтрат, так и фильтрат, наполненный различными инертными наполнителями. Если фильтрат отделяется в скважине, то, попадая в глинистую корку, он упрочняет ее и повышает адгезию к цементному камню, что значительно повышает качество крепления скважины. Введение ФАС в цементный раствор увеличивает химическую стойкость цементного камня, что подтверждается лабораторными исследованиями.

Введение ФАС в цементный раствор снижает проницаемость цементного камня, позволяет увеличить количество инертных недорогих добавок в цементный раствор, повышает морозостойкость камня, увеличивает его пластичность и т. д.

Полиаминцементные композиции. В группу полимеров входят макромолекулярные соединения, содержащие аминный азот или в боковой, или в основной цепи. Эти соединения, как правило, хорошо растворимы в воде, имеют высокую степень полимеризации и способны к химическому взаимодействию с компонентами цементного клинкера, особенно с ионами кальция. Прочность образующейся связи С—N невысока; можно ожидать, что эта связь легко разрушается при повышении температуры цементного раствора в процессе гидратации цемента. Появление свободных ионов кальция в прогидратировавших зернах клинкера должно вызывать увеличение прочности кристаллизационной структуры цементного камня.

И сами полиамины, и продукты их гидролиза или термического разложения имеют щелочную реакцию, что очень важно при совмещении полиаминов с высокощелочными цементными растворами.

Полиалкиленамины и полиалкиленполиамины, добавленные в количестве 0,05—8,0 мас. ч. на 100 мас. ч. сухого цемента, также значительно снижают водоотдачу, что позволяет рекомендовать их для цементирования скважин. Полиамины вместе с тем очень незначительно влияют на сроки схватывания цемент-

ного раствора. Работы ВНИИКРнефти показали, что полиэтиленполиамин (ПЭПА) вызывает ускорение схватывания обычных портландцементов. После проведения всесторонних испытаний цементы с добавлением ПЭПА можно будет рекомендовать для крепления кондукторов в зонах вечной мерзлоты.

Полиэпоксидцементные композиции. В последние 15—20 лет большое распространение получили продукты реакции эпихлоргидрина с многоатомными спиртами.

Полиэпоксидные соединения широко применяются во многих отраслях техники. Это обусловлено рядом ценных свойств полиэпоксидов. Высокая механическая прочность, изотропность, коррозионная устойчивость полиэпоксидов привлекли внимание в связи с необходимостью придания таких же свойств цементам. Полиэпоксиды хорошо совмещаются с цементом независимо от того, растворимы они в воде или нет. Свойства цементного камня при их добавлении, как правило, улучшаются.

Работами ВНИИКРнефти показано, что, модифицируя облегченные цементные растворы триэтиленгликолем и полиэтиленполиамином, можно получить облегченный (плотностью 1,5 г/см³) цементный камень высокой механической прочности.

Основной причиной, препятствующей широкому внедрению полиэпоксидцементных композиций в практику крепления нефтяных скважин, является их высокая стоимость.

Полиэфирцементные композиции. В эту группу веществ входят композиции, содержащие в качестве макромолекулярного компонента насыщенные или ненасыщенные сложные полиэфиры. В том случае, когда для модификации цемента используют ненасыщенный полиэфир, он образует свою собственную пространственную сетку, что приводит к значительному улучшению свойств цементного камня.

Выпускаемые в настоящее время полиэфиры сравнительно дешевы, хорошо совмещаются с цементным раствором и камнем. Композиции, содержащие в качестве полимерного компонента полиэфиры на основе природных глицеринов, имеют очень низкую газопроницаемость.

Сложные насыщенные полиэфиры, образованные взаимодействием триметилпропана с адипиновой кислотой, придают портландцементу повышенную прочность при растяжении, однако в условиях повышенной влажности этот полиэфир в щелочной среде частично гидролизует и увеличения прочности не наблюдается. Почти все полиэфиры стойки в щелочной среде. Водостойкость как свойство они передают также и полиэфирцементным композициям. В кислой среде композиции подвергаются разрушению (например, в нефтях с большим содержанием серы).

Введение больших количеств полиэфира (например, до 20% от общей массы смеси цемента, заполнителя, воды и полимера)

позволяет получить высокие скорости отверждения массы при температуре 10—20 °С.

К недостаткам полиэфирцементных композиций следует отнести их значительную усадку, связанную с большой усадкой полиэфиров в процессе полимеризации и поликонденсации (объемная 5—8%, линейная 1,5—2,5%).

Разработаны композиции, содержащие 20—80% цемента и ненасыщенный полиэфир, а также сополимер для полиэфира (например, стирол). Эти композиции имеют повышенную текучесть. При смешении с водой они быстро затвердевают, образуя прочный непроницаемый камень. Такие составы можно использовать для перекрытия водопроявляющих горизонтов и закрепления набухающих глин, склонных к обвалообразованиям.

Фурилцементные композиции. Одновременное введение в цементный раствор фурилового форполиконденсата с катализатором отверждения (солянокислый анилин) и интенсификатором твердения цемента (CaCl_2) позволяет получить цементные бетоны, отличающиеся повышенными показателями прочности при растяжении и изгибе, более высокой морозостойкостью и соломаслобензостойкостью. Вместе с тем снижаются деформации усадки, увеличивается трещиностойкость и понижается проницаемость портландцемента примерно на два порядка.

Силиконцементные композиции. Кремнийорганические соединения применяют для модификации цемента.

К классу кремнийорганических соединений принадлежит большое число веществ, очень разных по составу и свойствам, но объединенных тем, что главные цепи макромолекул содержат атомы кремния. Присутствие атомов кремния придает макромолекулярным соединениям ряд положительных качеств — высокую термостойкость, химическую инертность, гидрофобность, высокую совместимость с минеральными наполнителями, клейкость и т. д. Эти свойства резко повышают качество цементного камня.

В настоящее время предложен ряд рецептур органоцементных композиций, в которых органическими компонентами служат кремнийорганические соединения.

Кремнийорганические жидкости (например, ГКЖ-94) вводят в цемент при помоле в количестве до 0,15%, что повышает удельную поверхность на 400—900 $\text{см}^2/\text{г}$, т. е. на 20—25%. Прочность цементного камня от этой добавки возрастает на 10—20%. Процесс помола клинкера ускоряется.

Твердые кремнийорганические соединения, например алкилполисилоксаны, могут быть добавлены в клинкер в тонкодисперсном виде (размер зерен 1 мкм) в количестве 0,1—4%.

Водонерастворимые алкил(арил)-гидридсилсесквиоксаны в качестве добавок к клинкеру придают цементам гидрофобность.

Водорастворимые кремнийорганические соединения добавляют и в цементный раствор. Количество добавок при этом может колебаться от 0,025 до 10%, но в некоторых случаях достигает и 100% (по отношению к сухому цементу). Введение небольших добавок кремнийорганических соединений повышает пластичность смесей, уменьшает водоотдачу и водопотребность. Некоторые добавки, например этиловый эфир ортокремневой кислоты, приводят к повышению прочности цементного камня в среднем на 15—20%.

Полисахаридцементные композиции. Наибольшее распространение получила целлюлоза, которая представляет собой реакционноспособное вещество, легко взаимодействует с некоторыми химическими реагентами и дает производные с различными заместителями. На основе целлюлозы в последнее время были синтезированы натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы, оксиэтилцеллюлоза, сульфэтилцеллюлоза и др. Во всех этих веществах функциональные группы содержат кислотные группировки, так что по характеру действия на цемент целлюлозные производные очень напоминают органические кислоты.

Смолоцементные композиции. К этой группе композиций относятся такие, в которых роль полимерного компонента выполняют природные смолы. К природным смолам относят деготь различного происхождения, пеки, асфальты, кумароноинденовые смолы, парафины, лигнин, битум и т. д. Эти вещества обладают различными свойствами и их применяют для самых различных целей.

Нефтяные смолы, получаемые путем каталитической полимеризации веществ, остающихся при нефтепереработке, вводят в цементный раствор в виде эмульсии, и они так же, как полиэтилен, улучшают прокачиваемость цементной массы, снижают проницаемость цементного камня и в небольшой степени повышают его эластичность (по данным А. Кэндзи, Япония).

Несмотря на сравнительно небольшую стоимость, природные смолы нашли весьма ограниченное применение для приготовления тампонирующих составов.

Отверждаемые буровые растворы для тампонажных работ в скважинах. Модификация цементов добавками макромолекулярных соединений улучшает качество цементного раствора и камня, однако основные их недостатки сохраняются.

В научной литературе и среди специалистов-нефтяников давно дебатруется вопрос о возможности использования в качестве тампонажных материалов обработанных соответствующим образом буровых растворов. Однако техническое решение этой проблемы сопряжено со значительными трудностями.

Для отверждения буровых (глинистых) растворов в последнее необходимо ввести такие вещества, которые были бы способны в результате физических или химических превращений

образовать пространственную надмолекулярную структуру, в ячейках которой заключался бы буровой раствор.

Анализ возможных путей отверждения буровых (глинистых) растворов приводит к тому, что самым реальным способом получения отверждаемых буровых (глинистых) растворов (ОГР) является способ формирования в среде бурового раствора полимерной пространственной сетки. Трехмерный полимер может быть получен за счет реакций полимеризации, поликонденсации, сшивки или вулканизации.

В настоящее время у нас в стране ведутся работы по отверждению буровых (глинистых) растворов макромолекулярными соединениями. Результаты выполненных исследований позволяют считать, что проблема отверждения буровых растворов в принципе решена, т. е. можно превратить буровой раствор в тампонажный камень в условиях заколонного пространства скважин (ВНИИКРнефть).

При поликонденсации фенолов и альдегидов в присутствии катализаторов ($\text{pH} < 7$ или $\text{pH} > 7$) образуются макромолекулярные продукты линейного или разветвленного строения. Для отверждения буровых растворов представляют интерес те случаи, когда образуются трехмерные продукты, так называемые резиты. Характер образования резитов обусловлен особенностями строения фенолов и альдегидов, механизмом действия катализаторов и физическими процессами, сопровождающими химическую реакцию.

Тампонажные составы ТСД-9, ТС-10 и ФРЭС первоначально предназначались для закрепления призабойной зоны скважины. Работы ВНИИКРнефти показали, что эти составы можно применять для проведения всех видов изоляционных работ в скважинах в качестве отверждающих агентов для буровых растворов. Эти составы содержат сланцевые суммарные алкилрезорцины, подщелоченные водным раствором едкого натра и стабилизированные спиртами и гликолями. Для образования твердого тела на основе воды смесь должна содержать 20—30% ТС-10 или 30—40% ТСД-9, 25—70% формалина (к фенолам), остальное — вода.

Измерение времени загустевания растворов на консисометрах КЦ-5 и КЦ-4 показывает, что их консистенция в течение определенного времени остается неизменной, а затем жидкая система быстро переходит в твердое тело.

Время загустевания растворов зависит от состава и температуры. Прочность образующегося камня также зависит от этих факторов и колеблется в пределах: $\sigma_{\text{сж}} = 0,5 \div 1,2$ МПа, $\sigma_{\text{изг}} = 1 \div 2$ МПа.

Ввод в буровой раствор, обработанный УЩР, состава ТСД-9 приводит к образованию малоподвижной массы. Лишь при смешении примерно равных объемов ТСД-9 и бурового раствора

плотностью $1,18 \text{ г/см}^3$ удается получить легкопрокачиваемую смесь.

Состав ТС-10 не вызывает загустевания бурового раствора, вследствие чего удается подобрать рецептуры с содержанием бурового раствора до 70% общего объема смеси. Предварительные опыты, выполненные с ТС-10, показали, что рецептуры тампонажных растворов характеризуются хорошими технологическими, физико-механическими и химическими свойствами.

Во многих районах страны вода, на которой идет приготовление буровых растворов, содержит значительное количество поливалентных солей. В некоторых случаях карбонатная жесткость доходит до $(80-100) \cdot 10^{-3}$ моль/л.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что составы, содержащие ТС-10, формалин и буровой раствор, не могут быть использованы для температуры выше 40°C .

В связи с этим представляло интерес испытать вместо формальдегида в свободном виде связанный формальдегид-уротропин (продукт взаимодействия формальдегида с аммиаком), а также менее реакционноспособный альдегидфурфурол, дающий термостойкие поликонденсаты. При определенном соотношении ТС-10, бурового раствора, формалина, уротропина или фурфурола можно подобрать технологически приемлемые составы в интервале температур $40-80^\circ\text{C}$. В качестве наполнителя применяли буровой раствор плотностью $1,18-1,20 \text{ г/см}^3$, вязкостью 35 с по СПВ-5, водоотдачей $5,3-6,0 \text{ см}^3/30 \text{ мин}$ по ВМ-6, $\text{СНС}=5,8/10 \text{ Па}$. Предел прочности пластмассовых образцов при изгибе через 2 сут составлял $1-2 \text{ МПа}$.

Исследования с буровыми растворами другой плотности показали, что с ее увеличением прочность образцов повышается ввиду снижения содержания жидкой фазы в смеси. Фильтратоотделение составов превышает водоотдачу исходного бурового раствора на 30—60%, однако фильтрат поликонденсируется в твердую пластмассу.

Проницаемость образцов, получаемых из любых составов при различных режимах, во всех случаях оставалась низкой и не превышала $(0,1-0,2) \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$.

Вследствие малой плотности формалина ($1,07-1,1 \text{ г/см}^3$) и ТС-10 ($1,16 \text{ г/см}^3$) плотность отвержденного бурового раствора оказывается несколько меньше его исходной плотности.

В пресной воде наблюдается незначительное набухание образцов, а в высокоагрессивном по отношению к цементному камню растворе сернистой кислоты натрия размеры образцов практически не изменялись при хранении в течение 30 мес. Размеры образцов резко уменьшались в растворе хлорида магния в первые две недели хранения образцов, что можно объяснить дополнительной сшивкой макромолекул ионами магния по ОН-группам фенольных колец, что подтверждается сравнительно высо-

кой прочностью образцов, хранившихся в этом растворе. Прочность образцов, хранящихся в дистиллированной воде и растворе сернокислого натрия, практически не меняется.

По имеющимся данным можно заключить, что разработанные составы с успехом можно применять при изоляционных работах в интервалах, не содержащих отложений поливалентных солей. Последние опыты, проведенные нами, показали, что если в отверждаемый буровой раствор внести 3—5% натриевых солей высших жирных кислот, то влияние поливалентных катионов подавляется. Образцы, содержащие такую добавку, сохранялись в кипящих насыщенных растворах хлоридов магния и кальция в течение 48 ч, не изменяя линейных размеров. Прочность образцов при этом увеличивалась на 30—50%.

В результате изучения процессов отверждения буровых растворов алкилрезорцинами и альдегидами установлены следующие основные закономерности:

1) плотность отверждаемого бурового (глинистого) раствора (ОГР) равна или несколько ниже плотности исходного бурового раствора, что обеспечивает подъем тампонажного раствора практически на любую высоту от башмака колонны;

2) фильтратоотдача ОГР близка к фильтратоотдаче исходного бурового раствора, при этом фильтрат способен поликонденсироваться с образованием твердого тела, что при его проникновении в фильтрационную корку и породу обеспечивает монолитную связь тампонирующего состава со стенками скважины;

3) время загустевания регулируется подбором соответствующих соотношений компонентов;

4) ОГР характеризуется высокой седиментационной устойчивостью и отсутствием контракционных процессов в период твердения;

5) прочность тампонажного камня зависит от плотности глинистого раствора и растет вместе с ней, достигая предела прочности при изгибе $\sigma_{изг} = 5\div 7$ МПа для раствора с плотностью 1,6—1,8 г/см³;

6) водогазопроницаемость камня близка к нулю;

7) шлам камня инертен к буровому раствору.

Промысловые испытания ОГР проведены более чем в 70 скважинах, в том числе при первичном тампонировании, ликвидации негерметичности обсадных колонн и изоляции зон поглощений в объединениях «Краснодарнефтегаз», «Кубаньгазпром», «Куйбышевнефть», «Запсиббурнефть», «Татнефть», «Башнефть», «Ставропольнефтегаз» и «Оренбургнефть».

В результате проведенных испытаний установлены технологическая и экономическая эффективности ОГР при ликвидации негерметичности обсадных колонн и изоляции зон поглощений.

Определение (качественное) гидрофобности цемента

I. Цемент в количестве 5—10 г разравнивают на поверхности сухого стекла и наносят на него несколько капель воды. На гидрофобных цементах вода остается в виде капель, которые свободно перекатываются по поверхности цемента при наклоне пластины. Негидрофобный цемент жадно поглощает воду.

II. В сухой стакан насыпают цемент, осторожно по стенке стакана доливают воду. В случае гидрофобного цемента вода через 1—2 ч может быть слита, а порошок останется почти сухим. Обычный цемент за это время поглотит воду, превратится в тесто или суспензию.

Контрольные вопросы

1. Что такое ОГР?
2. Назовите преимущества ОГР по сравнению с тампонажными растворами.
3. Что такое гидрофобный и негидрофобный цементы?

Глава XIV

**ТЕХНИКА И СООРУЖЕНИЯ
ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ, СМЕШЕНИЯ
И ХРАНЕНИЯ ТАМПОНАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Важным условием сохранения тампонажных свойств цементов является их надежная упаковка, правильное хранение и транспортирование. При неправильном хранении и транспортировании возможны смешения цемента различных партий, что может привести к аварии. Неправильное хранение цемента способствует увеличению потерь, запыленности помещения складов и создает антисанитарные условия работы при погрузке.

Рациональная организация транспортирования и хранения тампонажных материалов, правильное использование специальных сооружений и механических средств способствуют удешевлению тампонажных работ, улучшают условия труда и повышают культуру производства.

Согласно требованиям ГОСТ 1581—85 размер партии цемента устанавливается в количестве 200 т. Поставка цемента в меньшем количестве также считается партией. При отправке цемента водным путем допускается увеличение партии до 300 т.

Отправляя цемент в бумажной таре, завод-изготовитель обязан наклеивать ярлыки на каждый мешок. На ярлыках указывают номер партии, вид цемента (для «холодных» или «горячих» скважин) и дату отгрузки. Количество упакованного цемента, отправляемого вагонами, принято считать условно 20,5 т в каждом вагоне.

Виды упаковки. Тампонажный цемент, выпускаемый отечественными заводами, поступает к потребителям затаренным в бумажные мешки и навалом в бестарном виде. Каждый бумажный мешок вмещает 48—50 кг цемента. Мешки изготовлены из пяти слоев плотной бумаги, два-три слоя пропитаны битумным водоотталкивающим составом. В особых случаях и при отгрузке на экспорт бумажную упаковку упрочняют оболочкой из мешковины.

Для сохранения свойств тампонажного цемента в условиях длительного хранения эффективно затаривание цемента в крафт-мешки с целлофановой прокладкой или с целлофановым вкладышем. Для изготовления целлофановых вкладышей применяют различные целлофаны, в том числе типа «Титр-44». При хранении тампонажного цемента в крафт-мешках с целлофановой прокладкой качество его длительное время не изменяется.

Использование транспортных средств общего назначения для бестарной перевозки цемента требует применения специальных разгрузочных механизмов. Для разгрузки порошкообразных материалов, прибывающих навалом в обычных крытых железнодорожных вагонах, предназначены пневматические разгрузчики всасывающего действия С-347 и С-362. Область применения разгрузчиков всасывающего действия вследствие большой их энергоемкости ограничивается в основном на крупных цементных складах. Наиболее эффективно использование разгрузчиков нагнетательного действия С-600Б и С-653Н с горизонтальным напорным шнеком. Эти разгрузчики позволяют выгружать цемент на расстояние до 25 м по горизонтали и на высоту 30 м, что должно обеспечить одноступенчатую перегрузку порошкообразных материалов из вагона в силосные башни и на всех прирельсовых складах.

По сравнению с перевозкой в затаренном виде перевозка цемента навалом имеет ряд преимуществ. Стоимость одной лишь бумажной тары, используемой обычно однократно, составляет более 10% стоимости цемента. Кроме того, доставка цемента в мешках сопряжена с трудоемкими перегрузочными операциями и большими потерями цемента от распыления и остатков в бумажной таре.

Транспортирование цемента железнодорожным транспортом. Способ транспортирования цемента от заводов-поставщиков до перевалочных баз зависит от обеспеченности этих баз специ-

альными сооружениями для хранения цемента и разгрузочными механизмами. На базы, снабженные складами для бестарного хранения порошкообразных материалов, цемент можно доставлять как на специализированных транспортных средствах, так и на транспортных средствах общего назначения. Преимуществом перевозки по первому методу является уменьшение трудоемкости загрузки и выгрузки, устранение потерь от пыления при погрузке, предохранение цемента от вредного воздействия атмосферных осадков. Однако недостатком всех специализированных транспортных средств являются неизбежные порожние пробеги в обратном направлении, что делает их экономически выгодным только при определенных дальностях перевозок — не более 300—400 км.

Транспортирование цемента водным путем. В СССР для внутренних перевозок цемента и других порошкообразных материалов применяют баржи общего назначения. По условиям поставки согласно ГОСТ 1581—85 одна партия цемента не должна превышать 300 т, что в большинстве случаев намного меньше грузоподъемности одной баржи. При транспортировании баржами упакованного цемента смешивание различных партий не вызывает опасения, поэтому такой метод перевозок в настоящее время наиболее распространен. Транспортирование бестарного цемента баржами, как было описано выше, имеет ряд преимуществ.

Перевозка навалом тампонажного цемента на баржах может быть допустима лишь при соблюдении особых условий: 1) надежная изоляция партий друг от друга (т. е. перевозка цемента баржами, имеющими отсеки вместимостью примерно 300 т); 2) тщательная очистка разгрузочных механизмов перед разгрузкой очередной партии цемента; 3) оборудование причалов складами для бестарного хранения цемента.

Бестарный цемент, перевозимый стандартными баржами, разгружают с помощью системы механических или пневматических разгрузчиков нагнетательного и всасывающего действия. В СССР наиболее распространенным методом разгрузки бестарного цемента из барж является использование плавучих перегружателей, снабженных разгрузчиками всасывающего действия.

Целесообразность транспортирования водным путем тампонажного цемента в бестарном виде обуславливается потреблением больших количеств этого материала в крупных нефтегазовых районах.

Перевозка цемента автотранспортом. Автомобильный транспорт может быть эффективно использован для перевозки тампонажного цемента с цементных заводов и базисных складов потребителя. За последние годы широкое распространение получили автоцементовозы.

Автоцементовозы с гравитационной выгрузкой. К этой группе относятся цементовозы, в которых цемент разгружается под действием собственного веса при наклоне резервуаров. У нас в стране применяют цементовозы этой группы ЦС-1 и КАЗ-601 аналогичных конструкций. Автоцементовоз ЦС-1 смонтирован на шасси самосвала ЗИЛ-585. Цистерна цементовоза эллиптического сечения имеет разгрузочный люк эллиптической формы. Крышка этого люка открывается пневматическим цилиндром, управляемым из кабины водителя. В транспортном положении крышка люка плотно закрыта двумя винтовыми зажимами. Цемент загружается при подъеме передней части цистерны, которая приобретает наклон под углом 48° . Полная выгрузка тампонажного цемента обеспечивается при работе двух пневматических вибраторов, установленных под цистерной.

Автоцементовоз КАЗ-601 сконструирован на базе самосвала КАЗ-585Б и отличается от ЦС-1 лишь тем, что снабжен рычажной системой, открывающей и закрывающей люк во время наклона цистерны.

Автоцементовозы ЦС-1 и КАЗ-601 имеют ряд недостатков при использовании для их доставки цемента на буровые объекты (незначительная грузоподъемность, необходимость установки загрузочного шнека при перегрузке цемента в цементно-смесительную машину).

Автоцементовозы с пневматической выгрузкой. В отличие от автоцементовозов ЦС-1 и КАЗ-601 машины с пневматической выгрузкой могут перегружать цемент из резервуаров непосредственно в складские емкости или бункера цементно-смесительных машин без использования дополнительных разгрузочных механизмов.

По форме и расположению резервуаров автоцементовозы с пневматической разгрузкой делятся на цементовозы с вертикально расположенными цистернами цилиндрической или сфероконической формы и на цементовозы с горизонтальными цистернами цилиндрической формы со сферическими днищами.

Преимуществом вертикальных цистерн является несколько большая подача при выгрузке и меньший удельный расход воздуха. Преимущества горизонтальных цистерн — меньшая металлоемкость и лучшая устойчивость при транспортировании в результате более низкого расположения центра тяжести.

Для перевозки бестарного цемента в СССР используют автоцементовозы с вертикальными цистернами С-386, С-386А и «Чепель» (Венгрия).

В настоящее время отечественная промышленность выпускает несколько типов автоцементовозов с горизонтальными цистернами. Широко применяют для перевозки цемента (в том числе и тампонажного) машины типа С-571, С-570 и С-652.

Таблица 39

Техническая характеристика автоцементовозов с горизонтальными цистернами

Тип (марка, модель)	Завод-изготовитель	Тип автомобиля	Грузоподъемность, кг	Собственная масса, кг	Число осей	Число колес	Габаритные размеры, мм			Размер шин, мм	Диаметр цистерны, мм	Угол наклона цистерны, градус	Число агрегатов	Высота подачи цемента, м	Подача, т/ч
							Длина	Ширина	Высота						
С-571	Прилуцкий строитель- ных машин	ЗИЛ-164А	700	2500	1	4	6100	2350	2900	260×20	1400	7	1	20	20—40
С-570	Павшин- ский меха- нический	МАЗ-504	12000	3500	1	4	11250	2700	3200	12×20	1600	6	2	20	25—50
С-662	То же	КрАЗ-221 седельного типа	24000	6550	2	8	13200	2700	3800	12×20	1600	6	2	20	70—90

В промышленных условиях для бестарной перевозки цемента часто используют цементно-смесительные машины, из которых наиболее рациональными являются машины типа СМ-10 и СМП-20, так как вместимость их бункеров соответствует их грузоподъемности машины (табл. 39).

Затаренный цемент транспортируется буртовыми автомобилями с соблюдением следующих условий: а) кузов автомобиля должен быть тщательно вычищен; б) все щели в полу кузова должны быть устранены; в) цемент должен быть надежно укрыт брезентом, при этом края брезента следует крепить с внешней стороны бортов кузова.

ПРАВИЛА ХРАНЕНИЯ ТАМПОНАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ

При хранении цемента и других тампонажных материалов необходимо соблюдать следующие условия: а) сохранность кондиции материала; б) недопустимость смешения цемента различных партий; в) уменьшение потерь при обращении; г) удобство и безопасность при погрузке.

Хранение затаренного цемента (рис. 106). Длительное хранение цемента допустимо лишь в закрытых сухих помещениях. Цемент каждой партии должен храниться в отдельных штабелях. Между штабелями должен быть проход шириной не менее 2 м. Высота каждого штабеля не должна превышать 10—12 мешков, уложенных горизонтально. При укладке цемента в штабеля нужно следить, чтобы ярлыки, наклеенные на мешках, были сверху. При разгрузке и погрузке цемента мешки часто рвутся, что приводит к образованию цементных отходов. В этом случае по окончании работ весь рассыпной цемент должен быть удален из склада или надежно изолирован. Цементные мешки, вскрытые для отбора проб на анализ, следует хранить отдельно.

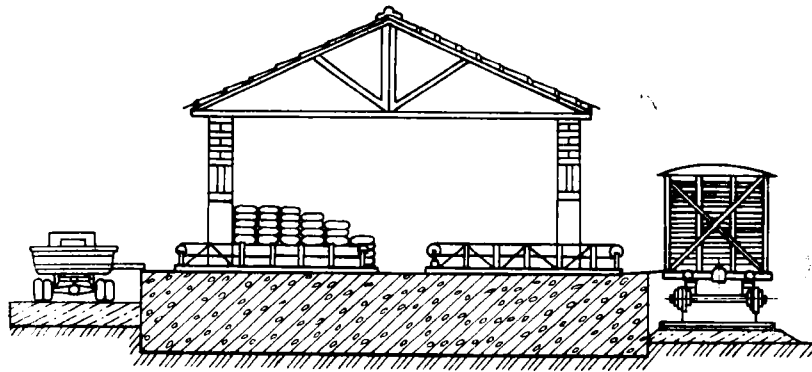


Рис. 106. Хранение затаренного в мешки цемента

В период длительного хранения цемент испытывают один раз в десять дней. Пробы в каждом случае целесообразно отбирать из одних и тех же мешков для уменьшения отходов, поэтому вскрытые мешки следует хранить до конца использования всей партии.

При длительном хранении цемента на складах необходимо один раз в месяц перекалывать штабеля, чтобы не допускать слеживания (спрессовки) цемента в мешках.

На буровых цемент необходимо складывать на специальные площадки, в местах предполагаемой установки цементно-смесительных машин. Количество цемента на каждой площадке или специально оборудованных санях не должно превышать 20 т, т. е. вместимости бункера одной цементно-смесительной машины. Пол площадки или саней должен быть расположен над землей не ниже 50 см. Укладывая цементные мешки на площадке, следует предусмотреть порядок, который мог бы создать наибольшие удобства при разборке штабеля.

Перед укладкой в штабеля мешки нужно расшить или разрезать шов в торцевой части. Затем из мешков нужно построить «стену», своей формой напоминающую трехгранную призму, и с наклоном в 70—80° укладывать остальные мешки рядами на 4—5 мешков.

Разборку штабеля при затворении цемента или загрузке бункера цементно-смесительной машины необходимо начинать с противоположной стороны от «стены».

Для предохранения цемента от вредного воздействия атмосферных осадков штабель должен быть крыт брезентом. При этом края брезента должны быть прикреплены к кромкам пола площадки.

Бестарное хранение тампонажных материалов. Для бестарного хранения цемента и других тампонажных материалов целесообразно использовать прирельсовые механизированные склады. Известны два типа прирельсовых механизированных складов для хранения тампонажного цемента грузоподъемностью 1000 и 2000 т.

Отличие одного типа от другого заключается в грузоподъемности и числе емкостей (силосов). Склад грузоподъемностью 2000 т имеет четыре силоса по 500 т каждый; склад на 1000 т состоит из десяти 100-тонных емкостей.

При выборе той или иной модификации при строительстве механизированных складов нужно учитывать следующие условия.

1. Емкость склада выбирают таким образом, чтобы цемент в силосах не хранился более одного месяца, так как несмотря на хорошие условия хранения в механизированных складах цемент при более длительном хранении все же теряет постепенно свои качества. Поэтому в нефтяных районах, где расход тампо-

нажного цемента не превышает 1000 т в месяц, целесообразно строить склад меньшей вместимости.

2. В некоторых нефтяных районах со сложными условиями бурения применяют различные виды цемента и тампонажных смесей. Например, на Северном Кавказе, в Средней Азии и других районах применяют до 10 видов тампонажных материалов. Согласно правилам хранения, тампонажные материалы должны быть строго изолированы. В таких условиях следует строить склады с наибольшим числом силосов для одновременного хранения тампонажных материалов различного назначения.

Цемент из доменных шлаков абсолютно не допускает попадания в него даже незначительной части непредусмотренного портландцемента, который при высоких температурах действует как ускоритель. Поэтому недопустимо хранение шлакового цемента с портландцементом на одном складе.

Цементные склады грузоподъемностью 2000 т целесообразно строить в нефтяных районах с большим объемом буровых работ, где по условиям бурения не требуется большого разнообразия тампонажных материалов.

УСТРОЙСТВО, ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРЕЛЬСОВОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО СКЛАДА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ТАМПОНАЖНОГО ЦЕМЕНТА

Механизированный склад состоит из двух секций, которые **могут работать независимо друг от друга**. Такое разделение склада дает возможность хранить и обрабатывать цемент двух видов (например, для «горячих» и «холодных» свважин), не допуская их смешивания. При необходимости цемент из одной секции может перегружаться в другую. Технологическая схема механизированного прирельсового склада приведена на рис. 107.

Основными узлами склада являются разгрузочное устройство, ковшовые элеваторы, емкости (силосы), аэрожелоба, компрессорная.

Погрузку и разгрузку цемента в механизированный склад и из него осуществляют по следующему принципу (рис. 108). Вагон с цементом 5 подают на разгрузочную платформу с приемными люками 11 (по одному на каждую секцию). Приемные люки имеют раздвижные рукава 8, которые пневматическим домкратом 10 приводятся в рабочее положение и плотно крепятся к выгрузочным люкам вагона. Цемент из вагона, попадая в приемный люк, захватывается шнеком 13 и через очистительное устройство подается в нижнюю часть элеватора 7. Ковши элеватора захватывают цемент, поднимают его и ссыпают в верхние аэрожелоба. По аэрожелобам цемент направляется в

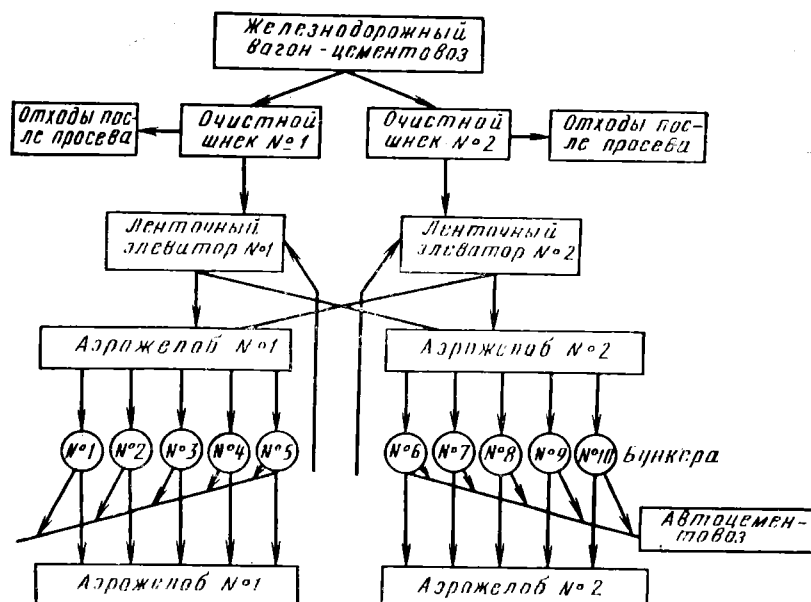


Рис. 107. Технологическая схема механизированного прирельсового склада

силосы 2, 6, 17, 28. Направление цементного потока в этот или иной силос регулируется шиберными заслонками.

В верхней части силоса имеются контрольные отверстия для выхода воздуха из емкости в процессе ее наполнения цементом. Днища силосов оборудованы специальными керамическими плитками 15, через которые проходит нагнетаемый компрессором воздух. Для аэризации днищ приняты керамические пористые плитки размером $50 \times 250 \times 200$ мм, заделанные в коробки, составляющие 25% всей поверхности днищ. Аэризация нижней части цемента необходима для обеспечения выгрузки цемента из силоса через боковые 29 или донные 20 пневматические разгрузатели.

Бункера цементно-смесительных машин и цистерны автоцементовозов наполняются цементом через боковые пневматические разгрузатели, которые подают цемент в нижние аэрожелоба 4, по которым цемент перегружается из одного силоса в другой. При этом цемент по нижнему аэрожелобу попадает в нижнюю часть элеватора и через верхние аэрожелоба подается в другой силос.

Из одного силоса в другой цемент перегружается для предотвращения спрессовки цемента при длительном его хранении. Днища аэрожелобов аэрируются воздухом, нагнетаемым мощными вентиляторами. Воздух в пневматические разгрузатели нагнетается с помощью компрессоров.

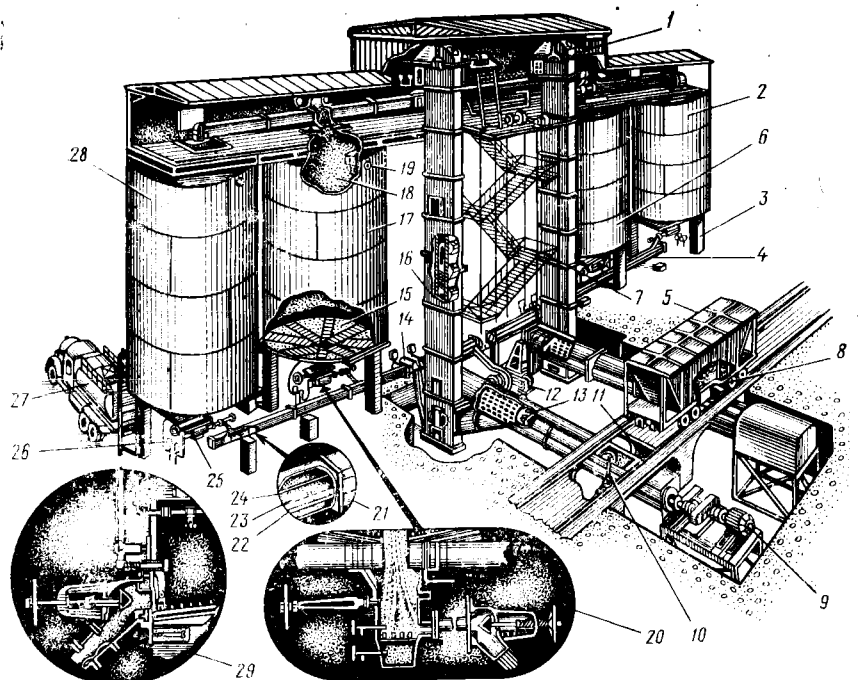


Рис. 108. Прирельсовый механизированный склад для хранения тампонажного цемента:

1, 9, 12 — электродвигатели; 2, 6, 17, 28 — силосы; 3 — стойки; 4, 14 — аэрожелоба; 5 — вагон с цементом; 7 — элеватор; 8 — раздвижные рукава; 10 — пневматический домкрат; 11 — приемный люк; 13 — шнек; 15 — керамические плитки; 16 — нория; 18, 24 — цемент; 19 — контрольные отверстия; 20 — донные пневматические разгрузатели; 21 — вид желоба в разрезе; 22 — кожух; 23 — ткань; 25 — приемная коробка; 26 — отводы; 27 — цементно-смесительная машина; 29 — боковые пневматические разгрузатели

Манипуляции шиберными заслонками, включение механизмов, работающих при выгрузке и перегрузке цемента, осуществляются с пульта управления. Склад снабжен системой световой и звуковой сигнализации.

Техническая характеристика механизированного склада

Пропускная способность склада, т/ч	250
Вместимость металлических емкостей (силосы), т	500
Размер металлических емкостей, м:	
диаметр	6
высота	15,5
Шнеки с очистительным устройством:	
подача одного шнека, т/ч	125
диаметр шнека, мм	500
шаг винта, мм	360
длина, м	6,7

Электродвигатели:				
тип	АО-6Э-6	АО73-6,	АО51-4,	АО41-4
мощность, кВт	10	20	4,5	1,7
частота вращения, об/мин	980	980	1440	1420
Редукторы:				
тип			Р-10	РГП-250×400
передаточное число			19,81	24,4
Элеваторы:				
подача, т/ч				125
высота, м				26,19
Аэрожелоба				
подача, т/ч		Верхние	Нижние	
общая длина, м		250	50	
высота желоба, мм		36,8	29	
ширина, мм		360	310	
уклон желоба, градус		400	150	
требуемый напор воздуха, Па		7	4	
расход воздуха, м³/ч		2770	1680	
		2400	600	
Вентиляторы:				
тип			ВВД-8	
частота вращения, об/мин			1350	1250
напор, Па			3500	2500
Аэрированные днища:				
давление воздуха для аэрации цемента, МПа			0,2	
расход воздуха, м³/мин			5	
Донные пневматические разгрузатели:				
подача, т/ч			45—150	
диаметр выпускного отверстия, мм			100	
расход воздуха, МПа			0,2—0,3	

Обслуживающий персонал механизированного склада состоит из двух — четырех человек в смену.

УСТАНОВКА ГРОЗНЕФТИ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СУХИХ ТАМПОНАЖНЫХ СМЕСЕЙ

Карьерный песок (рис. 109) автопогрузчиком подается на вибросито с ячейками 20—25 мм. Просеянный песок ленточным транспортером направляется в сушильный вращающийся барабан, где сушится газовым пламенем обычно при температуре 100—120 °С. Из сушильного барабана ковшовым элеватором просушенный песок подается на ленточный транспортер и далее в емкость, установленную бункерами. Емкость имеет сетку с ячейками 1—1,5 мм. Остаток на сите отводится по наклонному желобу. Емкость имеет три трубопровода, концы которых опущены в загрузочные люки бункеров. На каждом трубопроводе установлены шиберные заслонки, открывая которые можно направлять песок из емкости в один из бункеров. Бункера предназначены для хранения и дозировки инертных материалов в процессе приготовления сухих тампонажных смесей.

Цемент поставляется к установке цементно-смесительными машинами 2СМН-20. Для загрузки бункера, предназначенного для дозировки цемента в процессе приготовления тампонажных сухих смесей, под выгрузочное устройство цементно-смеситель-

ной машины подставляется шнековый погрузчик. Подающие шнеки бункеров приводятся во вращение от электродвигателей через коробки скоростей. Наличие коробок скоростей позволяет менять частоту вращения шнеков, т. е. обеспечивает нужную дозировку вяжущего вещества и наполнителя. Дозировка вяжущего вещества и наполнителя определяется выбранным соотношением (1:1, 2:1 и т. д.).

Сухие тампонажные смеси готовят в следующем порядке: инертный материал (наполнитель) из бункера подается в приемную камеру передвижного шнекового погрузчика, установленного на рельсах. Шнековый погрузчик направляет материал в приемную камеру, укрепленную на высоте. В эту же камеру шнековым погрузчиком из бункера подается цемент. Из камеры цемент и песок забираются шнековым транспортером-смесителем, обеспечивающим смешение песка и цемента в процессе транспортирования от приемной камеры до окна выгрузки. Из шнека-смесителя смесь загружается в бункер цементно-смесительной машины, которая направляется на место проведения тампонажных работ.

При смешении трех и более компонентов (например, при приготовлении цементно-песчано-бентонитовых растворов) сначала готовят двухкомпонентную смесь, а затем смешивают ее с очередной добавкой.

УСТАНОВКА КРАСНОДАРНЕФТЕГАЗА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ТАМПОНАЖНЫХ СМЕСЕЙ

Установка (рис. 110) для механизированного смешения песков с цементом сооружена на механизированном цементном складе.

Для этого одну из имеющихся силосных банок 1 для хранения цемента используют под загрузку просушенного кварцевого песка, доставленного на склад в цементно-смесительных машинах СМН-10. При смешении цемент направляется шнековым транспортером 3, имеющим постоянную подачу 260 кг/мин.

Песок подается тарельчатым дозатором 8. Регулируя подачу песка (тарельчатым дозатором), можно получить смесь цемента и песка в соотношении 1:1, 2:1, 3:1 и т. д. Смесь перемешивается шнековым транспортером 6, подающим смесь в силосную банку 4 для хранения готовой смеси.

Применяют механизированный метод приготовления цементно-бентонитовой смеси (рис. 111). Цементно-смесительная машина 3 загружается равномерной засыпкой цемента (или шлака) и глины. При этом в специальную воронку вертикального шнека 2 насыпается цемент, загруженный на механизированном складе в бункер 1, и одновременно вручную засыпается глинопорошок в зависимости от заданного состава цементно-бентонитовой смеси.

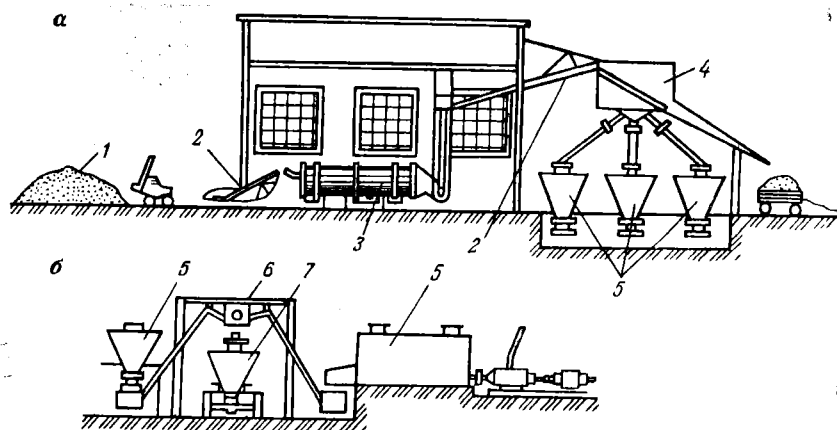


Рис. 109. Установка Грознефти для приготовления сухих тампонажных смесей: а — схема подготовки карьерного песка, б — схема приготовления сухих смесей и загрузки их в смесительные машины; 1 — песок; 2 — транспортер; 3 — сушильный барабан; 4 — емкость; 5 — бункеры; 6 — смесительная камера; 7 — 2СМН-20

Иногда практикуется загрузка цементно-смесительной машины одновременно цементом и глиной с последующей перебункеровкой смеси при помощи промежуточного бункера.

При значительных объемах применяемых тампонажных материалов и при необходимости приготовления различных смесей целесообразно применение цехов или даже заводов, позволяющих осуществлять смешение сыпучих компонентов, — типа заводов фирм «Партек», «Раума-Репала», «Лохья».

ЛАБОРАТОРНЫЙ КОНТРОЛЬ ТАМПОНАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ¹

Согласно ГОСТ 1581—85 для испытаний от каждой партии цемента отбирают пробу массой 10 кг (по 1 кг из 10 мешков). При отправке цемента навалом на автомашинах порядок отбора проб устанавливается по соглашению между поставщиком и потребителем. Отобранные из каждой партии пробы цемента тщательно смешивают, делят пополам. Одну часть маркируют и хранят в сухой плотно закрытой таре в течение 2 мес на случай необходимости повторной проверки; вторую часть проверяют в соответствии с требованиями стандарта.

Отобранные для испытания пробы цемента следует доставлять в лабораторию в плотной, по возможности герметичной таре. Вид и состояние тары указывают в рабочем журнале.

Перед испытанием каждую пробу просеивают и затем тщательно перемешивают, остаток на сите взвешивают и отбрасывают.

¹ Составлено совместно с Е. П. Котивец.

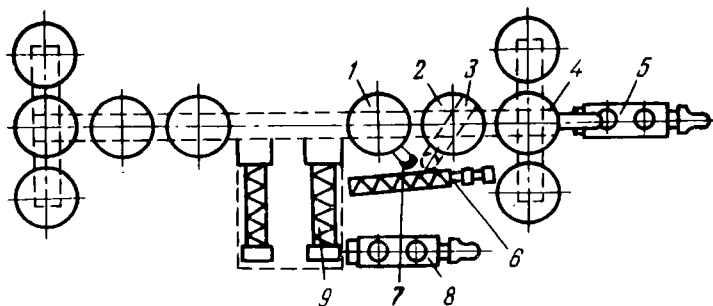


Рис. 110. Схема установки для приготовления сухих тампонажных смесей в объединении «Краснодарнефтегаз»:

1 — силосная банка с песком; 2 — силосная банка с цементом; 3 — подающий шнек; 4 — силосная банка со смесью; 5 — смесительная машина, принимающая смесь; 6 — смешивающий шнек; 7 — смесительная машина, отгружающая песок; 8 — тарельчатый дозатор; 9 — загрузочный шнек

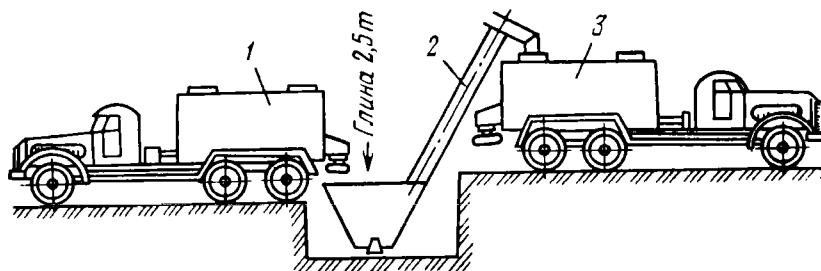


Рис. 111. Схема приготовления цементно-бentonитовых смесей

Цемент, наполнители и вода перед испытанием должны быть выдержаны в помещении до принятия ими комнатной температуры, которая должна составлять $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Температура помещения фиксируется в журнале трижды в сутки. Сосуд для отвешивания или отмеривания воды необходимо тарировать в смоченном виде.

Цемент и наполнители следует взвешивать с точностью до 1 г, воду — до 0,5 г или 0,5 мл, реагенты — до 0,005 г или 0,005 мл.

Применение при испытании цементов алюминиевой и цинковой посуды не допускается.

I. Обучение и инструктаж

1. Каждый вновь поступивший на работу в лабораторию работник должен пройти инструктаж по технике безопасности и производственной санитарии.

Общий инструктаж проводит инженер по технике безопасности организации (института), а на рабочем месте — руководитель лаборатории. При проведении общего инструктажа работник должен быть ознакомлен с правилами электробезопас-

ности, пожарной безопасности при эксплуатации сосудов, работающих под давлением, с правилами работы с химическими реагентами. Работник должен быть ознакомлен с планом эвакуации из здания организации (института) в случае пожара, с правилами оказания первой помощи при травмировании и поражении электрическим током.

При инструктаже на рабочем месте работник должен быть ознакомлен с правилами безопасности обслуживания оборудования, со схемами и документацией.

2. Вновь поступившему на работу выдается на руки настоящая инструкция для изучения и руководства.

3. После проведения инструктажа — вводного и на рабочем месте, изучения настоящей инструкции и усвоения безопасных приемов в работе проверяются полученные работником знания правил безопасного ведения работ, после чего его допускают к самостоятельной работе.

Знания проверяет комиссия, в которой принимают участие заведующий лабораторией или руководитель группы, инженер по технике безопасности, представитель профсоюзной организации.

4. Повторный инструктаж по технике безопасности проводит руководитель отдела, группы или лаборатории со всеми работниками не реже одного раза в год.

5. После проведения повторного инструктажа следует проверить знания правил техники безопасности.

6. Результаты инструктажей и проверки знаний записываются в карточку инструктажа по технике безопасности.

Лица, получившие неудовлетворительную оценку при проверке, не допускаются к самостоятельной работе.

7. Знания руководящими работниками правил техники безопасности проверяются комиссией под председательством главного инженера организации (института) не реже одного раза в 3 года.

К обслуживанию сосудов допускаются лица, прошедшие соответствующее обучение, аттестацию в квалификационной комиссии и инструктаж по безопасному ведению работ. Сроки, порядок и оформление соответствующих документов о прохождении инструктажей и проверке знаний определены положением о порядке обучения рабочих безопасным методам работы. После инструктажа на рабочем месте обучаемый может быть допущен к обслуживанию автоклава только в качестве стажера. Время стажировки устанавливается в зависимости от характера работы и квалификации стажирuемого, но не менее 5 дней.

Лицам, прошедшим стажировку и проверку знаний, выдается удостоверение установленного образца за подписью председателя комиссии.

II. Общие правила техники безопасности

8. Перед началом работы рабочее место должно быть подготовлено: все лишние предметы убраны, необходимый инструмент и приспособления должны быть проверены и находиться в должном порядке и исправности.

9. Приступая к работе, необходимо внимательно ознакомиться с порядком проведения порученной работы, с техническими условиями, особенностями проведения той или иной операции; проверить состояние оборудования и аппаратуры, его исправность, оснащенность всеми необходимыми и исправными блокировочными приспособлениями, запорной арматурой, контрольно-измерительными приборами, проверить их работу.

10. Работу необходимо проводить в спецодежде (если такая предусмотрена нормами).

11. Запрещается выполнять работу, которая не была поручена, за исключением работы по предотвращению или ликвидации аварий, пожара, несчастных случаев и т. п.

12. Запрещается оставлять без надзора работающие сосуды под давлением, включенные электронагревательные приборы, химические реактивы, подготовленные к работе.

13. Гаечные ключи должны быть исправными и соответствующего размера. Не допускается применение прокладок под губки ключа в целях изменения его размера, а также труб, ломиков и других предметов для удлинения рукоятки ключа.

14. Напильники и отвертки должны иметь деревянные ручки с насаженными на них кольцами.

Ручки молотков следует надежно крепить путем расклинивания. Все деревянные ручки слесарного инструмента должны быть изготовлены из прочного нехрупкого дерева и не иметь трещин.

Рабочую (ударную) часть молотков, зубил и т. д. необходимо своевременно обрабатывать для удаления заусенцев, наклепов.

15. По окончании работы следует проверить, все ли оборудование и аппаратура выключены, убрать рабочее место, очистить его от грязи, проверить, все ли химические реактивы убраны.

III. Сосуды, работающие под давлением

16. Все автоклавы, работающие под давлением выше 100 МПа, должны быть установлены в специальных кабинах. Доступ в эти кабины лицам, непосредственно не работающим с автоклавами, воспрещается. Автоклавы на давление до 100 МПа в кабинах не устанавливают.

7. Во время работы автоклавов на дверях кабин вывешивают таблички: «Внимание! Автоклавы под давлением».

18. Автоклавы, гидравлические прессы и другие сосуды, работающие под давлением, должны быть оборудованы предохранительными клапанами.

19. Манометры должны иметь пломбу или клеймо госповерителя; их необходимо проверять не реже одного раза в полугодие.

20. Манометры снабжаются трехходовыми кранами, которые устанавливают таким образом, чтобы при открытии крана для продувки струя жидкости или газа была направлена в сторону от людей и оборудования. Продувку проводят при давлении в сосуде не более 1 МПа.

21. Манометры подбирают таким образом, чтобы рабочее давление приходилось примерно на $\frac{2}{3}$ шкалы манометра (считая от нулевого давления).

22. На шкале манометра нанесена красная метка, указывающая предельно допустимое давление в данном сосуде. Красная метка не должна смещаться произвольно в процессе эксплуатации манометра.

23. Манометры с разбитыми стеклами, незакрепленной шкалой или корпусом, просроченные очередной проверкой или без пломбы и клейма госповерителя, со стрелкой, не возвращающейся к нулю шкалы при отсутствии давления, считаются неисправными и к эксплуатации не допускаются.

24. Все сосуды, работающие под давлением, должны быть оборудованы запорной арматурой соответствующего давления.

25. Все сосуды, работающие под давлением, арматура и трубопроводы после монтажа должны быть испытаны давлением, на 25 % превышающим рабочее. Периодические проверки таким же давлением проводят через каждые 3 года с последующим дефектоскопическим исследованием всех узлов и деталей оборудования.

26. Установки автоклавов и консистометры должны быть обеспечены схемами управления с указанием всех коммуникаций, запорной арматуры, трубопроводов, контрольно-измерительных приборов и т. п.

27. Краны, вентили, переключатели и пусковые устройства должны иметь надписи об их назначении.

28. Все трубопроводы, находящиеся под давлением, должны быть проложены в специальных лотках или защищены щитами, кожухами.

29. Шпильки, прокладки и другие детали крепления крышек автоклава следует проверять всякий раз перед началом работы автоклавов. При малейшей неисправности любой из деталей работа в автоклаве запрещается.

30. Предохранительные клапаны проверяют один раз в месяц с записью результатов проверки в специальный журнал.

31. Предохранительные клапаны должны быть отрегулированы на давление, превышающее рабочее не более чем на 10%.

32. Все сосуды, работающие под давлением, должны иметь паспорта, в которых отмечают освидетельствования, лица, от-

ветственные за безаварийную их эксплуатацию, место установки. Кроме этого, необходимо иметь журнал, где записываются результаты проверки обратных клапанов и ремонтов оборудования, замены отдельных деталей и узлов.

33. Процесс нагрева автоклава и роста в нем давления должен проходить под постоянным контролем оператора. В случае превышения заданного давления необходимо уменьшить его, приоткрыв сбросовый вентиль.

Запрещается снижать давление через предохранительный клапан.

34. В процессе работы автоклава вентиль между гидравлическим прессом и автоклавом должен быть постоянно закрытым.

35. Крышка автоклава должна быть надежно закреплена. Нельзя оставлять незакрепленной хотя бы одну шпильку.

IV. Химические реагенты

36. Все работы, связанные с выделением вредных для организма газов, необходимо проводить в вытяжных шкафах, оборудованных вытяжной вентиляцией.

37. Сильнодействующие ядовитые вещества следует хранить на складе. Запрещается хранить эти вещества непосредственно в лаборатории.

38. Перевозка бутылей с химикатами допускается только на специально оборудованных тележках, а переноска — на специальных носилках.

39. При переливании кислоты из бутылки должно применяться приспособление для постепенного наклона бутылки.

40. При переливании кислоты из бутылки в другие емкости на горлышко емкости надевают специальную насадку, предотвращающую разбрызгивание кислоты.

41. Разрешается переливание кислоты сифоном. Засасывать кислоту в сифон можно только с помощью специальных приспособлений. Засасывание кислоты ртом категорически запрещается.

42. При приготовлении смесей кислот последней должна наливаться серная кислота.

43. Для приготовления раствора неразбавленную кислоту следует вливать в воду, а не наоборот.

44. Нельзя допускать попадания азотной кислоты на тряпки, стружки, опилки и т. п.

45. На месте работы с кислотами и щелочами должны постоянно находиться нейтрализующие растворы. В случае попадания кислоты или щелочи на тело работающего пораженное место необходимо тут же промыть нейтрализующим раствором, а затем водой с мылом.

46. При попадании раствора хромпика на тело необходимо смазать пораженное место 5%-ным раствором гипосульфита.

47. В качестве нейтрализатора для кислот применяется 10%-ный раствор двууглекислой соды. Нейтрализатором для щелочей является 10%-ный раствор уксусной кислоты.

48. При ожогах второй степени, когда образовались волдыри, вскрывать и прокалывать их нельзя. На обожженное место нужно наложить повязку из стерильного материала и немедленно доставить пострадавшего в ближайший медпункт.

49. В случае появления у работающего головокружения, тошноты его необходимо срочно отстранить от работы на период до получения от врача разрешения на продолжение работы.

50. В помещении, где имеются приборы, содержащие ртуть, не реже двух раз в год (обязательно в летнее время) следует проводить анализ воздуха на содержание в нем паров ртути.

51. Запас ртути должен храниться на складе в толстостенной стеклянной посуде с притертыми пробками или в железной посуде с герметичными пробками. Посуда устанавливается на противнях.

52. Стеклянная тара для ртути должна иметь объем не более 500 см³.

53. На получение ртути со склада необходимо иметь разрешение заведующего лабораторией. Разрешается получать количество ртути, не превышающее разовой потребности.

54. Ртутный прибор должен быть установлен на эмалированном или окрашенном масляной краской противне.

55. При всяком случайном разливе ртути следует немедленно собрать. Во избежание втирания ртути в пол и распространения ее по помещению капли ртути начинают собирать с периферии загрязненного участка пола. Ртуть собирают при помощи эмульгированных пластин или кисточек из белой жести; эмульгирование достигается натиранием их ртутью. Приставшие к амальгированной поверхности капли ртути стряхиваются в сосуд с водой, закрывающийся резиновой пробкой.

Эмульгированные пластины и кисточки хранятся в закрытом резиновой пробкой сосуде.

56. Если за пришивные борта лабораторного стола попали капли ртути, то эти борта должны быть сняты, а ртуть собрана.

57. После сбора ртути в случае ее разлива необходимо промыть полы и оборудование слабым раствором марганца, после чего провести анализ воздуха в лаборатории на наличие в нем паров ртути.

V. Электрооборудование

58. Все токоведущие части должны быть изолированы и защищены от случайного прикосновения к ним.

59. Все электрические установки должны быть заземлены в соответствии с Правилами технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок промышленных предприятий. Заземлению подлежат металлические части электро-

установок и оборудования, которые могут оказаться под напряжением вследствие нарушения изоляции.

Заземление электроустановок не требуется:

при номинальном напряжении 380 В и ниже переменного тока в сухих помещениях с сухими, плотно проводящими полами (деревянными, асфальтовыми и т. п.), если эти электроустановки не доступны для одновременного прикосновения к ним и другим заземленным предметам;

при номинальном напряжении сети ниже 127 В переменного тока во всех помещениях, кроме взрывоопасных и наружных установок.

60. Пусковые устройства электрооборудования, установленные под открытым небом и в помещениях сырых и с цементными полами, обеспечиваются диэлектрическими ковриками или изолирующими подставками.

61. Все изолирующие средства подлежат испытанию:

диэлектрические перчатки — не реже одного раза в 6 мес;

изолирующие коврики — не реже одного раза в 2 года;

изолирующие подставки проверяются осмотром не реже одного раза в 6 мес.

62. Изолирующие коврики и диэлектрические перчатки должны храниться в специально отведенном месте.

63. На каждом пусковом устройстве должны быть надписи о его принадлежности.

64. Электророзетки должны иметь надписи о величине напряжения электрического тока.

65. Конструкции розеток, имеющих различные напряжения, должны отличаться друг от друга, что исключит возможность подключения электрооборудования и электроинструмента несоответствующего напряжения.

66. Все щиты электросборок, кожуха электрорубильников и других пусковых устройств обязательно должны быть надежно закрыты.

Открывать их, заменять плавкие вставки и ремонтировать запрещается лицам, не имеющим специального допуска.

67. На всех дверцах, крышках и кожухах, закрывающих токоведущие части, с лицевой стороны должны иметься четкие предостерегающие знаки «Молния».

68. Пусковые устройства следует устанавливать в легкодоступных местах. Подходы к ним должны быть свободными.

69. Цвет пусковой кнопки кнопочных пусковых устройств должен отличаться от цвета кнопки «Стоп», пусковая кнопка должна быть утоплена в колодку; кнопка «Стоп» должна быть красного цвета и выступать из колодки на 2—3 мм.

70. Плавкие вставки должны соответствовать величине электрического тока в сети. Установка «жучков» вместо калиброванных вставок запрещается.

71. Автоклавы, оборудованные раскрывающимися электропечами для подогрева, должны иметь блокирующие устройства, отключающие подачу электричества на спираль печи при ее раскрытии.

72. Перед раскрытием печи для остывания автоклава необходимо отключить электроэнергию специальным отключающим устройством. Пользоваться блокировочным устройством для этих целей запрещается.

73. Провод, подсоединяющий электротехнические установки, должен быть защищен от механических повреждений по всей длине на высоте 1,5 м от пола.

74. Внутреннее освещение вытяжного шкафа следует осуществлять светильниками во взрывозащищенном исполнении или светильниками в нормальном исполнении, установленными снаружи шкафа (через стеклянные окна).

75. Наружные светильники должны иметь стеклянные колпаки.

76. Электропроводка в вытяжных шкафах должна быть защищена от воздействия химических веществ.

77. Размещение штепсельных розеток в вытяжном шкафу не допускается.

78. Заземляющие устройства следует испытывать 2 раза в год, в том числе обязательно в самый сухой месяц.

VI. Производственная санитария

79. В каждом помещении лаборатории должна находиться аптечка, укомплектованная всеми необходимыми медикаментами.

80. Автоклавы и вытяжные шкафы должны быть оборудованы вытяжной вентиляцией.

81. Столы, где проводятся работы с химическими реактивами, должны иметь покрытие из нержавеющей стали, панели стен у этих столов должны быть облицованы глазурованной плиткой.

82. Полы лаборатории должны быть покрыты линолеумом.

83. Раковины для воды должны иметь облицовку стены вокруг водяного крана глазурованной плиткой.

84. Линия сброса от автоклавов должна быть выведена из помещения лаборатории в специальный приямок с запирающейся крышкой.

85. Запрещается сливать химические реактивы в общую канализацию без предварительной их нейтрализации.

86. Запрещается выбрасывать шлам в канализацию — для этого должна быть оборудована специальная яма вне помещения лаборатории.

87. Искусственная освещенность на рабочих местах должна быть не менее 200 лк при люминесцентных лампах и 100 лк при лампах накаливания.

88. На местах установки шаровых мельниц искусственное освещение должно быть не менее 20 лк при лампах накаливания.

89. Шаровые мельницы следует устанавливать вне помещения лаборатории.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные факторы, способствующие проведению процесса цементирования без нарушения техники безопасности.

2. Что такое предохранительный клапан на автоклавной линии?

3. Можно ли работать с приборами, имеющими ртуть в негерметизированных трубках?

Глава XV

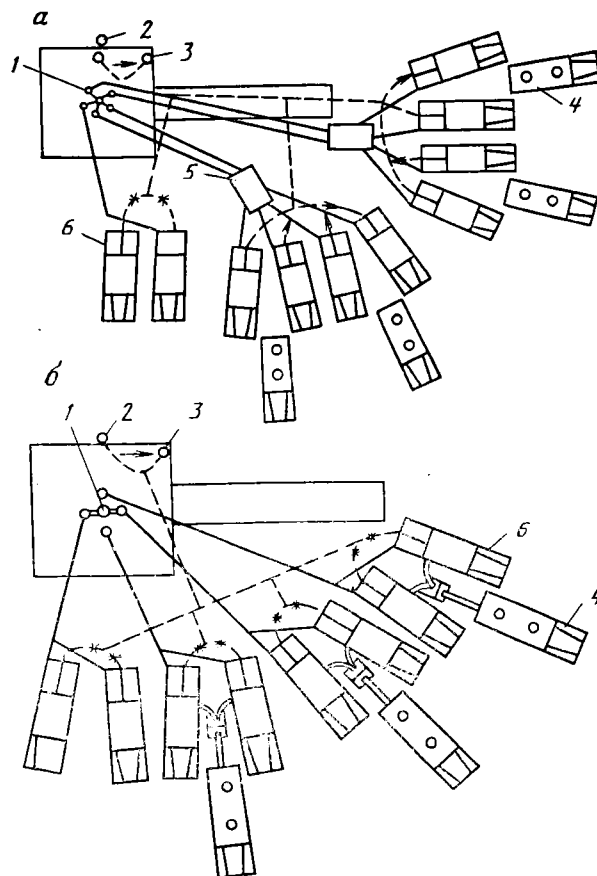
ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ. ОСЛОЖНЕНИЯ И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЦЕМЕНТИРОВАНИИ СКВАЖИН

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ

Для безаварийного проведения процесса цементирования скважин следует уделять весьма серьезное внимание организации этого процесса.

Управление буровых работ подает заявку на проведение процесса цементирования скважины заранее в тампонажную контору или в тампонажный цех. В зависимости от условий и характера работ цементировочные агрегаты прибывают на буровую за несколько часов. Если цемент загружается в цементно-смесительные машины на буровой, то они прибывают с таким расчетом, чтобы загрузка закончилась к окончанию обвязки машин с устьем скважины. Если же цементно-смесительные машины находятся на буровой, то они прибывают с таким расчетом, чтобы разгрузка закончилась к окончанию обвязки машин с устьем скважины. Если же цементно-смесительные машины загружаются на складе, то они прибывают на буровую вместе с цементировочными агрегатами.

У скважины цементировочные агрегаты и цементно-смесительные машины расставляют и обвязывают с устьем скважины в соответствии с ранее разработанной схемой.



Цементи́ровочные агрега́ты устанавливают мерными емкостями к буровой на возможно более близком расстоянии от устья. Агрегаты должны быть поставлены горизонтально и на расстоянии примерно 1 м друг от друга для свободного прохода между ними. Между двумя агрегатами устанавливают одну цементно-смесительную машину. От нее изготовляемый цементный раствор подается в приемный мерник, из которого цементный раствор откачивается цементи́ровочными агрегатами в скважину.

После установки цементи́ровочных агрегатов и цементно-смесительных машин прокладывают трубы приемной линии, после чего агрегаты начинают прием воды для затворения цемента или тампонажной смеси. Затем прокладывают трубы нагнетательной линии. Приемная линия агрегатов для затворения

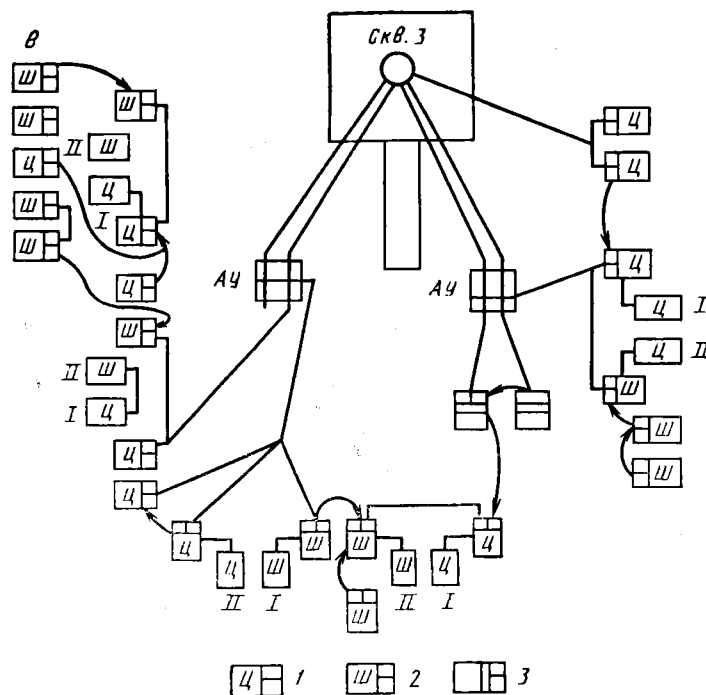


Рис. 112. Типовые схемы обвязки ЦА, СМН и устья скважины при цементировании скважин (стрелкой указан последующий перенос линий):
 а — при использовании 10 ЦА, б — при использовании 8 ЦА: 1 — водяной стояк, 2 — стояк, 3 — цементировочная головка, 4 — ЦА, 5 — СМН, 6 — АУ-5; в — схема обвязки устья скважины ЦА и СМН: 1 — ЦА с реагентами для цементно-бентонитовой смеси, 2 — ЦА с реагентами для шлакобентонитовой смеси, 3 — ЦА; I — первый этап затворения, II — второй этап затворения

цемента должна предусматривать прием жидкости для продавки цементного раствора.

Обвязку с цементировочной головкой, установленной на устье скважины, осуществляют с помощью гибкого металлического шланга. При большом числе цементировочных агрегатов в одну линию может быть включено несколько машин.

В различных нефтегазовых районах страны составлены рациональные схемы для расстановки цементировочных агрегатов и цементно-смесительных машин, что позволяет в значительной мере сократить время и средства на проведение операции, а также облегчить труд операторов. На рис. 112 приведены типовые схемы расстановки машин. Принципиальное различие их заключается в числе применяемых ЦА и СМН. Приведенные схемы в основном удовлетворяют требованиям производства в случае использования цемента, цементно- и шлакопесчаных смесей. При использовании облегченных тампонаж-

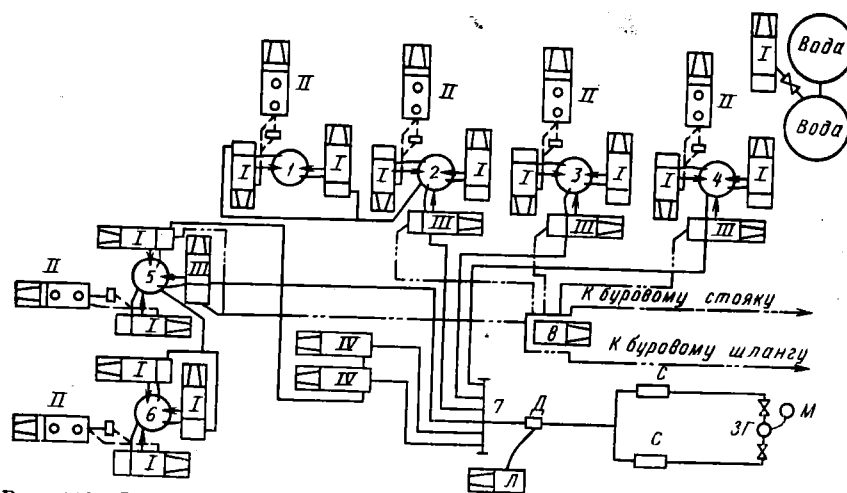


Рис. 113. Схема расположения оборудования при цементировании облегченным раствором скв. 1 Галюгаевская глубиной 5500 м (забойная температура около 200 °С):

I—6 — емкости для шлакопесчаного раствора, 7 — коллектор нагнетательный, 8 — коллектор бурового раствора; I — ЦА-320М, II — СМН-20, III — ЗЦА-400, IV — АН-500; ЗГ — заливочная головка, Д — датчик расхода и давления, Л — лаборатория, С — сетка, М — манометр

ных растворов число агрегатов резко возрастает вследствие необходимости набора больших количеств, особенно в тех районах, где потребности в ней в течение короткого времени не могут быть удовлетворены.

При цементировании скважин большим числом агрегатов прибегают к помощи устьевого оборудования (тележки АУ-5). На рис. 113 приведены схема обвязки устья скважины, цементировочных агрегатов и цементно-смесительных машин при проведении процесса с помощью АУ-5. Применение устьевого арматуры АУ-5 снижает ударные нагрузки при прокачивании растворов в трубах, обеспечивает удобства в осуществлении всей обвязки линий, уменьшает число используемых труб, соединяемых непосредственно у цементировочной головки.

На рис. 113 приведена схема расположения оборудования при цементировании облегченным раствором скв. 1 Галюгаевская глубиной 5500 м с забойной температурой около 200 °С.

После сборки труб опрессовывают нагнетательные линии на давление, в 1,5 раза превышающее рабочее. Работы проводятся под руководством инженера по заливкам.

Затем руководитель работ проводит инструктаж с операторами, распределяет объемы растворов, необходимые для закладки в скважину, указывает очередность ввода машин в работу, режим работы, рабочее давление, выделяет агрегаты для завершения процесса цементирования скважины и т. д.

После проведения подготовительных работ и установления готовности машин к работе одним агрегатом восстанавливают циркуляцию в скважине и приступают к затворению цементного раствора.

Для этого предварительно заполняют гидравлическую часть насоса и приемный коллектор водой. Для приготовления цементного раствора машинист цементно-смесительной машины открывает ствол приемной воронки и по достижении заданного давления в компенсаторе дает команду о включении дозирующих шнеков. Цементно-смесительные машины приступают к закачиванию приготовляемого цементного раствора в скважину.

Процесс закачивания цементного раствора без станции контроля процесса цементировании сопровождается замером плотности раствора вручную. Рецепт и свойства закачиваемого в скважину тампонажного раствора должны соответствовать рецептуре и свойствам раствора, рекомендованного в лаборатории.

После приготовления и закачки цементного раствора все нагнетательные линии и насосы цементируемых агрегатов промывают от остатков цементного раствора. Вывинтив штопоры цементирующей головки, проталкивают разделительную пробку и начинают продавливать цементный раствор. При резком повышении давления процесс закачки останавливают. После устранения причины или ее установления процесс продолжается только по команде руководителя работ. Машинисты отсчитывают объем закачиваемой продажной жидкости. Когда разделительная пробка садится на стоп-кольцо, давление повышается. Этот момент считается моментом окончания процесса цементирования скважин. Посадкой разделительной пробки на стоп-кольцо управляют одним — двумя цементирующими агрегатами на I скорости.

После продавки глинистого раствора, обычно используемого в качестве продажной жидкости, проверяют герметичность обратного клапана обсадной колонны. Затем разбирают трубы приемных и нагнетательных линий. Оставшийся глинистый раствор откачивают в приемные чаны буровой, промывают мерники от остатков цементного и глинистого растворов, инструмент и оборудование укладывают на платформы, машины приводят в транспортное состояние.

Процесс цементирования скважин, качество цемента, параметры тампонажного раствора, его состав отражены в документации — учетной карточке по тампонажу и контрольном листе. Они являются обязательными документами при проведении всех работ в процессе цементирования скважин. В различных нефтегазовых районах применяют документацию, которая требует унификации.

ОСЛОЖНЕНИЯ ПРИ ЦЕМЕНТИРОВАНИИ СКВАЖИН

Успешность цементировочных работ в скважинах определяется геологическими и техническими факторами. Степень влияния этих факторов, интенсивность и характер их проявления весьма разнообразны даже в условиях одного и того же месторождения. Поэтому цементировочные работы необходимо осуществлять на основе тщательного анализа материала предшествующих геолого-геофизических, технических и эксплуатационных обследований скважин.

Осложнения, связанные с подготовкой ствола скважины

При недостаточно тщательной и несвоевременной проработке ствола скважины или при ее отсутствии на стенках скважины имеются или образуются места посадок, а при недоброкачественном глинистом растворе отлагается глинистая корка с налипшим шламом.

Перед спуском колонны сужение ствола скважины может препятствовать благоприятному доведению колонны до забоя. Колонна может оказаться прихваченной.

В настоящее время могут быть отмечены следующие основные причины прихвата обсадных колонн: сужение ствола скважины, загрязненность ствола вследствие недостаточной его промывки, прилипание обсадной колонны, гидростатическое давление бурового раствора, обвалы пород.

Прихват обсадной колонны вследствие прилипания (при влиянии гидростатического давления) происходит в основном при оставлении колонны в скважине без движения. Для его предотвращения и профилактики нельзя оставлять колонну обсадных труб без движения, а в буровой раствор следует вводить различные вещества, имеющие «смазочные свойства».

Основная причина прихватов обсадных колонн — недостаточная очистка ствола скважины от выбуренной породы вследствие уменьшения количества закачиваемого бурового раствора по мере увеличения глубины скважины.

Для предупреждения связанных с сужением ствола осложнений необходимо тщательно прорабатывать ствол скважины перед спуском обсадной колонны. Целесообразно, чтобы скорость движения раствора составляла при этом более 1 м/с, вязкость глинистого раствора не превышала 50 с, а статическое напряжение сдвига за 10 мин было бы не выше 13—17 Па. Во многих случаях целесообразно и даже необходимо шаблонировать ствол инструментом с жесткой компоновкой.

Неправильный учет объема каверн может быть причиной недоподъема цементного раствора, вследствие чего несколько го-

ризонтов остаются непокрытыми и, кроме того, повышается давление при прокачивании цементного раствора.

Для обеспечения равномерного распределения цементного раствора обсадную колонну необходимо центрировать.

Подготовка тампонажных растворов, их приготовление и особенности применения

Если в неосложненных скважинах относительно небольшой глубины процесс цементирования осуществляется затворением чистого тампонажного цемента водой, не обработанной химическими реагентами, то этот же процесс при повышении забойных температур и давлений требует исключительного внимания к соблюдению всех условий, поставленных соответствующей промысловой лабораторией или лабораторией отраслевого научно-исследовательского института.

Основное — это установление соответствия рецептуры наполнителей, активных добавок и химических реагентов, используемых в большом количестве на практике, тем рецептурам растворов, которые разработаны (подобраны) в лаборатории.

Увеличение глубин, рост температур и давлений, отсутствие специальных цементов приводят к необходимости усложнения рецептур тампонажных растворов. Однако во всех случаях следует стремиться к приготовлению наиболее простых, удобных для использования смесей.

В настоящее время цементирующие материалы по срокам (началу и концу) схватывания их растворов выбирают по фактическому создаваемому столбом бурового раствора давлению и статической или динамической температуре пород на забое скважин.

При цементировании следует подбирать материалы, соотносясь с конкретными условиями каждой скважины. Каждая партия цементирующих материалов, предназначенная для крепления конкретной скважины, должна быть проверена при забойных условиях. Должны быть подобраны рекомендованные смеси при том составе и тех материалах, которые будут использованы на конкретной скважине.

Перед отправкой на буровую или перед заполнением бункеров цементно-смесительных машин (СМН) лежалые цементы должны быть просеяны для удаления из них слежавшегося цемента — кусков. Загрязненный различными посторонними предметами (гравий, обломки досок, бумага и др.) цемент следует обязательно просеивать. При использовании смесей цементирующих материалов с песком (кварцевым и гематитовым), глиной и опокой необходимо их тщательно смешивать.

При изготовлении смеси нельзя использовать песок, глину, опоку повышенной влажности (примерно более 3%) для

предупреждения образования комков в бункерах, наличие которых в смеси вяжущих веществ может вывести из строя СМН и сорвать операцию по цементированию.

Известно, что чем дольше пребывает цемент в бункерах, тем (особенно в весенне-зимний период) он больше спрессовывается, а при его подаче шнеки выходят из строя: перерезаются шпонки, моторы бункеров работают при повышенных нагрузках и т. д.

При выгрузке слежавшегося цементного порошка из цементно-смесительных машин в них образуются своды обрушения, которые затрудняют процесс работы: появляется необходимость обрушения конусов и регулирования плотности цементного раствора, так как неравномерная подача цемента способствует резким колебаниям плотности раствора. Наиболее часто застывания цементных смесей наблюдаются, когда в них введены влажные водопотребные добавки типа бентонитовой глины и особенно вспученного перлита.

При введении больших количеств КМЦ (до 1% и более) в цементные (и особенно цементно-бентонитовые) растворы создается впечатление их преждевременного схватывания. Однако при дальнейшем перемешивании вязкость падает, раствор разжижается, но не всегда в достаточной мере.

В связи с тем, что иногда (особенно зимой) нет условий для растворения КМЦ у буровой, для ускорения растворения ее засыпают в приемные емкости агрегатов и «разбивают» водой, подаваемой насосом агрегата под давлением. Однако (особенно при большом количестве) замедлитель полностью не растворяется. При затворении цемента водой с неполностью и неравномерно растворенной КМЦ консистенция и вязкость выходящего раствора изменяются в широких пределах, что приводит к получению плохо прокачиваемых пачек раствора или запрессованию смесительной камеры бункера. Раствор, попадая в приемный чан, подается пачками, с переливом или недостатком его.

При приготовлении цементно-бентонитовых растворов необходимо следить за подачей смеси в бункер и обрушать возникающие в бункере конусы. При обрушении материала возможна запрессовка смесительной камеры, повышение вязкости раствора и увеличение давления при прокачке.

Использование в качестве замедлителя ССБ в больших количествах (примерно более 0,4—0,5%) способствует: а) пенообразованию, ухудшающему условия проведения цементирования, и выпадению в приемном чане песка и утяжелителя при использовании утяжеленных или песчаных смесей; в некоторых случаях количество пены столь велико, а количество раствора настолько мало, что приемный шланг оголяется и насосы «забирают» воздух; при этом необходима их перезарядка; б) пони-

жению коэффициента наполнения насосов; в) несоответствию значений плотности растворов в скважине и на поверхности в результате сжатия воздуха.

Осложнения, связанные с изменением температуры и давления в скважине

При увеличении температур в скважинах возникают условия для повышения вязкости глинистых и цементных растворов, последние интенсивнее «густеют» или затвердевают.

Однако необходимо учитывать и понижение температур в скважинах в процессе промывки, что также может быть причиной осложнений при креплении скважин, в первую очередь высокотемпературных. Подобные резкие колебания температур наблюдаются при промывках скважин после спуска обсадных колонн (если промежуточные промывки не проводились или проводились очень редко), а также во время закачивания цементного раствора в трубы и выхода его в затрубное пространство (особенно в зимнее время, когда для затворения цемента используют холодную воду). В результате возникновения разности температур возможно образование осыпей или даже обвалов стенок скважины.

Существенные небрежности в работе допускаются при установке мостов в глубоких скважинах, когда не учитывается влияние температурных условий в стволе скважины и длина заливочных труб уменьшается при закачке цементных и глинистых растворов пониженной температуры. Недоучет уменьшения их длины приводит к тому, что при установке небольших цементных мостов верхняя часть их срезается на большую длину, обнажаются верхние отверстия перфорации. Работа оказывается безрезультатной. В некоторых случаях указанная небрежность может привести к более серьезным последствиям.

Оставление больших цементных остатков в скважинах после цементирования

В результате применения недоброкачественных цементирующих пробок часто создаются условия для опережения ими цементного раствора, иногда весьма значительного.

Так, при использовании деревянных «безманжетных» пробок наиболее быстродвигающаяся центральная часть потока цементного раствора увлекает цементирующую пробку, а пристенные слои раствора, имея меньшую скорость движения, отстают. В результате пробка «обгоняет» верхние участки цементного раствора на десятки и даже сотни метров.

Лучший способ устранения указанного вида осложнений — применение специальных резиновых пробок, когда все сечение

обсадной трубы занято пробкой и она может двигаться не под действием собственного веса, а при некотором перепаде давления.

Осложнения, связанные с преждевременным загустеванием и схватыванием цементного раствора

В практике бурения этот вид осложнений встречается довольно часто.

Загустевание цементных растворов объясняется, при прочих равных условиях, непостоянством химико-минералогического состава цемента и неправильным подбором рецептуры для конкретных условий.

В глубоких скважинах осложнения, связанные с преждевременным загустеванием и схватыванием цементного раствора, участились в связи с недостаточным вниманием к химической обработке. Обработка раствора вносит определенную погрешность в приготовление цементных растворов и может быть причиной осложнений. Поэтому обработке цементных растворов должно быть уделено серьезное внимание, и подбирать рецептуру следует в автоклаве при условиях, соответствующих скважинным.

Многие трудности и неудачи, особенно при цементировании скважин с малыми зазорами между обсадной колонной и стенками скважины, связаны именно с отфильтровыванием некоторого количества воды, ведущим к уменьшению подвижности, более быстрому загустеванию раствора и изменению других его свойств.

Очень важную роль в повышении давления при цементировании в первую очередь глубоких высокотемпературных скважин, где как глинистый, так и цементный растворы обработаны большим количеством различных реагентов, играет вязкость промежуточного слоя (зоны смешения). При некоторых условиях перемешивания этот слой может охватить значительную зону, а повышение вязкости вызовет рост давления при продавке тампонажного раствора.

Лежалость цементного раствора приводит к замедлению сроков схватывания (если температура не превышает 100 °С), увеличению вязкости цементного раствора и возможному повышению давления при закачке цементного раствора.

Цементно-перлитовые растворы, подвижные при обычных условиях, попадая в условия гидродавления, изменяют свои структурно-механические свойства. Уже при давлении 0,5 МПа поры перлита вскрываются, вода заполняет их, подвижность раствора снижается, он густеет. Создается впечатление быстрого загустевания и схватывания раствора. Однако, хотя сроки схватывания раствора при этом несколько сокращаются, прин-

ципальным недостатком следует считать рост вязкости и динамического напряжения сдвига. Указанные осложнения могут быть ликвидированы только при тщательном подборе рецептуры тампонажных растворов с учетом конкретных условий скважины.

Создание больших скоростей восходящего потока цементного раствора в затрубном пространстве приводит в общем случае к возрастанию давления на стенки скважины и в результате пласты подвергаются гидроразрыву. Во многих случаях наряду с уменьшением разницы между плотностями цементного и глинистого растворов для обеспечения высококачественного цементирования необходимо понижать скорость движения цементного раствора в затрубном пространстве до скорости глинистого раствора в процессе последней промывки скважины. При цементировании мелких скважин определяющее значение для возникновения гидроразрыва имеет разница плотностей растворов, и чем она выше, тем больше вероятность гидроразрыва пластов.

При наличии в разрезе пластов, склонных к гидроразрыву, небольшое повышение гидродинамического давления на стенки скважин приводит к поглощению цементного раствора.

Возросшая глубина скважин, уменьшившиеся зазоры между стенкой скважины и обсадными трубами обязывают подходить к назначению скорости восходящего потока цементного раствора дифференцированно, в зависимости от геологических условий, способности стенок скважины сопротивляться возникающим гидродинамическим давлениям и конструкции скважин.

При наличии недоброкачественного глинистого раствора (в основном раствор с высоким статическим напряжением сдвига) во многих скважинах наблюдались поглощения вследствие высокого СНС глинистого раствора.

О резких колебаниях давлений при цементировании скважин

В процессе цементирования давление иногда повышается при внезапных остановках цементировочных пробок. Этот вид осложнений может возникнуть, если внутренние размеры обсадных труб значительно отличаются. Наиболее часты подобные осложнения при колоннах 168×127 мм и использовании обточенных пробок, предназначенных для 168-мм обсадных труб.

При цементировании бывают резкие снижения давления. Они объясняются различными причинами: продавливанием пробок, срывами стоп-кольца, нарушениями колонн, особенно при продавливании цементного раствора.

Упорное кольцо должно выдерживать нагрузку при ударе садящейся пробки. Важно также, чтобы упорное кольцо и цементировочная пробка (металлическая шайба) выдерживали избыточное давление. При использовании обратных клапанов не-

обходимо тщательно следить за доливом через каждые 100—200 м, и только после спуска последних 200—300 м труб долив может быть прекращен вследствие значительного веса спущенной колонны.

При неправильном подсчете количества продавочной жидкости возможны преждевременная посадка цементирующей пробки на стоп-кольцо, значительный гидравлический удар с последующим разрушением обсадной колонны. Иногда цементирующая пробка во время выхода из цементирующей головки при неполноте открытых стопорных болтах оказывается разделенной на части.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТАХ С СЫПУЧИМИ И ПЫЛЯЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ

Погрузка, разгрузка и транспортирование цемента

1. Погрузочно-разгрузочные работы и перемещение тяжестей следует проводить под руководством работника, ответственного за технику безопасности.

2. Рабочие, не имеющие квалификации грузчиков, могут быть допущены к погрузочно-разгрузочным работам и перемещению груза после обучения их правилам безопасности ведения работ.

3. При переносе затаренного цемента вручную предельная норма на каждого рабочего не должна превышать 50 кг для мужчин (для грузчиков-профессионалов 80 кг) и 20 кг для женщин. Подростки к работе по погрузке и разгрузке цемента не допускаются. Предельное расстояние для переноски цемента и других материалов вручную не должно превышать 50 м по горизонтали.

4. Для переноски мешков с цементом через рельсовые пути на уровне рельсов должен быть устроен настил шириной не менее 1,5 м.

5. При складировании цемента в мешках в штабелях должны быть приняты меры, обеспечивающие устойчивость его от разваливания. Допустимая высота штабеля 1,5—1,7 м (т. е. 10—12 рядов из стандартных мешков). Проход между штабелями не менее 2 м.

6. При необходимости погрузки или разгрузки в ночное время рабочие места должны освещаться прожекторами или другими электрическими светильниками, обеспечивающими освещенность не менее 5 лк при перемещении груза вручную и 10 лк при перемещении груза с помощью транспортеров, тележек и пр.

7. По окончании работ и периодически в течение длительной погрузки следует очищать полы от рассыпанного из разорванных мешков цемента.

8. Подъездные пути к цементным складам должны обеспечивать положение пола кузова машины и пола склада на одном уровне.

9. Рабочие, занятые на погрузке и разгрузке цемента, должны быть обеспечены противопыльной спецодеждой, фартуком из плотной ткани и респираторами (или марлевой повязкой).

10. В кузов автомобиля цемент (в мешках) следует укладывать с соблюдением следующих требований:

а) перед загрузкой кузов автомобиля должен быть вычищен и не иметь острых выступов (болтов, гвоздей) на внутренней поверхности бортов и пола;

б) цементные мешки следует располагать равномерно по всей площади кузова, не превышая уровня бортов автомобиля;

в) мешки в кузове должны быть уложены вертикально с наибольшим уклоном в сторону кабины.

11. Сани для перевозки цемента должны иметь борта; цемент, уложенный на сани, не должен превышать уровня бортов. Сопровождать цемент, сидя на груженных санях, категорически запрещается.

12. Для обслуживания цементно-смесительной машины, кроме водителя, допускаются рабочие, прошедшие специальное обучение (рабочие по тампонажу скважин 2- и 3-го разрядов).

13. Место для установки цементно-смесительных машин следует выбирать с учетом удобства для проведения работ по выгрузке цемента и установке цементировочных агрегатов при откачке цементного раствора. Цементно-смесительные агрегаты ставить на расстоянии не менее 10 м от токонесущих проводов.

14. Перед загрузкой в бункер цемента, количество которого превышает 10 т, необходимо установить подвесные домкраты, имеющиеся в цементно-смесительной машине.

15. При установке погрузочного шнекового транспортера с помощью крана-укосины необходимо убедиться в прочности троса подъемного устройства.

16. Перед пуском цементно-смесительной машины в работу необходимо проверить надежность оградительных щитов на цепных трансмиссиях.

17. Воронку погрузочного шнекового транспортера требуется устанавливать таким образом, чтобы передний край ее находился на уровне пояса (не выше).

18. Очищать шнек от попавших в него комков следует только при остановленном двигателе цементно-смесительной машины; в это время запрещается нахождение водителя в кабине.

19. При демонтаже погрузочного шнекового транспортера необходимо соблюдать те же правила, что и при его монтаже.

20. Работа на верху бункера допускается только при надежно установленных перилах. Передвижение цементно-смесительной машины с поднятыми перилами запрещается.

21. Во время работы цементно-смесительной машины категорически запрещается ремонтировать движущиеся части и очищать приемную камеру от цементных комков.

Правила безопасности, применяемые при использовании тампонажных смесей, в основном аналогичны правилам, приведенным выше. Но некоторые особенности отдельных материалов требуют дополнительных мер предосторожности. Так, при использовании в качестве добавки цементной пыли, осаждающейся в электрофильтровых печах, следует учесть ее едкие, раздражающие слизистую оболочку свойства. Поэтому запыленность рабочих мест в этом случае недопустима.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЦЕМЕНТИРОВОЧНЫХ РАБОТАХ

Цементирование скважин — весьма ответственная операция, которая проходит за относительно ограниченное время (1—3 ч). Поэтому при цементировании скважин особое внимание должно быть уделено технике безопасности.

Отличительными особенностями работ, связанных с цементированием скважины и определяющих установление правил техники безопасности, являются следующие: одновременное присутствие большого числа людей, вредное влияние цемента и различных химических реагентов и наполнителей (особенно органического происхождения), высокое давление, при котором происходит процесс цементирования, одновременная работа большого числа агрегатов и прочих машин, использование в некоторых случаях радиоактивных веществ, вредность выхлопных газов и наличие шума работающих двигателей, а также работа в ночное время. Цементировать в ночное время даже при хорошем освещении следует только в исключительных случаях.

Выезжающие для проведения цементирования скважины цементирующие агрегаты и цементно-смесительные машины должны быть исправны. Особое внимание следует обращать на исправность механизмов управления, муфт сцепления, манометров. Манометры без пломбы с указанием истекшего срока проверки, с дефектами в виде отключений стрелки, нарушения резьбы применять категорически запрещается.

Диаметр шпильки предохранительного клапана должен соответствовать определенному давлению (обычно оно на 30 % ниже максимального давления насоса), при котором запланировано проводить работу (с учетом соответствующего запаса прочности). Заводы должны поставлять комплект шпилек по ГОСТ. На каждой шпильке должно быть клеймо с указанием давления испытания. Предохранительный клапан должен быть опрессован на соответствующее давление.

Во избежание возможности разрыва воздушного баллона кран на нагнетательной линии должен быть открыт.

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала при работе у насосов цементировочных агрегатов предохранительные клапаны на них должны иметь кожух и трубу для отвода жидкости в случае их нарушения. Исправность предохранительного клапана следует проверять перед выездом на очередную операцию.

Оборудование, находящееся на платформе цементировочного агрегата, необходимо уложить на месте и закрепить. Оно не должно мешать машинисту и слесарю при их работе в процессе цементирования скважины.

При работе оператора на цементно-смесительной машине должны быть установлены и закреплены боковые перила, а разгрузочные люки (диаметром 495 мм) закрыты специальной решеткой с ячейками 20×20 мм. Запасные колеса машины должны быть установлены и укреплены на кронштейнах; снимать или устанавливать их на кронштейнах следует только лебедками цементировочных или смесительных машин.

Оборудование, размещенное на платформе цементировочных агрегатов с вращающимися узлами, должно быть закрытым. Поршневой и вертикальный насосы, приводы, верхний двигатель должны быть закрыты негромоздкими щитами. У мерных емкостей (между насосами и емкостью) следует установить площадку для рабочего с целью наблюдения за уровнем жидкости в приемной емкости.

Особое внимание следует обращать на необходимость ограждения при работе с цементно-смесительными машинами СМН-10: они не имеют ограждений, так как не рассчитаны на загрузку и догрузку машин на буровой. Целесообразно применять специальные откидные или приставные лестницы при работе на агрегатах, так и на СМН в связи с тем, что их платформы расположены высоко. Эти лестницы можно использовать только во время стоянки ЦА и СМН. Особое внимание должно уделяться исправности ступенек, ручек и держателей для перемещения на стоянке и в процессе работы при цементировании скважин.

Одним из обязательных приспособлений цементно-смесительной машины СМН-20 является специальный шнек. При транспортировании он закрепляется в стеллаже специальными пластинами. Нельзя закреплять шнек веревками и проволокой.

Нагнетательные и приемные трубы длиной 2—4 м перевозятся с цементировочными агрегатами и входят в комплект оборудования ЦА. Они располагаются в пазах-гнездах и должны быть зажаты планками с болтами или защелками.

При наборе воды в емкости ЦА и засыпке цементно-смесительных машин тампонажным цементом следует устанавливать домкраты, однако при установке их необходимо соблюдать правила техники безопасности.

При установке цементируемых агрегатов и смесительных машин на площадке не должно быть посторонних предметов.

Запрещается установка агрегатов и смесительных машин кабиной в сторону скважины.

Расстояние между буровой и агрегатами должно быть минимальным.

Для предотвращения колебания агрегатов во время работы насоса необходимо подкладывать под колеса деревянные брусья.

Для удобства работы обслуживающего персонала смесительные машины следует устанавливать так, чтобы ось их задних колес приблизительно совпадала с осью передних колес, работающих в паре цементируемых агрегатов.

Запрещается находиться под грузочным приспособлением во время его подъема.

Перед спуском грузочного шнека необходимо проверить наличие и состояние ограждений на всех внешних движущихся механизмах.

Запрещается поправлять шнек и очищать его во время работы двигателя и трансмиссией.

Запрещается перемещать смесительные машины, если в них загружено более 12 т цемента.

Агрегаты разрешается обвязывать только после спуска колонны в скважину. Запрещается находиться на приемных мостках во время спуска колонны и восстановления циркуляции.

Обвязка агрегата с устьем скважины должна быть «мягкой», т. е. гибкие колена должны обеспечивать амортизацию гидравлических ударов в линии при работе насосов. Перекрещивание напорных линий не допускается.

При сборке напорных линий быстроразъемными соединениями не разрешается находиться против работающего молотком. Вода к смесительному устройству должна подаваться через компенсатор только по резиновым шлангам.

✓ В ночное время место проведения работ должно освещаться лампами освещенностью не менее 5 лк. Все работы, связанные с прокладкой и монтажом линий, установкой шнека и лестниц и т. д., необходимо проводить в рукавицах и спецодежде.

Линии опрессовывают по распоряжению руководителя работ после удаления обслуживающего персонала на достаточное расстояние. Запрещаются одновременное устранение пропусков в линии и опрессовка. После опрессовки трубы нагнетательных линий должны быть прикреплены к ноге вышки во избежание их раскачивания.

Буксировка ЦА и СМН разрешается только жестким буксиром длиной не менее 2,5 м при наличии центрального крюка на буфере машины. Запрещается сцеплять и расцеплять транспортирующие средства во время движения машин.

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ

Во время приготовления и закачки в скважину активированный раствор не должен попадать на тело и одежду работающих; раствор нельзя разливать на территории буровой.

Ампулы с радиоактивным изотопом необходимо раздавливать специальными щипцами с удлиненными рукоятками только после погружения их в емкость с водой на 20—30 см ниже уровня.

Добавка в емкость агрегата радиоактивной жидкости разрешается лишь после того, как опрессованы напорные линии и заряжен насос.

По окончании работ необходимо тщательно промыть чистой водой емкость, водяной и цементировочный насосы и прочее оборудование агрегата, а также гидросмесительное устройство и напорную трубу смесительной машины. После этого оборудование, территория скважины и одежда работающих должны быть проверены на отсутствие опасных радиоактивных загрязнений.

Остатки неиспользованных или пролитых радиоактивных растворов (жидкостей), а также после промывки агрегатов следует разбавить водой до допустимой концентрации и удалить за пределы буровой.

РАБОТА В ГАЗОВОЙ СРЕДЕ С ХИМИКАТАМИ

При работе агрегата на буровой курение и пользование открытым огнем категорически запрещаются. Выхлопные трубы двигателей агрегатов должны быть оборудованы искрогасителями.

Перед работой с сухими солями и их растворами высоких концентраций (10—20%) кожу рук необходимо смазать мазью из смеси парафина, ланолина и фенола. При отсутствии мази необходимо пользоваться резиновыми перчатками.

Во время приготовления раствора из сухой хромовой соли рабочие обязательно должны пользоваться респираторами типа Ф-45 или Ф-46.

По окончании работ необходимо мыть руки 5%-ным раствором гипосульфита натрия или 10%-ным раствором сульфита или бисульфита натрия. Лица, постоянно работающие с хроматами и бихроматами, обязаны проходить осмотр врача-отоларинголога ежемесячно и общие медосмотры один раз в 6 мес.

Не разрешается допускать к работе с сухими солями хроматов и бихроматов лиц с заболеваниями полостей носа, хроническим ларингитом, туберкулезом, хроническим бронхитом, бронхиальной астмой и любой формой экземы.

ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ

1. Все работы, связанные с соприкосновением с металлом, нужно выполнять в рукавицах, чтобы не обморозить руки.
2. На конце паровых трубопроводов (шлангов) должен быть небольшой металлический наконечник с вентилем. После окончания прогрева трубопровода вентиль необходимо закрыть для того, чтобы не обжечь паром других рабочих. Оставлять шланг с выходящим из него паром, т. е. с незакрытым вентилем, запрещается.
3. От прохождения пара металлический патрубок на конце шланга нагревается. Рабочий, прогревающий оборудование, должен держать паровой шланг за его резиновую часть, а не за металлический наконечник.
4. Давление в паровом котле следует поддерживать в зависимости от количества потребляемого пара.
5. Прогреть детали паром следует равномерно со всех сторон.
6. У места прогрева деталей оборудования не должны находиться посторонние люди во избежание ожогов лица паром или брызгами горячей воды.
7. При запуске с помощью буксировки агрегатов необходимо соблюдать все правила зацепления буксира бункера и буксировки машин.
8. Конец парового шланга, опущенный в мерный бак для подогрева воды, должен быть хорошо закреплен во избежание выскакивания.
9. До начала цементировки во избежание замерзания насосов необходимо проводить круговую циркуляцию жидкости (подогретой воды из мерных баков) при малой частоте вращения насосов.
10. В процессе цементирования необходимо периодически подогревать цементирующую головку и манометр на головке. Перед продавкой заливочной пробки через верхний кран головку необходимо тщательно прогреть паром.

Общие вопросы

1. Все лица, не связанные с проведением процесса цементирования, должны быть удалены за пределы буровой, за пределы зоны действия агрегатов и их коммуникаций.
2. Перевозка рабочих на верхней площадке агрегатов или на крыше смесителя категорически запрещается.
3. Бригада должна иметь медицинскую аптечку независимо от наличия аптечки на буровой. Аптечка должна находиться в кабине одного из агрегатов.

4. Все члены экипажей ЦА и СМН должны сдать экзамен по технике безопасности. При получении агрегата или цементно-смесительной машины новой конструкции все члены бригады должны пройти дополнительный инструктаж, достаточный для проведения самостоятельной работы.

5. При проведении процесса цементирования в осложненной скважине или введении в процесс новых элементов рабочие должны пройти дополнительный инструктаж с разъяснением существа новых элементов и предупредительных мер по безопасности.

Контрольные вопросы

1. Для чего проводят инструктаж по технике безопасности и промсанитарии?

2. Должны ли члены экипажей сдавать экзамен по технике безопасности?

Глава XVI

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН

Цементирование скважин завершается оценкой качества цементировочных работ. Методы оценки качества цементировочных работ приобретают все большее значение в связи с ростом глубины и удорожанием скважин. Необходимым условием является быстрота оценки качества цементировочных работ.

Отсутствие вод и герметичность колонны еще не свидетельствуют об успешности цементирования. Качество работ зависит от многих факторов. К наиболее общим показателям (при герметичной колонне) могут быть отнесены следующие: полнота замещения цементным раствором глинистого в затрубном пространстве, плотность (непроницаемость) камня из тампонажного материала, долговечность камня в затрубном пространстве.

К методам контроля, характеризующим качество цементирования затрубного пространства скважины до ее возбуждения (также после повторных цементировок), относятся термометрический, акустический, радиоактивный методы и метод ГГК, испытание герметичности обсадной колонны внутренним давлением или испытанием на приток (данные мероприятия применяют и при исправительных цементированиях), испытание мостов созданием на них нагрузки насосно-компрессорными (или бурильными) трубами как с одновременной промывкой, так и без нее.

I. Термометрия является одним из самых первых методов определения высоты подъема цементного раствора за колонной. Метод основан на регистрации температурных аномалий в скважине против находящейся за колонной цементной массы, которые создаются в результате выделения тепла при ее затвердевании. Поэтому температуру следует измерять в период затвердевания цементного раствора. Для различных цементных растворов это время различно и определяется предварительно в лабораторных условиях. Термозамер проводят каротажным электротермометром, спускаемым в скважину на кабеле.

При интерпретации термограммы, зарегистрированной в процессе ОЗЦ (ожидание затвердевания цементного раствора) для повышения точности определения наличия цементного камня в заколонном пространстве, ее следует сопоставлять с кавернограммой или профилеграммой. В зацементированном интервале скважины термограмма по конфигурации соответствует кавернограмме, а в незацементированном интервале эти кривые расходятся.

Ограничения метода: невозможность определения высоты подъема цементного раствора после его затвердевания, низкая эффективность применения при использовании для цементирования скважин облегченных тампонажных материалов, не выделяющих при твердении достаточного количества тепла, а также в высокотемпературных скважинах. Кроме того, по данным одноразовой термометрии скважины, в процессе ОЗЦ затруднительно получить дополнительную информацию о характере распределения цементной массы за колонной, кроме высоты ее подъема.

II. Радиоактивная цементометрия основана на использовании свойств радиоактивных веществ и может быть разделена на две группы методов.

1) Активация цементного раствора радиоактивными изотопами (обычно — короткоживущими) и исследование характера его распределения за колонной в скважине по интенсивности радиоактивного излучения с помощью гамма-каротажа.

Применяется обычно при использовании небольших порций цементного раствора (ступенчатая заливка, ремонтно-изоляционные работы и т. д.).

Более совершенная модификация этого способа — детальное изучение характера распределения активированного цементного раствора за колонной созданного в Азнефтегеофизике гамма-цементомера. Этим прибором на основе использования сканирующего устройства по интенсивности коллимационного гамма-излучения оценивалось изменение толщины цементного кольца по периметру колонны в любой точке скважины.

Недостатком применения радиоактивных изотопов является остающийся в течение сравнительно длительного времени высо-

кий уровень гамма-излучения, препятствующий проведению других радиоактивных исследований в скважине. Из-за сложности и трудоемкости проведения работ, а иногда из-за радиационной опасности использование радиоактивных изотопов широкого распространения не получило.

2) Гамма-гамма-цементометрия основана на зависимости интенсивности рассеянного гамма-излучения от плотности окружающей среды. Принцип работы гамма-гамма-цементометров заключается в том, что часть гамма-излучения из источника скважинного прибора попадает в индикатор прибора после рассеяния в буровом и цементном растворах, в колонне, а иногда и в породе. При наличии за колонной цементного раствора или камня интенсивность попадающего в приемник излучения будет меньше, чем при наличии бурового раствора. Этот метод, не получивший должного развития за рубежом, широко применяется в нашей стране и позволяет определять, кроме высоты подъема цементной массы за колонной, характер его распределения в кольцевом пространстве, в том числе и каналы в цементном камне, а также эксцентриситет колонны в стволе скважины.

Для исследования скважин, обсаженных обсадной колонной, диаметром 146 и 168 мм применяют цементометр ЦМТУ-1. Его скважинный прибор имеет блок индикаторов, состоящий из трех разрядных счетчиков, симметрично расположенных относительно оси (под углом 120°) на поверхности цилиндрического свинцового экрана, что обеспечивает одновременную регистрацию изменения интенсивности рассеянного гамма-излучения по трем образующим ствола скважины.

Для работы в обсадных колоннах диаметром 89—114 мм разработан и серийно выпускается прибор ЦММ-3-4 аналогичной конструкции.

Цементометр ЦФ-4, предназначенный для исследований в колоннах большого диаметра, имеет четыре башмака, прижимающихся при замере к стенке колонны. В башмаках в специальных пазах установлены четыре индикатора. По схеме прибор ЦФ-4 отличается от ЦМТУ-1 только наличием четвертого измерительного канала.

В последние годы выпускается более эффективный цементометр с синхронно вращающимися коллимационными излучателями и индикаторами, названный дефектомером.

Применение такого сканирующего устройства в этом приборе позволяет получать максимальную дифференциацию зарегистрированной диаграммы по плотности вещества в кольцевом пространстве и уменьшать влияние искажающих факторов.

Однако при исследовании скважин этими приборами наблюдается влияние толщины стенок труб обсадной колонны на их показания. Так, изменение толщины колонны на 1 мм приводит

к изменению показания цементомера на 10—20 %, что вызывает необходимость дополнительных измерений толщины стенок обсадных труб.

В связи с этим разработан двухканальный комплексный прибор СГДТ-2 (скважинный гамма-дефектомер-толщиномер), состоящий из дефектомера и радиоактивного измерителя толщины обсадных труб, действующего по тому же принципу, что гамма-цементомер, но использующий менее жесткое гамма-излучение и имеющий меньшее расстояние между излучателем и индикатором, коллимационные окна которых направлены под углом к оси прибора.

Сочетание в СГДТ-2 коллимационного сканирующего устройства с толщиномером позволяет при благоприятных геологических условиях определять с его помощью плотность вещества в затрубном пространстве с точностью до 0,1—0,2 г/см³ и выявлять каналы в цементном камне с площадью поперечного сечения, составляющей 2% от площади сечения кольцевого пространства. Цементомер же ЦМТУ-1 выделяет такие каналы с площадью не менее 10% от площади сечения затрубного пространства.

Основными ограничениями применения гамма-гамма-цементометрии являются:

1) необходимость существования значительной разницы как плотностей цементного камня и бурового раствора (не менее 0,3—0,5 г/см³), так и диаметров скважины и колонны (не менее 4—5 см);

2) работоспособность сцинтилляционного индикатора достаточно надежна лишь до температуры 80—100 °С, поэтому основное применение гамма-гамма-цементометры (особенно СГДТ-2) находят в районах сравнительно неглубокого бурения: в Татарии, Башкирии, Тюменской области и т. д.

В США при гамма-гамма-цементометрии используют в основном одноканальные приборы, регистрирующие суммарную интенсивность рассеянного излучения по периметру скважины и в связи с этим имеющие меньшую разрешающую способность, чем отечественные цементомеры.

III. Акустическая цементометрия является в настоящее время наиболее эффективным методом оценки качества цементирования скважин, так как позволяет определить, кроме границы цементный камень — буровой раствор, состояние контакта цементного камня с колонной и в некоторых случаях — с породой.

Акустическая цементометрия основана на зависимости характеристики акустических колебаний (скорости, амплитуды и частоты), попадающих из излучателя в приемник цементомера, от степени жесткости связи колонны с породой и упругости среды в заколонном пространстве.

В нашей стране наиболее широко используется для оценки качества цементирования акустический цементомер на трехжильном кабеле АКЦ-1, рассчитанный на давление до 60 МПа и температуру до 120—150 °С. Акустический цементомер АКЦ-2 рассчитан на температуру до 150—200 °С и давление до 100 МПа.

Для глубоких скважин разрабатываются и готовятся к серийному выпуску акустические цементомеры на одножильном кабеле АКЦ-4 (для давлений до 1200 МПа) и АКЦ-60 (для скважин глубиной до 7000 м).

С помощью неоднократных измерений акустическим цементомером можно исследовать процесс формирования во времени цементного камня за колонной, а также изучать влияние механических воздействий на колонну (перфорация, изменение давления в колонне и т. д.) на качество цементирования скважины.

Однако акустические цементомеры имеют ряд серьезных недостатков, не позволяющих в общем случае однозначно судить по их данным о качестве цементирования:

- 1) недостаточная информативность регистрируемых параметров, затрудняющая как оценку состояния контакта цементного камня с породой, так и учет искажающего влияния условий измерения в скважинах и аппаратурных факторов;

- 2) недостаточная разрешающая способность, не позволяющая выделять дефекты (каналы) в цементном камне с углом раскрытия по отношению к оси скважины менее 40°.

С целью повышения информативности акустической цементометрии в СССР и США разработаны приставки к наземной аппаратуре цементомера (в НИИморгеофизике — акустический кинорегистратор — АКР), позволяющие регистрировать полный акустический сигнал, попадающий в приемник цементомера. На основе интерпретации характеристик полного акустического сигнала достаточно уверенно оценивается состояние контакта цементного камня с породой и учитывается влияние искажающих факторов на результаты измерений.

Во ВНИИКРнефти совместно с НИИморгеофизикой создан комплексный фоторегистратор, регистрирующий одновременно на одной каротажной фотоленте цементограмму и изменение с глубиной скважины полного акустического сигнала в виде фазокоррелограммы.

С целью повышения разрешающей способности акустической цементометрии во ВНИИКРнефти разработано сканирующее устройство для акустического цементомера, позволяющее исследовать изменение контакта цементного камня с колонной по ее периметру и выявлять дефекты в цементном камне, не различаемые с помощью обычного цементомера.

Для обнаружения каналов в цементном камне за колонной в США разработана аппаратура акустического цементомера в

комплексе с нейтронным каротажем. Увеличение пористости кольцевого пространства по данным нейтронного каротажа служит дополнительным признаком наличия канала.

Комплексирование различных методов является одним из наиболее перспективных путей дальнейшего повышения эффективности как оценки качества цементирования, так и общего контроля качества крепления скважин.

IV. Испытание обсадных колонн на герметичность. Герметичность и прочность зацементированных обсадных колонн проверяются созданием внутреннего или внешнего избыточного давления, что в практике промысловых работ осуществляется нагнетанием в колонну жидкости или газа либо снижением уровня жидкости внутри колонны.

При этом кондуктор и промежуточные колонны, как правило, испытывают на герметичность созданием внутреннего гидравлического избыточного давления, а эксплуатационные колонны — созданием внутреннего избыточного давления и снижением уровня жидкости в колонне. Второй способ испытания эксплуатационных колонн на герметичность используют в качестве дополнительного (контрольного) в тех скважинах, в которых при опробовании и эксплуатации на устье не ожидается избыточное давление, а также во всех разведочных скважинах.

Избыточное давление при испытании обсадных колонн на герметичность должно быть на 20% выше внутреннего давления, принимаемого при расчете на прочность для конкретной колонны. В ряде случаев давление опрессовки при испытании на герметичность кондукторов и промежуточных колонн, на которых устанавливается противовыбросовое оборудование, регламентируют исходя из максимального ожидаемого давления на устье, которое возможно в процессе возникновения и ликвидации газодонефтепроявлений, выбросов или при выполнении других работ в скважине. Это давление устанавливают конкретно для каждого месторождения с учетом изученности геолого-технических условий района, характеристики противовыбросового оборудования и других факторов. Во всех случаях при испытании обсадных колонн на герметичность способом опрессовки избыточное внутреннее давление (за вычетом внешних) должно быть не менее указанных ниже величин.

Наружный диаметр колонны, мм	377—426	273—351	219—245	178—194	168	141—146	114—127
Избыточное внутреннее давление, не менее, МПа	50	60	70	75	90	100	120

Кондукторы и промежуточные колонны испытывают на герметичность до разбуривания цементных стаканов в колоннах.

В целях проверки герметичности зацементированного затрубного пространства после разбуривания цементного стакана и углубления на 1—2 м ниже башмака колонны проводят повторную опрессовку.

Для предупреждения гидроразрыва горных пород на участке расположения башмака колонны давление при повторном испытании на герметичность определяют из следующего выражения:

$$p_{оп} = p_{вн} - 0,1\rho H,$$

где $p_{оп}$ — давление испытания на устье, МПа; $p_{вн}$ — максимальное ожидаемое давление в скважине у башмака колонны (на глубине H) в случае выброса или фонтанирования скважины, МПа; ρ — плотность жидкости в колонне, г/см³.

При отрицательных расчетных значениях $p_{оп}$, а также в случае, если башмак колонны по техническим причинам расположен против проницаемых пород, вторичное испытание на герметичность не проводят. Возможность дальнейшего углубления скважины и вскрытия горизонтов, представляющих опасность с точки зрения выброса, в этом случае определяется руководством буровой организации. При поглощении жидкости в процессе повторного испытания проводят ремонтно-изоляционные работы в интервале башмака колонны.

Эксплуатационную колонну испытывают на герметичность после определения положения верхней границы цементного стакана, разбуривания его до установленной глубины (в случае необходимости) и замены бурового раствора водой.

Минимальная глубина снижения жидкости в эксплуатационной колонне при дополнительном испытании ее на герметичность в зависимости от глубины скважины указана ниже.

Глубина скважины, м	<500	500—1000	1000—1500	1500—2000	>2000
Минимальная глубина снижения уровня жидкости, м	400	500	650	800	100

В скважинах, которые пробурены с использованием бурового раствора плотностью 1,4 г/см³ и выше, вместо испытания эксплуатационной колонны методом снижения уровня жидкости (если таковое предусмотрено проектом) допускается лишь замена бурового раствора в колонне водой с последующим контролем положения уровня жидкости на устье.

При испытании на герметичность внутренним давлением обсадная колонна признается герметичной в этом случае, если создаваемое в ней давление в течение 30 мин сохраняется или снижается относительно опрессовочного давления не более чем на 0,5 МПа при опрессовочных давлениях выше 7 МПа и не более чем на 0,3 МПа при давлениях испытания ниже 7 МПа;

Таблица 40

Снижение уровня жидкости, м	Диаметр колонны, мм	
	114—219	>219
400	0,8	0,5
400—600	1,1	0,8
600—800	1,4	1,1
800—1000	1,7	1,3
>1000	2,0	1,5

наблюдения за характером изменения при этом необходимо начинать через 5 мин после создания в колонне заданного давления испытания.

При испытании способом снижения уровня обсадная колонна считается герметичной в том случае, если повышение уровня жидкости по истечении 8 ч наблюдения не превышает величин, указанных в табл. 40.

В целях исключения влияния объема стекаемой со стенок колонны жидкости наблюдение за уровнем начинают через 3 ч после его снижения. Контрольные замеры уровня жидкости в колонне проводят через каждые 2 ч.

Если в течение 8 ч наблюдения сниженный уровень жидкости внутри колонны поднимается на величину, которая превышает допустимые нормы, то замер повторяют; если при повторной проверке уровень также поднимается выше допустимой нормы, то обсадная колонна считается негерметичной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аветисов А. Г., Кошелев А. Т., Крылов В. И. Ремонтно-изоляционные работы при бурении нефтяных и газовых скважин. — М.: Недра, 1981.
2. Ашрафьян М. О. Технология разобщения пластов в осложненных условиях. — М.: Недра, 1989.
3. Булатов А. И. Формирование и работа цементного камня в скважинах. — М.: Недра, 1990.
4. Булатов А. И., Аветисов А. Г. Справочник инженера по бурению. Т. I и II. — М.: Недра, 1985.
5. Булатов А. И., Мариампольский Н. А. Регулирование технологических показателей тампонажных растворов. — М.: Недра, 1988.
6. Логвиненко С. В. Цементирование нефтяных и газовых скважин. — М.: Недра, 1986.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава I. Способы цементирования обсадных колонн	9
Способы первичного цементирования	9
Способы повторного (исправительного) цементирования	24
Ремонтные и ремонтно-восстановительные работы в скважинах	26
Контрольные вопросы	29
Глава II. Технология цементирования скважин	29
Реологические свойства растворов	30
Понятие о режимах движения растворов	34
Подготовка ствола скважины к креплению и цементированию	36
Определение конфигурации и объема ствола скважины	40
Повышение качества цементирования скважин	45
Контрольные вопросы	51
Глава III. Цементировочные агрегаты и цементно-смесительные машины	51
Цементировочные агрегаты	51
Цементировочные агрегаты в специальном исполнении	63
Совершенствование цементировочных агрегатов	63
Цементно-смесительные машины	68
Станция контроля и управления процессом цементирования и самоходный блок	78
манифольда	81
Схемы расчета процесса цементирования скважин	102
Контрольные вопросы	
Глава IV. Условия цементирования и требования к качеству цементных растворов и камня	103
Температура и давление в скважинах	104
Пластовые воды	107
Требования к качеству тампонажного раствора и камня	108
Контрольные вопросы	116
Глава V. Состав портландцемента и его основные свойства	116
Классификация тампонажных цемента и растворов	116
Тампонажный портландцемент	118
Состав клинкера	119
Количественные характеристики клинкера	121
Коэффициент насыщения и модуль портландцемента	121
Расчетный и действительный минералогические составы клинкера портландцемента	122
Свойства сухого цементного порошка	125
Активные минеральные добавки к вяжущим веществам	126
Тепловыделение при твердении тампонажных растворов	128
Контрольные вопросы	143
Глава VI. Свойства цементного раствора и камня	143
Иментационная устойчивость цементных растворов	144
отдача цементного раствора	144
створение цементного раствора	146
схватывания цементного раствора	147
тампонажного раствора	149
уровых и тампонажных растворов	150
ый эффект при гидратации цемента и твердении раствора	151
прочность тампонажного камня	153
ментного камня	155
ентного камня с металлом обсадных труб и породами	157
ения тампонажных цемента (раствора и камня)	159
осы	162
Тампонажный цемент	163
в цемента	163
ия к доменным гранулированным шлакам коксовой плавки	164
ия к тампонажному цементу	166
ой густоты и сроков схватывания цементного теста	168
ности изменения объема цемента	172
прочности при изгибе и сжатии образцов-балочек, изготов-	
растворов	176
нение	181
ги цементного камня	182
	184
Регулирование свойств цементного раствора и цементного	184
Замедлители сроков схватывания цементных растворов	185
Контрольные вопросы	192
	335

Глава IX. Тампонажные цементы для высокотемпературных скважин	192
Цементно-песчаные смеси	192
Шлакопесчаные цементы	200
Шлакопесчаные цементы для крепления скважин с забойной температурой выше 200 °С и давлениями до 100 МПа	206
Шлакопесчаные цементы с использованием песка естественной крупности	206
Тампонажные цементы на базе ферромарганцевого шлака	208
Шлакопортландцементы	208
Известково-песчаные растворы	212
Белитокремнеземистый цемент	214
Контрольные вопросы	215
Глава X. Цементы для растворов пониженной плотности и утяжеленные цементы	216
Облегченные тампонажные растворы с тонкомолотыми кремнеземистыми добавками	222
Облегченные шлаковые растворы	223
Алигитовый цемент и тампонажный облегченный материал	225
Утяжеленные цементные растворы	226
Утяжеленные шлаковые растворы	231
Аэрированные цементные растворы	231
Контрольные вопросы	235
Глава XI. Цементные растворы, затворенные на концентрированных растворах солей	235
Растворение солевых пород в тампонажных растворах	236
Приготовление засоленных тампонажных растворов	237
Влияние солей на реологические свойства тампонажных растворов	240
Водоотдача засоленных тампонажных растворов	241
Сцепление цементного камня с солями	241
Коррозия камня из тампонажного цемента	242
Особенности цементирования скважин в зоне многолетнемерзлых пород (МЛМП)	243
Контрольные вопросы	247
Глава XII. Тампонажные материалы для борьбы с поглощениями бурового раствора	247
Тампонирующие смеси для борьбы с поглощениями при бурении	249
Быстросхватывающиеся смеси	250
Гельцементы	251
Особенности процесса схватывания быстросхватывающихся тампонажных смесей	252
Подбор состава смесей	252
Контрольные вопросы	254
Глава XIII. Специальные тампонажные цементы и растворы	254
Коррозионно-стойкие тампонажные цементы	254
Расширяющиеся тампонажные цементы	262
Тампонажные материалы на основе высокопрочного гипса	262
Гидрофобные цементы	263
Дисперсно-армированные тампонажные цементы	264
Обращенные нефтеэмульсионные тампонажные растворы	265
Нефтецементные растворы	270
Органические и органоминеральные материалы для цементирования скважин	272
Контрольные вопросы	274
Глава XIV. Техника и сооружения для транспортирования, смешения и хранения тампонажных материалов	288
Правила хранения тампонажных материалов	288
Устройство, принцип действия и техническая характеристика прирельсового низированного склада для хранения тампонажного цемента	293
Установка Грознефти для приготовления сухих тампонажных смесей	295
Установка Краснодарнефтегаза для приготовления тампонажных смесей	298
Лабораторный контроль тампонажных материалов	299
Контрольные вопросы	300
Глава XV. Организация процесса цементирования. Осложнения и техника безопасности при цементировании скважин	309
Организация процесса цементирования	309
Осложнения при цементировании скважин	314
Техника безопасности при погрузочно-разгрузочных работах с сыпучими и пылящими материалами	320
Техника безопасности при цементировочных работах	322
Применение радиоактивных изотопов	325
Работа в газовой среде с химикатами	325
Правила безопасности при работе в зимнее время	326
Контрольные вопросы	327
Глава XVI. Контроль качества цементирования скважин	327
Список литературы	334