

## Глава 6

---

# а Äí Öê à Äã õ à ï à à à ó Ö ë ä à Ö ê Ö Ä É Ö ç í õ Ñ ä ü í Ä à è é ç Ä Ü ç õ ï ê Ä ë í Ç é ê é Ç

Раствор, получаемый после затворения тампонажного цемента водой (или иной жидкостью), обработанной химическими реагентами (или без них) для повышения качества раствора и камня или облегчения проведения технологического процесса, называют тампонажным.

### § 1. ТАМПОНАЖНЫЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

Под тампонажным цементом понимается продукт, состоящий из смеси тонкомолотых вяжущих веществ (портландцемент, шлак, известь и др.), добавок минеральных (кварцевый песок, опока, диатомит, цеолит, трепел, глина, шлак и др.) или органических (резиновая крошка, нефтяной кокс, кероген Т и др.), после затворения которого водой получают раствор, а затем камень.

В зависимости от вяжущей основы тампонажные цементы подразделяются на несколько видов: тампонажный цемент на базе портландцемента, тампонажный цемент на базе доменных шлаков, белитокремнеземистый цемент, известково-песчаные смеси, прочие на минеральной основе (гипсовые, на основе природных минералов и горных пород) и органические крепители.

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

Кремнезем способствует образованию силикатов кальция и алюминия, придает цементу гидравлические свойства, т.е. способность затвердевать, длительное время работать в водной среде. Увеличение содержания SiO<sub>2</sub> приводит к некоторому замедлению сроков схватывания тампонажных растворов в комнатных условиях и повышает сульфатостойкость цементного камня.

Глинозем способствует ускорению сроков схватывания цементного раствора, но понижает прочность камня.

Увеличение количества оксида железа в цементе приводит к замедлению процессов схватывания тампонажных растворов и снижает раннюю прочность цементного камня.

В качестве примесей в портландцементе содержатся еще некоторые оксиды.

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 вступает во взаимодействие с водой в то время, когда раствор уже затвердел.

Свободный, т.е. химически не связанный, оксид кальция – вредная составляющая, процесс его гидратации протекает с увеличением объема твердой фазы. Для предотвращения указанных отрицательных последствий содержание свободного оксида кальция не должно превышать 1 %.

При обжиге оксидов до температуры спекания (около 1450 °С) они, вступая во взаимодействие друг с другом, образуют искусственные минералы, называемые клинкерными.

К минералам-силикатам относятся трехкальциевый  $3CaO \times SiO_2(C_3S)$  и двухкальциевый  $2CaO \cdot SiO_2(C_2S)$  силикаты

К минералам-плавням относятся следующие соединения: трехкальциевый алюминат  $3CaO \cdot Al_2O_3(C_3A)$ , пятикальциевый триалюминат  $5CaO \cdot 3Al_2O_3(C_5A_3)$ , однокальциевый алюминат  $CaO \cdot Al_2O_3(CA)$ , четырехкальциевый алюмоферрит  $4CaO \times Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 (C_4AF)$ , однокальциевый феррит  $CaO \cdot Fe_2O_3$ , двухкальциевый феррит  $2CaO \cdot Fe_2O_3 (C_2F)$ , минерал Торопова  $46CaO \cdot 16Al_2O_3 \cdot 7Fe_2O_3$ .

Кроме минералов, в силикатном цементе содержится стекловидная масса, представляющая собой эвтектический расплав, из которого не успели выделиться минералы ввиду быстрого охлаждения цементного клинкера. Содержание этой массы 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. Белит представляет собой одну из модификаций двухкальциевого силиката ( $2CaO \cdot SiO_2$ ). Промежуточное вещество состоит в основном из целита (алюмоферрит кальция) и заполняет промежутки между кристаллами алита и белита.

Свойства тампонажных портландцементов определяются в значительной степени важнейшими соединениями, 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  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\text{C}_4\text{AF}$ ).

#### **АКТИВНЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ДОБАВКИ К ВЯЖУЩИМ ВЕЩЕСТВАМ**

При производстве тампонажных портландцементов применяются активные добавки. Согласно ОСТ 21-9-81, активными минеральными добавками называются вещества (природные и искусственные), которые при смешении в тонкоизмельченном виде с воздушной известью и при затворении водой образуют тесто, способное после твердения на воздухе продолжать твердеть и под водой.

Активные минеральные добавки разделяются на две группы: I – природные (естественные), II – искусственные.

I группа:

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 цементированные вулканические породы;

в) пемзы – камневидные породы, характеризующиеся пористым губчатым строением (вспученное вулканическое стекло);

г) трассы – метаморфизованные разновидности вулканических туфов.

II группа:

а) кремнеземистые отходы — отходы, богатые кремнекислотой, полученные при извлечении глинозема из глины;

б) обожженные глины — продукт искусственного обжига глинистых и самовозгорающихся пород в отвалах пустых шахтных пород (глинистые и углистые сланцы);

в) топливные золы и шлаки — побочный твердый продукт, образующийся в процессе сжигания 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.

## **§ 2. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТАМПОНАЖНЫЕ ЦЕМЕНТЫ**

Широкое разнообразие геолого-технических условий в отечественной практике бурения и крепления скважин вызывает необходимость разработки специальных тампонажных цементов.

### **ШЛАКОПЕСЧАНЫЕ ЦЕМЕНТЫ**

Вязущим материалом в шлакопесчаных цементах служит шлак, активность которого повышается с ростом температуры, а замедлителем — кварцевый или кварцево-магнетитовый песок.

Доменные шлаки, давно применяемые в строительной практике, по химическому составу приближаются к портландцементному клинкеру, отличаясь от него обычно меньшим содержанием оксида кальция.

В строительной промышленности существует несколько различных видов вяжущих материалов на базе доменных шлаков. Доменные шлаки, как основные, так и кислые, применяют в цементной промышленности главным образом в гранулированном виде.

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.

Доменный шлак — это неметаллический продукт, состоящий в основном из силикатов и алюминатов кальция. Он 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 — комовый. Высокую гидравлическую активность доменный шлак приобретает при очень быстром охлаждении или грануляции водой. Медленно охлаждаемый шлак успевает до некоторой степени закристаллизоваться, и его гидравлические свойства снижаются.

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, магнезия ( $MgO$ ) благоприятно влияет на гидравлические свойства и заменяет известь. Избыточное количество  $MgO$  вызывает увеличение объема камня.

Для получения тампонажных цементов могут быть использованы как гранулированные, так и комовые шлаки, однако первым следует отдавать предпочтение, особенно при температуре до  $150\text{ }^\circ\text{C}$ .

Чем больше модуль активности  $Ma = Al_2O_3/SiO_2$ , тем выше гидравлические свойства и прочность камня. По ГОСТ 3476—74 требуется, чтобы модуль активности основных шлаков был не менее 0,17, а кислых — не менее 0,33.

Согласно стандарту, рекомендуется проверять качество шлака и по модулю основности  $Mo = (CaO \cdot MgO)/(SiO_2 \times Al_2O_3)$ , который для основных шлаков должен быть равным не менее 1, для кислых — не менее 0,65.

Однако во многих случаях гранулированные основные шлаки, имея близкие химические составы, дают совсем разные по тампонажным характеристикам растворы. Важное

значение для получения тампонажных цементов имеют степень и режим грануляции, условия хранения, температура шлака и др. Большинство гранулированных доменных шлаков мало отличается по плотности; все они легче портландцемента.

#### **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 замедленны, а увеличение механической прочности происходит за большой промежуток времени, тогда как при повышенных температурах указанные процессы активизируются. Так, шлакопесчаный раствор состава 1 : 1 при количестве воды, подобранном по конусу АзНИИ до расплава 16–17 см, твердеет при комнатной температуре, останется жидким в течение 5–6 сут. Масса шлакопесчаного раствора при твердении не расслаивается.

Активность смесей возрастает с увеличением температуры. Некоторые шлаки сразу после помолы при испытании в воде с температурой 75 °С схватываются ускоренно за 1,5–3 ч, что позволяет применять их в скважинах с указанной температурой. Шлакопесчаный цемент в отличие от портландцемента не подвержен интенсивному загустеванию в течение значительного времени после затворения.

С увеличением количества песка в смеси сроки схватывания замедляются. Кварцево-магнетитовый песок по сравнению с кварцевым приводит к несколько большему замедлению. С увеличением количества песка в смеси (до 30–40 %) наблюдается рост прочности. При большей дозировке песка в обоих случаях отмечается ее снижение. Проницаемость образцов при температуре 90 °С близка к нулю, тогда как проницаемость образцов из чистого шлака достигает  $(10 \div 15) \times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>.

Увеличение температуры до 100–130 °С приводит к ускорению сроков схватывания и повышению механической прочности.

Сроки схватывания растворов наступают значительно раньше, чем при температуре 75–90 °С, и без добавления песка в смесь эти растворы часто не пригодны для цементирования.

рования скважин. При более высоких температурах и давлениях сроки схватывания растворов из чистых гранулированных шлаков свежего помола наступают, как правило, очень быстро и для цементирования скважин следует применять их смеси 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 построен график (рис. 6.1), на котором показана зависимость сроков схватывания растворов от дозировки песка. Кривые, построенные на основании результатов приблизительно 700 анализов, дают качественную оценку шлакопесчаных смесей вообще как тампонажных растворов и позволяют судить о возможности применения их при температуре 150 °С и давлении 50 МПа. По данным опытов построены кривые (рис. 6.2), устанавливающие изменение пределов прочности на изгиб и сжатие шлакопесчаных образцов, выдержанных в течение 2 сут, при введении раз-



Рис. 6.1. Зависимость сроков схватывания шлакопесчаных растворов от содержания песка ( $t = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 50\text{ МПа}$ ): I – области применения начала и конца схватывания; II – усредненные значения; 1, 2 – начало и конец схватывания

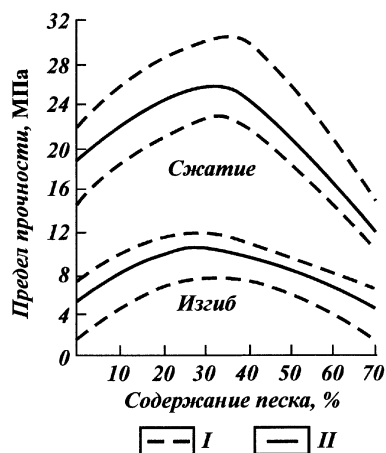


Рис. 6.2. Зависимость механической прочности шлакопесчаного камня от содержания песка ( $t = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 50\text{ МПа}$ ): I – области сжатия и изгиба; II – усредненные значения

личных дозровок песка. В данном случае использовали те же шлаки, что и при установлении сроков схватывания. Песок способствует интенсивному повышению прочности, и при наличии его в смеси в количестве 20–40 % предел прочности двухсуточных образцов достигает максимального значения. Последующее прибавление песка уменьшает прочность камня.

В условиях действия температур до 200 °С и давлений по 50–70 МПа для получения шлакопесчаных растворов со сроками схватывания, приемлемыми для практики цементирования глубоких скважин, содержание песка должно быть повышено до 30–70 %.

Механическая прочность шлакопесчаного камня двухсуточного возраста при температуре 200 °С и давлении 50 МПа изменяется аналогично прочности образцов при температуре 150 °С и давлении 50 МПа, но максимум ее несколько сдвигается в сторону повышенной дозировки. Отдельные шлакопесчаные образцы, твердевшие при температуре 200 °С и давлении 70 МПа, имели 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 °С и давлении около 40 МПа, также были непроницаемыми.

#### **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.

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.

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 — не более 3 ч.

#### **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 увеличивается ориентировочно до 1 ч 30 мин. При использовании шлакопесчаного цемента совместного помола начало схватывания удлиняется до 4 ч.

Эффект замедления сроков схватывания растворов из шлакопесчаных цементов совместного помола наблюдается при температуре до 200–250 °С и давлении 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.

#### **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, а также от 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. Прочность при этом вначале несколько повыша-

ется, затем незначительно падает, но в общем изменение давления не оказывает заметного влияния на прочность образцов шлакопесчаного камня двухсуточного возраста.

При температуре до 200 °С увеличение удельной поверхности шлака способствует возрастанию двухсуточной прочности шлаковых образцов.

#### **ПОКАЗАТЕЛЬ ФИЛЬТРАЦИИ ШЛАКОВЫХ РАСТВОРОВ**

К одному из существенных недостатков шлакопесчаных растворов следует отнести быстрое отстаивание воды. Показатель фильтрации шлакопесчаных растворов может быть улучшен 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 показатель фильтрации раствора, и при некотором ее количестве вода практически не отделяется.

Введение бентонитовой глины в шлакопесчаные цементы способствует также снижению плотности раствора вследствие увеличения количества воды.

### **§ 3. ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТЫ**

Для успешного использования шлаковых и шлакопесчаных цементов при температуре ниже 100–120 °С необходимо вводить интенсификаторы твердения, к которым относится портландцемент. В табл. 6.1 приведены данные об изменении сроков схватывания шлаковых растворов с различным содержанием тампонажного портландцемента.

Шлаковый раствор при температуре 22 °С весьма медленно схватывается. Добавление 10 % портландцемента приводит к резкому сокращению сроков схватывания раствора, причем основную роль при этом играет портландцемент. Дальнейшее увеличение его дозировки способствует незначительному последовательному ускорению сроков схватывания, в связи с чем целесообразно повышать его количество. С возрастанием температуры до 75 °С активность шлака увеличивается и добавка 30 % портландцемента приводит к ускорению сроков схватывания, что объясняется в основном сроками схватыва-

ния раствора из портландцемента: чем быстрее схватывается портландцемент, тем интенсивнее схватывается смесь.

Механическая прочность смесей приведенных составов изменяется в зависимости от количества вводимого портландцемента. Сроки схватывания шлакопортландцементного раствора будут несколько замедленные сроков схватывания растворов из портландцемента. С увеличением дозировки портландцемента проницаемость шлакопортландцементных образцов уменьшается.

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

#### Таблица 6.1

**Изменение сроков схватывания шлакопортландцементных смесей при температуре 22 °С**

Массовая доля компонентов 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

#### Таблица 6.2

**Физико-механические свойства шлакопортландцементных образцов, твердеющих при температуре 75 °С**

Массовая доля компонентов раствора, %			Предел прочности, МПа, образцов, выдержанных в течение			
Шлак липецкий	Портланд- цемент	Вода	2 сут		10 сут	
			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
70	30	44	4,6	16,9	5,6	20,2
60	40	44	5,3	20,9	6	20,7
50	50	43	5,9	22,1	6,3	22,1
40	60	42	6	22,3	6,9	23
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	41,9	–	–

смесей регламентируются в основном сроками схватывания портландцемента и наступают, как правило, очень быстро.

Механическая прочность шлакопортландцементных образцов при твердении в условиях действия температуры 75 °С с возрастом увеличивается, если в смесь введено до 60 % портландцемента (табл. 6.2).

#### НОМЕНКЛАТУРА СПЕЦИАЛЬНЫХ ТАМПОНАЖНЫХ ЦЕМЕНТОВ

Классификация тампонажных материалов представлена на рис. 6.3. Большинство специальных тампонажных цементов (табл. 6.3) разработано во ВНИИКРнефти, а их выпуск освоен Константиновским и Ильским заводами утяжелителей.

Шлакопесчаные цементы совместного помола в зависимости от назначения выпускают двух видов: ШПЦС-120 и ШПЦС-200. Цемент ШПЦС-120 отличается от ШПЦС-200 повышенной активностью за счет добавки портландцемента.

Утяжеленные цементы подразделяются в зависимости от назначения и плотности получаемого из них раствора. По назначению они делятся на утяжеленные цементы для нормальных и умеренных температур (УЦГ-1, УЦГ-2) и для повышенных и высоких (УШЦ1-120, УШЦ2-120, УШЦ1-200, УШЦ2-200).

Шифры цементов: ШПЦС – шлакопесчаный цемент совместного помола; УЦГ – утяжеленный тампонажный цемент; УШЦ – утяжеленный шлаковый цемент. Первая цифра (1 или 2) после буквенного обозначения указывает на вид цемента в зависимости от плотности получаемого из них раствора. Цементы первого вида (УЦГ-1, УШЦ1-120, УШЦ1-200) имеют плотность раствора в пределах 2,06–2,15 г/см<sup>3</sup>, второго (УЦГ-2, УШЦ2-120, УШЦ2-200) – 2,16–2,3 г/см<sup>3</sup>. Последнее число в шифре цементов обозначает температуру испытания цемента по техническим условиям. Так, цементы ШПЦС-120, УШЦ1-120 и УШЦ2-120 испытывают при температуре 120 °С и давлении 40 МПа; ШПЦС-200, УШЦ1-200 – при температуре 200 °С и давлении 60 МПа; цементы УЦГ-1 и УЦГ-2 – при температуре 75 °С и атмосферном давлении.

Специальные тампонажные цементы изготавливают совместным измельчением вяжущей основы, утяжеляющей, активизирующей и других добавок или отдельным измельчением с последующим смешением указанных компонентов.

Специальные цементы отличаются от применяемых в настоящее время тампонажных смесей однородностью грану-

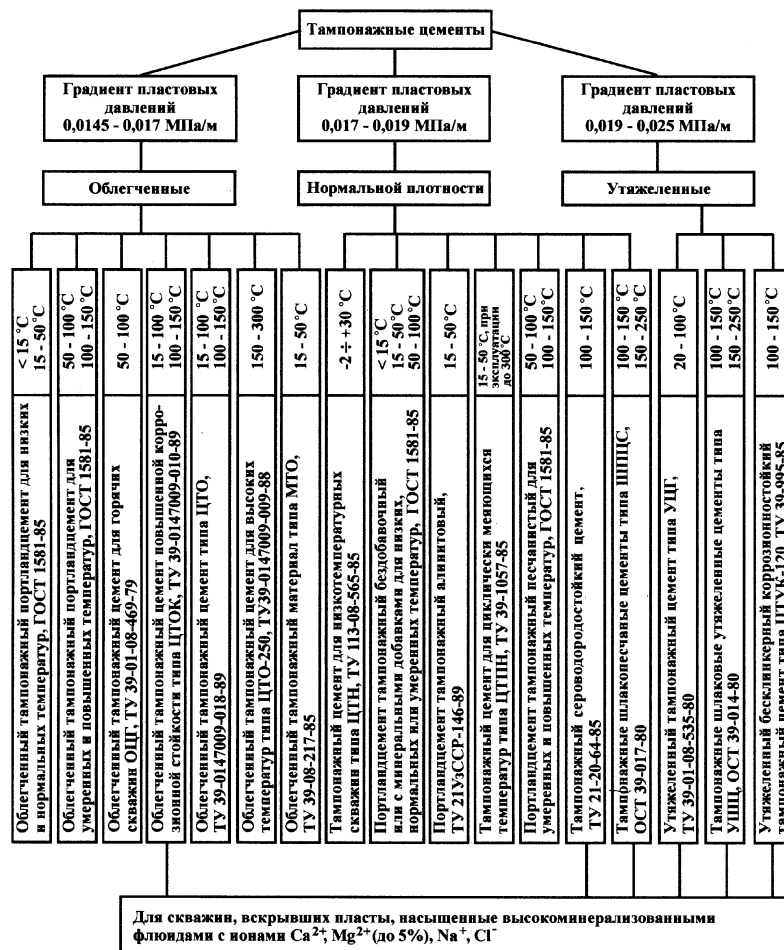


Рис. 6.3. Номенклатура и область применения тампонажных цементов

лометрического состава, повышенными физико-механическими свойствами, высокой термостойкостью; при их использовании исключается необходимость приготовления сухой смеси в промысловых условиях.

Физико-механические свойства раствора и камня из этих цементов приведены в табл. 6.4. Для регулирования сроков схватывания кроме указанных в таблице могут применяться

### § 6.3

#### Основная характеристика специальных тампонажных цемента

Марка цемента	Водоцементное отношение	Растекаемость, по конусу АзНИИ, см	Плотность (средняя), г/см <sup>3</sup>	Температурные пределы применения, °С	
				рекомендуемые	допустимые
ШПЦС-120	0,45	18–20	1,8–1,83	100–150	40–160
ШПЦС-200	0,4	18–20	1,78–1,83	150–250	100–250
УЦГ-1	0,35	20–21	2,06–2,15	20–100	20–100
УЦГ-2	0,32	20–21	2,16–2,3	20–100	20–100
УШЦ1-120	0,35	19–22	2,06–2,15	100–150	40–160
УШЦ2-120	0,32	19–20	2,16–2,3	100–150	40–160
УШЦ1-200	0,35	20–23	2,06–2,15	150–250	100–250
ОЦГ	0,95–1,05	20–24	1,4–1,5	50–100	30–120

следующие известные замедлители: ОЭДФ, НТФ, КМЦ, СВК, ВКК, нитролигнин, гуматы, дубители, окзил, КССБ, Л-6, Л-7 и др. Цементы затворяют пресной или слабоминерализованной водой при цементировании в обычных отложениях или насыщенным раствором хлорида натрия в соленосных отложениях. При затворении цемента на насыщенном растворе поваренной соли плотность раствора увеличивается примерно на 0,1 г/см<sup>3</sup>.

Газопроницаемость камня из специальных цемента при температуре твердения от 20 до 100 °С не превышает  $2 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>.

Перед каждым цементированием проводят лабораторные испытания проб цемента для уточнения рецептуры тампонажного раствора.

В б. ВНИИКРнефти разработаны облегченные шлаковые магнезиальные цементы. В качестве вяжущего вещества использован доменный основной шлак Константиновского завода, облегчающая добавка – палыгорскит. Цемент ОШЦ-200 – это смесь шлака с палыгорскитом в соотношении 4 : 1, ОШЦ-120 – та же смесь с добавкой 1,5 % портландцемента к массе смеси. Пределы прочности камня, хранившегося в растворе хлорида магния, из цемента ОШЦ-120 и ОШЦ-200 приведены ниже.

Время твердения образца, сут .....	2	3	90	180	270	360
Предел прочности на сжатие, МПа, образцов цемента:						
ОШЦ-120 .....	0,7	7,4	8,6	9,5	9,8	13,1
ОШЦ-200 .....	0	2,6	4,7	4,9	5,7	6,4

§ 6.4

Физико-механические свойства раствора и камня из специальных цемента

Марка цемента	Добавка замедлителей, % (от массы цемента)			Водо-цементное отношение	Растекаемость, см	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Условия испытания		Сроки схватывания, ч		Прочность, через 2 сут, МПа	
	ССБ	Гипан	Хромпик				Температура, °С	Давление, МПа	начало	конец	на изгиб	на сжатие
ШПЦС-120	—	—	—	0,43	18—20	1,8—1,82	40	—	7—9	9—13	1,5—2,5	3—6
	0,05—0,1	—	0,05—0,1		18—22	1,8—1,82	80	30	3—5	5—9	2,5—4	6—10
	0,15—0,3	—	0,15—0,3		20—23	1,78—1,81	120	40	3—6	5—9	3—5	8—14
	0,4—0,5	—	0,4—0,6		22—24	1,78—1,81	160	60	4—6	5—8	5—7	15—25
	—	0,15	0,15		20—22	1,8—1,82	160	60	4—6	5—8	4—6	13—20
ШПЦС-200	0,1	—	0,1	0,4	18—21	1,81—1,82	100	30	3—5	5—8	2—3	4—6
	0,3—0,5	—	0,3—0,5		22—24	1,78—1,81	160	60	3—6	5—8	5—6	12—16
	—	0,2—0,3	0,1—0,3		20—22	1,8—1,82	160	60	4—7	6—10	4—5	10—15
	—	0,5—0,6	0,3—0,5		20—22	1,8—1,82	220	70	4—7	6—10	5—8	15—25
	—	0,5—1	0,5—1		20—22	1,8—1,82	235	80	4—7	6—10	5—9	15—30
	—	0,6—1	0,5—1		20—22	1,8—1,82	250	100	3—5	6—9	6—10	25—35
УЦГ-1	—	—	—	0,35	20—21	2,1—2,12	20	—	6—10	9—13	1,5—2	3—5
	0,1—0,3	—	—		21—23	—	75	20	4—7	6—10	2,4—4,5	6—11
	0,3—0,5	—	0,3—0,5		22—24	—	100	40	3—5	5—8	4—5	10—12
УЦГ-2	—	—	—	0,33	19—21	2,2—2,23	20	—	6—10	9—13	1,5—2	3—5
	0,1—0,3	—	—		21—23	—	75	20	4—7	6—10	2,5—4,5	6—11
	0,3—0,4	—	0,3—0,4		22—24	—	100	40	3—5	5—8	4—5	10—12

УШЦ1-120	—	—	—	0,34	19-20	2,1-2,13	40	—	6-8	9-12	1,5-2,5	3-5
	0,05-0,1	—	—		20-21		80	20	3-5	5-8	3-4	6-10
	0,15-0,3	—	0,15-0,3		21-23		120	40	3-6	5-9	3,0-5	8-14
	0,4-0,5	—	0,4-0,8		22-24		160	70	4-6	5-8	5,0-7	15-25
	—	0,15	0,15		20-23		160	70	4-6	5-8	4,0-6	12-20
УШЦ2-120	—	—	—	0,32	19-20	2,2-2,22	40	—	6-8	9-12	1,5-2,5	3-5
	0,5-0,1	—	—		20-21		80	20	3-5	5-8	2-4	6-10
	0,1-0,3	—	0,1-0,3		21-23		120	40	3-6	5-9	3-5	8-14
	0,4-0,5	—	0,4-0,8		22-24		160	70	4-6	5-8	5-7	15-25
	—	0,1-0,15	0,1		20-22		160	70	4-6	5-8	4-6	12-20
УШЦ1-200	0,1	—	0,1	0,34	20-21	2,1-2,12	100	20	3-5	5-8	2-3	4-6
	0,1-0,5	—	0,3-0,5		22-24		160	60	3-6	5-8	5-6	12-16
	—	0,1-0,25	0,1-0,15		20-22		160	60	4-7	6-10	4-5	10-14
	—	0,5-0,6	0,6-0,6		20-22		220	80	4-7	6-10	5-6	13-20
	—	0,6-1	0,5-1		20-22		250	100	3-5	6-9	6-8	18-25
УШЦ2-200	0,1	—	0,1	0,32	20-21	2,2-2,22	100	20	3-5	5-8	2-3	4-6
УШЦ-200	0,3-0,5	—	0,3-0,5		22-24		160	60	3-5	5-8	5-6	12-16
	—	0,2-0,3	0,1-0,3		20-22		160	60	4-7	6-10	4-5	10-14
	—	0,6-1	0,6-1		20-22		220	80	4-7	6-10	5-6	13-25
	—	0,6-1	0,6-1		20-22		250	100	3-5	6-9	6-8	13-25

Облегченные шлаковые цементы на основе гранулированного доменного шлака и палыгорскита устойчивы против магниальной коррозии, термостойки и могут быть рекомендованы для изоляции соленасыщенных водоносных горизонтов, а также отложений бишофита и карналлита в нефтяных и газовых скважинах при высоких температурах и давлениях. Для повышения начальной прочности цементного камня и регулирования сроков схватывания раствора рекомендуется увеличить количество портландцемента до 5–10 % и ввести в жидкость затворения КМЦ-500 в количестве 0,3–0,5 % от массы сухой смеси. В качестве среды затворения может быть рекомендован только насыщенный раствор хлорида магния.

#### § 4. **Тампонажный портландцемент**

ГОСТ 1571–91 распространяется на тампонажный портландцемент, предназначенный для цементирования нефтяных и газовых скважин, и состоит из нескольких самостоятельных разделов. В зависимости от назначения тампонажный портландцемент выпускают для низких (ниже 15 °С), нормальных (15–50 °С), умеренных (50–100 °С) и повышенных (100–150 °С) температур.

При испытании тампонажного портландцемента с целью определения его физико-механических свойств применяют цементное тесто, при приготовлении которого массовая доля воды составляет 50 %. Пределы прочности при изгибе образцов-балочек размером 40 × 40 × 160 мм, стандартно изготовленных из цементного теста, через 2 сут их твердения должны соответствовать указанным ниже значениям.

Тампонажный портландцемент.....	Для низких и нормальных температур	Для умеренных температур
Температура твердения, °С.....	22 ± 2	75 ± 3
Срок твердения, ч.....	48 ± 1	24 ± 1
Предел прочности при изгибе, МПа	2,7	3,5

Цементное тесто должно обладать такой растекаемостью, при которой расплав образцов в виде конуса из этого теста составил бы не менее 180 мм.

Сроки схватывания тампонажных цементов указаны ниже.

Тампонажный портландцемент.....	Для низких и нормальных температур	Для умеренных температур
Сроки схватывания (после затворения), ч – мин:		
начало (не ранее).....	2–00	1–45
конец (не позднее).....	10–00	5–00

Количество сернистого ангидрида  $SO_3$  в цементе не должно превышать 3,5 %, а количество оксида магния  $MgO$  в исходном клинкере – 5 %. Тонкость помола цемента должна быть такой, чтобы при просеивании сквозь сито № 008 (размеры стороны ячейки в свету 0,08 мм) проходило не менее 85 % массы пробы цементов для низких и нормальных температур и не менее 80 % – для умеренных и повышенных температур.

Тампонажный портландцемент должен быть забракован, если он не отвечает хотя бы одному из требований стандарта.

При испытании каждой пробы тампонажного цемента определяют тонкость помола, растекаемость, плотность, время загустевания, сроки схватывания цементного теста и предел прочности камня при изгибе и сжатии.

*Тампонажный цемент для низкотемпературных скважин типа ЦТН.* ЦТН представляет собой гидравлическое вяжущее вещество, полученное тщательным смешением альфа-полугидрата сульфата кальция (70–80 %), портландцемента (20–30 %) и регулятора твердения (0,2–0,5 %).

Альфа-полугидрат сульфата кальция (высокопрочный гипс) получают при гидробаротермальной обработке фосфогипса в щелочной среде в присутствии регуляторов кристаллизации полугидрата, последующей сушки и тонкого измельчения до удельной поверхности 4500–6000  $см^2/г$ .

Добавка портландцемента обеспечивает стойкость камня из ЦТН при длительном твердении в пресной и минерализованных пластовых водах за счет уменьшения растворимости гипса и образования в процессе гидратации труднорастворимых гидросиликатов кальция, блокирующих активные центры кристаллогидратов сульфата кальция.

Использование эффективных регуляторов твердения (белково-содержащих веществ микробиологического синтеза), не замедляющих скорость гидратации клинкерных минералов, позволяет получить необходимую подвижность тампонажного раствора при сохранении высокой скорости набора прочности в условиях низких температур.

Применение ЦТН упрощает технологию приготовления тампонажного раствора за счет исключения введения ускорителей схватывания. Тампонажный раствор из ЦТН совместим со всеми типами применяемых буровых растворов и буферных жидкостей, смешение ЦТН с тампонажными портландцементами в количестве до 20–30 % практически не изменяет показатели раствора и камня.

Основные свойства тампонажного цемента для низкотемпературных скважин типа ЦТН представлены в табл. 6.5.

Тампонажный цемент типа ЦТН применяют для крепления кондукторов скважин в производственных объединениях Западной Сибири и Севера. Экономический эффект от применения ЦТН достигается за счет сокращения времени ОЗЦ.

*Портландцемент тампонажный песчанистый.* Этот цемент предназначен для цементирования нефтяных и газовых скважин.

Предел прочности при изгибе образцов-балочек размерами 40 × 40 × 160 мм, стандартно изготовленных из цементного теста, после твердения их в течение 2 сут должен соответствовать указанным ниже значениям.

Цемент .....	Для низких и нормальных температур	Для умеренных температур
Температура твердения, °С .....	22 ± 2	75 ± 3
Предел прочности при изгибе, МПа.....	2	4

Растекаемость цементного теста по конусу АзНИИ должна быть не менее 180 мм.

Сроки схватывания тампонажных растворов после затворения данного цемента должны быть следующими.

Цемент.....	Для низких и нормальных температур	Для умеренных температур
Сроки схватывания после затворения, ч – мин:		
начало (не ранее) .....	2–00	1–45
конец (не позднее).....	12–00	6–00

*Цемент тампонажный для циклически меняющихся температур типа ЦТПН.* Этот цемент предназначен для цементирования скважин со статическими температурами 15–50 °С на нефтяных месторождениях, разрабатываемых термическими методами (паронагнетание, закачивание горячей воды, создание внутрипластового движущегося очага горения и др.)

ЦТПН разработан в б. ВНИИКРнефти.

ЦТПН отличается повышенной стойкостью к воздействию циклически меняющихся температур (с амплитудой до 250 °С).

**Таблица 6.5**

**Свойства тампонажного раствора и камня из ЦТН**

Водоцементное отношение	Плотность раствора, г/см <sup>3</sup>	Растекаемость, см	Температура твердения, °С	Сроки схватывания, ч – мин		Прочность при изгибе, МПа, при времени хранения образцов в водных условиях				
				начало	конец	6 ч	24 ч	28 сут	1 год	3 года
0,42	1,8	18–19	20	1–10	1–30	2	2,6	3,1	3,6	4
			5	1–30	1–55	1,8	2,8	3,2	3,5	3,8
			0	1–40	2–10	1,6	2,6	3	3,4	3,7
0,46	1,75	20–22	–2	2–00	2–35	1,5	2,5	2,8	3,2	3,3
			20	1–40	2–00	1,8	2,4	2,8	3,4	3,8
			5	2–00	2–25	1,6	2,6	3	3,5	4
0,5	1,7	23–25	0	2–10	2–40	1,5	2,7	3	3,4	3,6
			–2	2–30	3–00	1,3	2,4	2,7	2,9	3,1
			20	2–20	2–40	1,6	2,2	2,7	3,2	3,5
0,5	1,7	23–25	5	2–45	3–10	1,5	2,3	2,8	3,3	3,6
			0	2–50	3–20	1,4	2,5	3	3,2	3,3
			–2	3–00	3–30	1,2	2,1	2,4	2,7	3

*Низкогигроскопичный тампонажный портландцемент.* Этот портландцемент является разновидностью тампонажного портландцемента и характеризуется повышенной сохраняемостью при длительном хранении. Сроки схватывания цементного раствора указаны ниже.

Цемент.....	Для низких и нормальных температур	Для умеренных температур
Сроки схватывания после затво- рения, ч – мин:		
начало (не ранее).....	2–00	1–45
конец (не позднее).....	12–00	6–00

Реагент-гидрофобизатор – диметилсилоксанолят натрия, являющийся жидким побочным (ранее сжигавшимся) продуктом при получении полисилоксановых смол, не замерзает при температуре до  $-35^{\circ}\text{C}$ , вводится в цемент при помоле клинкера в количестве 0,1 % в пересчете на 100 %-ный продукт.

Гидрофобизованный цемент обладает весьма малым водоотделением – 0,5 % (эталон – 3,2 %) и высокой седиментационной устойчивостью. Газопроницаемость образцов цементного камня приведена ниже.

Газопроницаемость цементного камня, $10^{-3}$ мкм <sup>2</sup> :.....	Вдоль образца	Поперек образца
эталонного.....	9,4	3,7
гидрофобизованного.....	1,6	0,53

Гидрофобизованный цемент обладает теми же сроками схватывания и загустевания, что и обычный.

Прочность цементного камня из гидрофобизованного цемента в ранние сроки твердения более чем в 1,5 раза выше эталонного, к 28 сут прочность одинакова.

Гидрофобизованный цемент лучше сохраняется в негерметичной таре (бумажных мешках). Прочность двухсуточного цементного камня (температура твердения  $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ), изготовленного из цемента, хранившегося 1–6 мес, приведена ниже.

Время хранения, мес.....	0	1	2	3	6
Предел прочности цементного камня, МПа:.....			1,22/3,31		
эталонного.....	2,8/8,35	1,42/4,56		0,9/2,25	0/0,6
гидрофобизо- ванного.....	4,52/13,9	3,58/12,6	3,27/12,4	2,96/11,76	1,95/8,4

Примечание. В числителе – предел прочности на изгиб, в знаменателе – на сжатие.

Таблица 6.6

## Параметры шлакопесчаных цементов

Параметры	Марка цемента	
	ШПЦС-120	ШПЦС-200
Тонкость помола, см <sup>2</sup> /г	3000 ± 300	2600 ± 200
Растекаемость цементного теста, см, (В/Ц)	18–20 (0,45)	18–20 (0,43)
Сроки схватывания, ч:		
начало (не ранее)	2	2
конец (не позднее)	10	8
Прочность камня через 24 ч твердения, МПа:		
на изгиб	2,5–7	3–10
на сжатие	10–30	12–35
Выход раствора из 1 т цемента, м <sup>3</sup>	0,75–0,78	0,7–0,75
Примечание. Предел прочности при сжатии определяют при необходимости.		

*Цемент шлакопесчаный совместного помола.* Отраслевой стандарт на шлакопесчаные цементы (ОСТ 39-017–80) разработан б. ВНИИКРнефтью.

Эти цементы предназначены для цементирования нефтяных и газовых скважин, в том числе для изоляции соленых отложений. В зависимости от назначения эти цементы выпускают двух марок – ШПЦС-120 и ШПЦС-200.

Параметры шлакопесчаных цементов совместного помола приведены в табл. 6.6.

Сроки схватывания шлакопесчаных цементов определяют при тех же условиях, что и для утяжеленных.

Температура воды в автоклаве в момент помещения кольца с цементным тестом должна быть  $75 \pm 5$  °С.

*Облегченные тампонажные цементы.* Такие цементы предназначены для цементирования нефтяных, газовых и других скважин, вскрывших зоны с аномально низким пластическим давлением (АНПД) или низким градиентом давления гидроразрыва (0,0145–0,0170 МПа/м).

Сроки схватывания растворов из облегченного тампонажного портландцемента должны соответствовать указанным ниже.

Цемент.....	Для низких и нормальных температур	Для умеренных температур
Сроки схватывания, ч – мин:		
начало.....	2–00	1–45
конец.....	18–00	8–00

*Облегченные тампонажные цементы типа ЦТО.* Они предназначены для цементирования скважин, вскрывших зо-

ны с АНПД, при геостатических температурах от 15 до 250 °С.

ЦТО получают при смешении вяжущего с облегчающей добавкой — фильтроперлитом или тампонажным перлитом и, при необходимости, со стабилизирующей добавкой (бентонит, палыгорскит, ПВС).

В зависимости от температуры применения в качестве вяжущего в ЦТО используют: при температурах в скважинах от 15 до 100 °С — тампонажный портландцемент для нормальных или умеренных температур; при 100–250 °С — тампонажный цемент ЦТПН.

Фильтроперлит и тампонажный перлит — высокоэффективные облегчающие добавки (водопотребность до 6–8 кг/кг), получаемые при обжиге перлита и отличаются от перлитового вспученного песка большой удельной поверхностью и минимумом (массовая доля не более 12 %) воздухосодержащих сферических частиц.

В зависимости от температуры применения ЦТО подразделяют на три марки.

Марка цемента.....	ЦТО-100	ЦТО-150	ЦТО-250
Температура в скважине, °С.....	15–100 (нормальная и умеренная)	100–150 (повышенная)	150–250 (высокая)

Плотность растворов из тампонажных цементов ЦТО может быть от 1,35 до 1,65 г/см<sup>3</sup>. Предел прочности камня из ЦТО приведен в табл. 6.7.

Для регулирования технологических свойств раствора и камня из ЦТО рекомендуется использовать выпускаемые промышленностью химические реагенты. Применение ЦТО позволяет качественно цементировать скважины, обеспечивает подъем тампонажного раствора на большую высоту в одну ступень, во многих случаях позволяет отказаться от применения муфты ступенчатого цементирования (МСЦ).

*Облегченный тампонажный цемент повышенной коррозионной стойкости типа ЦТОК.* Этот цемент (ТУ 39-0147009-010–89) получают при смешении до однородного состояния вяжущего и облегчающей добавки — керогена марки Т.

ЦТОК предназначен для цементирования нефтяных и газовых скважин, вскрывших зоны с АНПД при температурах от 15 до 150 °С.

В зависимости от температуры применения в качестве вяжущего в ЦТОК используют: при температурах в скважинах от 15 до 100 °С — тампонажный портландцемент для нор-

Таблица 6.7

**Физико-механические свойства тампонажного раствора и камня из облегченного цемента типа ЦТО**

Марка тампонажного цемента	Водоцементное отношение	Плотность тампонажного раствора, г/см <sup>3</sup>	Режим твердения		Предел прочности камня при изгибе, МПа, при твердении в течение, сут	
			температура, °С	давление, МПа	1	2
ЦТО-4-100	1,15 ± 0,05	1,40 ± 0,05	75	20	1,1–1,3	2,2–3,0
ЦТО-5-100	0,90 ± 0,05	1,50 ± 0,05			1,2–1,4	3,0–4,2
ЦТО-6-100	0,70 ± 0,05	1,60 ± 0,05			1,4–1,6	3,5–4,5
ЦТО-4-150	1,15 ± 0,05	1,40 ± 0,05	120	40	2,2–2,6	3,0–4,0
ЦТО-5-150	0,90 ± 0,05	1,50 ± 0,05			2,9–3,8	4,1–4,6
ЦТО-4-250	1,20 ± 0,05	1,40 ± 0,05			3,2–3,7	3,4–3,7
ЦТО-5-250	0,95 ± 0,05	1,50 ± 0,05	200	60	3,8–4,4	4,0–4,3

Примечание. Растекаемость тампонажного раствора 22 ± 2 см.

мальных или умеренных температур, от 100 до 150 °С – шлакопесчаный тампонажный цемент марки ШПЦС-120 или цемент ЦТПН.

Кероген Т представляет собой гидрофобный тонкомолотый органоминеральный порошок плотностью около 1,25 г/см<sup>3</sup>. Сырьем для получения керогена служит горючий сланец.

В зависимости от плотности тампонажного раствора ЦТОК подразделяют на три марки.

Марка цемента .....	ЦТОК-4	ЦТОК-5	ЦТОК-6
Плотность раствора, г/см <sup>3</sup> .....	1,4 ± 0,05	1,5 ± 0,05	1,6 ± 0,05
Водоцементное отношение .....	0,7 ± 0,03	0,65 ± 0,02	0,6 ± 0,02
Предел прочности камня при 75 °С через 48 ч твердения, МПа .....	2	2,8	4,5

Применение тампонажного цемента типа ЦТОК позволяет качественно цементировать скважины со сложными геологическими условиями, увеличить межремонтный период эксплуатации скважин. Вследствие гидрофобности керогена ЦТОК отличается повышенной сохраняемостью. Коррозионная стойкость камня обеспечивается химической стойкостью керогена и сравнительно низким водосодержанием (В/Ц) раствора.

*Облегченный тампонажный материал типа МТО.* Этот материал разработан совместно с ВНИИКРнефтью и НПО "Алинит". В качестве облегчающей добавки в МТО используют вспученный перлитовый песок марки М75-100, выпускаемый по ГОСТ 10832–83, а в качестве вяжущего – тампонажный алинитовый портландцемент типа ПЦАТ.

Полученный материал имеет следующие технологические параметры: плотность раствора  $1,5 \pm 0,05$  г/см<sup>3</sup>, сроки схватывания при температуре  $22 \pm 2$  °С – 4 и 8 ч (начало и конец соответственно), предел прочности при изгибе через 24 ч твердения не менее 0,9 МПа.

Приготовление МТО в заводских условиях обеспечивает однородность материала и стабильность его свойств. При этом исключается приготовление облегченных тампонажных смесей в условиях тампонажных предприятий, повышается производительность труда, существенно улучшается качество крепления скважин.

*Облегченный цемент для горячих скважин типа ОЦГ.* Цемент типа ОЦГ серийно выпускается по ТУ 39-01-08-469–79 и предназначен для цементирования нефтяных и газовых скважин с аномально низкими пластовыми давлениями.

Цемент ОЦГ может быть использован при температурах от 50 до 100 °С (с реагентами-регуляторами сроков схватывания – в интервале температур 30–120 °С).

Основные параметры цемента ОЦГ приведены ниже.

Плотность тампонажного раствора, г/см <sup>3</sup> .....	1,45–1,50
Водоцементное отношение.....	0,95–1,05
Прочность камня через 48 ч твердения при 75 °С (МПа):	
на изгиб.....	1,5–4,5
на сжатие.....	4–18
Выход раствора из 1 т цемента, м <sup>3</sup> .....	1,3–1,35

*Цементы тампонажные утяжеленные.* Технические условия на цементы тампонажные утяжеленные (ТУ 08-535–80 для УЦГ, ОСТ 39-014–80 для УШЦ) разработаны б. ВНИИКР-нефтью. Эти цементы предназначены для цементирования нефтяных и газовых скважин с аномально высокими пластовыми давлениями (АВПД), в том числе для изоляции пластов соленосных отложений.

В зависимости от плотности приготовляемого раствора и температурных условий применения утяжеленные тампонажные цементы подразделяются на несколько видов.

Параметры утяжеленных тампонажных цемента должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 6.8. Режим испытаний цемента УЦГ и УШЦ определен в соответствии с ГОСТ 26798.0–85.

Марка цемента.....	УЦГ-1, УЦГ-2	УШЦ1-120, УШЦ2-120	УШЦ1-200, УШЦ2-200
Время выхода на режим, мин, .....	–	25 ± 3	60 ± 5
Температура, °С....	75 ± 3	120 ± 5	200 ± 5
Давление, МПа.....	Атмосферное	40 ± 6	60 ± 9

Таблица 6.8

## Параметры утяжеленных тампонажных цементов

Параметры	Марка цемента					
	УЦГ-1	УЦГ-2	УЩЦ1-120	УЩЦ2-120	УЩЦ1-200	УЩЦ2-200
Тонкость помола, см <sup>2</sup> /г	2500 ± 200	2200 ± 200	2500 ± 200	2200 ± 200	2500 ± 200	2200 ± 200
Растекаемость цементного раствора, см (В/Ц)	20–21 (0,35)	20–21 (0,32)	19–22 (0,35)	19–20 (0,32)	20–23 (0,35)	20–21 (0,32)
Плотность цементного раствора, г/см <sup>3</sup>	2,06–2,15	2,16–2,3	2,06–2,15	2,16–2,3	2,06–2,15	2,16–2,3
Сроки схватывания, ч:						
начало (не ранее)	1–45	1–45	2	2	2	2
конец (не позднее)	5	5	10	10	8	8
Прочность камня через 24 ч ОЗЦ, МПа:						
на изгиб	2–4,5	2–4	2,5–7	2,5–7	2,5–8	2,5–8
на сжатие	5–20	5–18	9–25	9–25	12–30	12–30
Выход раствора из 1 т цемента, м <sup>3</sup>	0,62–0,64	0,58–0,6	0,63–0,65	0,6–0,65	0,63–0,65	0,58–0,6

Утяжеленный бесклинкерный коррозионно-стойкий тампонажный цемент типа ЦТУК-120. Этот цемент разработан в б. ВНИИКРнефти и предназначен для цементирования нефтяных и газовых скважин, вскрывших зоны с аномально высокими пластовыми давлениями (АВПД), при наличии в интервале цементирования полиминерализованных пластовых вод, углекислой и сероводородной агрессивности. Температурный диапазон применения от 80 до 150 °С.

Цемент ЦТУК-120 получают при смешении совместно измельченных доменного гранулированного шлака, кварцевого песка и парафина (гидрофобизирующая добавка) с баритом (утяжеляющая добавка). Цемент ЦТУК-120 выпускают двух марок: ЦТУК-1-120 с плотностью тампонажного раствора 2,05–2,15 г/см<sup>3</sup> и ЦТУК-2-120 с плотностью 2,16–2,30 г/см<sup>3</sup>.

Тампонажный цемент ЦТУК-120 отличается увеличенным сроком сохраняемости и несслеживаемостью при хранении, а тампонажный камень из него — повышенной коррозионной

стойкостью в агрессивных гидротермальных водах. Эти свойства обеспечиваются наличием в составе ЦТУК-120 химически стойких компонентов и гидрофобизирующей добавки.

Тампонажный раствор из ЦТУК-120 готовят с использованием серийного цементировочного оборудования. В качестве реагентов-замедлителей можно использовать КССБ-2, декстрин, лигносульфонаты, бихроматы, а в качестве жидкости затворения – питьевую, техническую, морскую или пластовую воду. Предел прочности тампонажного камня из ЦТУК-120 через 24 ч твердения при температуре 120 °С и давлении 60 МПа составляет 2,5–3,5 МПа.

## **§ 5. СВОЙСТВА ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ И РЕАГЕНТЫ ДЛЯ ИХ ОБРАБОТКИ**

### **ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА И КАМНЯ**

Свойства цементного раствора зависят от многих факторов, основными из которых являются химико-минеральный состав, качество и количество наполнителей, водоцементное отношение, количество и природа химических наполнителей, режим перемешивания, температура, давление и др.

Основные свойства цементного раствора применительно к скважинам следующие: водосодержание, подвижность (растекаемость), плотность, показатель фильтрации, динамическое сопротивление сдвигу, структурная вязкость, седиментационная устойчивость, время загустевания, сроки схватывания и некоторые другие. К свойствам цементного камня следует отнести механическую прочность, проницаемость, объемные изменения, коррозионную устойчивость в агрессивных средах и модуль упругости.

Свойства цементных растворов и камня могут быть изменены введением наполнителей, активных добавок или обработкой химическими реагентами.

*Водосодержание.* Водосодержание характеризуется водоцементным отношением, т.е. отношением массы воды к массе твердого тампонажного материала. Для стандартных тампонажных портландцементов с удельной поверхностью 2500–3500 см<sup>2</sup>/г водоцементное отношение может колебаться в пределах 0,5–0,6.

*Растекаемость.* Важное свойство цементного раствора — подвижность, которую в начальный момент после затворения определяют с помощью усеченного конуса АзНИИ путем отсчета среднего диаметра расплывшегося раствора в двух направлениях (наибольшее и наименьшее).

*Плотность.* Одна из важных характеристик цементного раствора — плотность. Это практически единственный показатель качества раствора, контролируемый в процессе его приготовления и транспортирования в скважину. Плотность цементного раствора зависит от плотности сухих тампонажных материалов и жидкости затворения, а также от водоцементного отношения.

Для стандартного цементного раствора при В/Ц = 0,5 (в соответствии с требованиями ГОСТ 1581–85) его расчетная плотность составляет 1,81–1,85 г/см<sup>3</sup>.

Плотность цементного раствора в промышленных условиях чаще всего определяют с помощью ареометров АГ-1 и АГ-2 в каждой точке затворения независимо от наличия станции контроля цементирования СКЦ, которая обеспечивает автоматическую регистрацию и запись средней плотности закачиваемого в скважину раствора. Непрерывный контроль плотности тампонажного раствора достигается применением радиоактивных плотномеров.

*Показатель фильтрации.* Под воздействием перепада давления в цементном растворе происходит процесс водоотделения, который называется фильтрацией. Скорость фильтрации в значительной мере зависит от принятого В/Ц; она обратно пропорциональна квадрату удельной поверхности цемента (тонкости помола), количеству наполнителя и вязкости жидкой фазы цементного раствора.

Вследствие высокой фильтрации цементный раствор становится вязким, труднопрокачиваемым, сроки схватывания его ускоряются; в результате образования толстых цементных корок возможен прихват обсадной колонны во время ее расхаживания.

Фильтрация цементного раствора может быть определена с помощью специального прибора УВЦ или прибора ВМ-6, который применяется для измерения фильтрации бурового раствора при давлении 0,1 МПа (в этом случае говорят о предельной фильтрации за определенное время).

*Седиментационная устойчивость.* Под седиментационной устойчивостью подразумевают способность частиц тампонажного раствора оседать в жидкости затворения под действием сил тяжести. Этот параметр зависит от разности плотностей твердой и жидкой фаз тампонажного раствора, микроструктуры порового пространства, вязкости жидкости затворения.

Вследствие сильно развитой межфазной поверхности тампонажные растворы агрегативно-неустойчивы. О характере и степени седиментационных перемещений в основной части столба тампонажного раствора с достаточной точностью можно судить по характеру и степени перемещений верхнего уровня твердой составляющей раствора.

При цементировании обсадных колонн в газовых скважинах и скважинах с наличием зон АВГД появляется необходимость нормирования седиментационной устойчивости тампонажных растворов, для повышения которой может быть рекомендован к использованию весь комплекс мероприятий по снижению показателя фильтрации цементных растворов.

*Загустевание.* Спустя некоторое время после затворения и механического перемешивания начинает проявляться способность цементных растворов к структурообразованию, которое выражается последовательно в загустевании и схватывании растворов. Загустевание тампонажных растворов оценивают консистометром.

Существенное влияние на загустевание цементных растворов оказывают природа цемента, тонкость его помола, В/Ц, температура, давление и некоторые другие факторы.

Увеличение времени загустевания тампонажных растворов может быть достигнуто использованием замедлителей процессов структурообразования, качество и количество которых подбирают с учетом конкретных условий скважин (к числу замедлителей относятся ССБ, КМЦ, гипан, НТФ, ОЭДФ, ВКК, хромпик и др.).

*Сроки схватывания.* Возможность применения тампонажных растворов в отечественной практике в большинстве случаев определяется сроками схватывания, которые зависят от следующих факторов: химико-минерального состава цемента; его удельной поверхности; В/Ц; химических реагентов, вводимых в раствор; температуры; давления и др.

При прочих равных условиях с повышением удельной поверхности цемента и уменьшением В/Ц сроки схватывания цементного раствора сокращаются. На их уменьшение температура оказывает более существенное влияние, чем давление, а их совместное воздействие еще эффективнее.

*Механическая прочность цементного камня.* Прочность тампонажного камня характеризуется временным сопротивлением сжатию, растяжению или изгибу. С этой целью изготовленные определенной формы образцы цементного камня испытывают на прочность, причем определяют напряжение, соответствующее разрушению образца.

Механическая прочность цементного камня зависит от ряда факторов, основные из которых следующие: химико-минеральный состав цемента, В/Ц, удельная поверхность цемента, наличие наполнителей и химических добавок, условия твердения и др. Существенное влияние на прочность цементного камня оказывают также температура и давление.

*Проницаемость цементного камня.* Под проницаемостью цементного камня понимают его способность пропускать через себя жидкости или газы при определенном перепаде давления. Для обеспечения надежного разделения пластов цементный камень в затрубном пространстве должен иметь минимально возможную проницаемость для пластовых флюидов.

Проницаемость цементного камня изменяется в процессе его твердения и существенно зависит от природы цемента и наполнителей, В/Ц, условий и времени твердения и т.д.

#### **РЕГУЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА И КАМНЯ С ПОМОЩЬЮ РЕАГЕНТОВ**

Усложнение геолого-технических условий сооружения скважин, а также совершенствование техники и технологии их бурения и крепления повышают уровень требований к тампонажным материалам и приготовляемым из них растворам. Это вызывает необходимость целенаправленного изменения свойств цементных растворов и образующегося камня путем обработки их химическими реагентами.

К показателям тампонажных систем, количественное изменение которых часто вызывается необходимостью техно

логии или особенностями условий скважины, относятся время загустевания или сроки схватывания, реологические свойства, седиментационная устойчивость для тампонажных растворов и механическая прочность, проницаемость, коррозионная устойчивость для тампонажного камня.

При количественном изменении одного показателя тампонажного раствора изменяется другой (или другие) параметр, и в некоторых случаях в нежелательном направлении. Как правило, реагенты и материалы, вводимые в тампонажные системы, оказывают комплексное воздействие и изменяют одновременно несколько параметров.

Некоторые реагенты при одних условиях изменяют свойства тампонажных систем в одном направлении, а при других условиях влияние тех же реагентов может быть противоположным. Кроме того, один и тот же реагент при различных дозировках может вызывать противоположные воздействия.

Применение тампонажных цемента в различных условиях связано с использованием следующих реагентов:

ускорителей схватывания и твердения тампонажных растворов — хлоридов кальция, натрия, калия и алюминия, сульфатов натрия и калия, углекислых калия и натрия, едкого натра, кремнекислых натрия и калия (жидкого стекла), нитратов натрия и кальция, нитрит-нитрита кальция, нитрит-нитрит-хлорида кальция с мочевиной, мочевины, нитрит-нитрит-сульфата натрия, сульфаниловой кислоты, триэтаноламина, мелассы;

пластификаторов (разжижителей) — С-3, 10-03, НТФ, ОЭДФ, ССБ, КССБ, ПАШ, ВЛХК, этилсиликоната натрия, метилсиликоната натрия, СПД, мылонафта, НЧК, ПФЛХ, ФХЛС, сульфированного нитролигнина, нитролигнина, окзила, синтана-5 и синтана ПЛ, Д-4 и Д-12, гексаметафосфата и нитрофосфата, ВРП, ГИФ-1, хромпика;

замедлителей схватывания и твердения — НТФ, ОЭДФ, винной кислоты и ее солей, борной кислоты, хромпика, гипана, окзила, КССБ, СДБ, ФХЛС, ПФЛХ, сульфированного нитролигнина, карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), малеинового ангидрида, гексаметафосфата и нитрофосфата, ҚДБ, ПАД-3;

понижителей фильтрации — гипана, СДБ, КССБ, ПФЛХ, ФХЛС, карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), полиоксиэтилена, бентонитовой глины, сульфированного нитролигнина, поливинилового спирта (ПВС), метаса, полиакриламида, К-4, метилцеллюлозы, оксиэтилцеллюлозы, декстрина, модифицированного крахмала;

пеногасителей – НЧК, окисленного петролатума, соапстока, ЖЖТ, РС, кальциевого мылонафта, флотомасла, полиметилсилоксана, скрубберного конденсата, Т-66, стеарокса-6, АГ-2, АГ-3, НГВ-1, полиамида, стеарата алюминия, ПЭС, ОКП-50, СЖК, ВМС, ВМС-12, П-79, сивушного масла, карболениума.

При выборе реагента необходимо исходить из того, что многие реагенты по своему технологическому эффекту равноценны. Вследствие этого при выборе реагентов необходимо учитывать их стоимость, расстояние до завода-изготовителя, агрегатное состояние (например, применение реагентов в виде жидкостей затруднено в зимнее время, и особенно в северных регионах), условия поставки (заводы-изготовители поставляют некоторые реагенты только крупными партиями – не менее вагона, цистерны).

Температурные области применения реагентов приведены в табл. 6.9 и 6.10.

Таблица 6.9

Температурные области применения различных реагентов

Температура в скважине, °С	Вид тампонажного цемента	Реагенты и их сочетания
<i>Реагенты-ускорители сроков схватывания и твердения</i>		
0–10	Портландцемент	CaCl <sub>2</sub> , NaCl, NaCl + CaCl <sub>2</sub> , KCl, K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , ННК, ННС, ННХК, НКМ, ННХК + М, НК, НН
0–20		CaCl <sub>2</sub> , NaCl, CaCl <sub>2</sub> + NaCl, NaOH, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , НК, НН, ННК, ННС, НКХ, мочевины
20–75		CaCl <sub>2</sub> , NaCl, NaOH, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , силикат натрия, НН; НК, меласса, ТЭА, фульфаноловая кислота
75–100	Портландцемент и песок	Ускорители применяются только вместе с замедлителями-пластификаторами и замедлителями-понижителями фильтрации
	Шлаковый	CaCl <sub>2</sub> , NaCl, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , NaOH, силикат натрия, K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , НК, НН, ННС, ННК
> 100	Портландцемент и шлаковый портландцемент	Замедлители схватывания
	Шлаковый	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , NaOH в сочетании с замедлителями-понижителями фильтрации при малоактивных вяжущих без замедлителей

Продолжение табл. 6.9

Температура в скважине, °С	Вид тампонажного цемента	Реагенты и их сочетания
<i>Реагенты-замедлители схватывания и твердения</i>		
20–75	Портландцемент	КМЦ, СДБ, ПФЛХ, ПАА, КССБ, НЧК, сунил, СВК, эпоксидные смолы, фурфурол, гексаметафосфат, пирофосфат, КБД, ПАД-3
75–100		НТФ, ОЭДФ, СДБ, окзил, ФХЛС, МА, СВК, Л-7, ПАА, КССБ, ПФЛХ, фурфурол, сунил, КМЦ, мочеви́на, декстрин, гипан, СВК + СДБ
100–130	Шлаковый Шлаковый и портланд-цемент	Ускорители схватывания НТФ, ОЭДФ, гипан, КМЦ, ОЭЦ, К-4, окзил, хромпик, СДБ, КССБ, декстрин, СДБ + МА, СКВ, МА, СВК + СДБ, СДБ + хромпик, БК, ПФЛХ
130–160	Шлаковый	НТФ, ОЭДФ, бура, декстрин, КМЦ + хромпик, МА, гипан, СВК или ВКК, СДБ + МА, гипан + хромпик, ДБФ, БК, ТОГК, МК, хромпик, ПФЛХ, КССБ
>160		НТФ, ОЭДФ, БК + СВК, ТОГК, СВК, гипан + хромпик, окзил, хромпик, окзил + хромпик, СВК + хромпик, КССБ
<i>Реагенты-пластификаторы</i>		
<75	Портландцемент	КССБ, СДБ, С-3, 10-03, гексаметафосфат, пирофосфат, НЧК, ПФЛХ, ПАШ, ФХЛС, ВАХК, СПД, ГИФ-1, сунил, Д-1, Д-4, ЦНИПС-1, ГКЖ-10 и ГКЖ-11, мылонафт, ВРП-1, АСМР
75–100	Шлаковый портланд-цемент	НТФ, ОЭДФ, СДБ, КССБ, сунил, ФХЛС, ПФЛХ, мочеви́на, окзил
100–130	Шлаковый	НТФ, ОЭДФ, хромпик, СДБ, КССБ, ФХЛС, СДБ + хромпик, сунил, окзил, ПФЛХ

Продолжение табл. 6.9

Температура в скважине, °С	Вид тампонажного цемента	Реагенты и их сочетания
130–160	Шлаковый	НТФ, ОЭДФ, СДБ + хромпик, КССБ + хромпик, ПФЛХ
>160		НТФ, ОЭДФ, хромпик, окзил + хромпик
<i>Реагенты-понижители фильтрации</i>		
<75	Портландцемент	ПВС, МЦ, КМЦ, ПЛА, декстрин, МК, бентонитовая глина
75–100	Шлаковый и портландцемент	Окзил, декстрин, МК, гипан, КМЦ, МЦ, К-4, бентонитовая глина
100–130		Гипан + хромпик, гипан, КМЦ, ОЭЦ, К-4, окзил, декстрин, окзил + хромпик, бентонитовая глина, метас
130–160	Шлаковый	Гипан + хромпик, КМЦ + хромпик, окзил + хромпик, бентонитовая глина, метас + хромпик
>160		Гипан + хромпик, окзил + хромпик, бентонитовая глина, метас + хромпик
280		

Таблица 6.10

**Температурные и физико-химические условия применения пеногасителей**

Температура в скважине, °С	Растворы без добавок солей-электролитов	Растворы с добавкой солей-электролитов
<50	РС, ПЭС, соапсток, карболениум, кальцинированный мылонафт, Т-66, НЧК, СМ, ПМС-1000А, ПМС-200А, СЗ-6, П-79, ВМС-12, ВМС, оксидат, ВМСС, СЖК, ОКП-50, ЖЖТ, НГВ-1, стеарат алюминия, полиамид, стеарокс-б	РС (кроме нефтеэмульсионных растворов), ПЭС, соапсток, кальцинированный мылонафт (кроме растворов хлорида кальция), Т-66, НЧК, ПМС-1000А и ПМС-200А (кроме высоких концентраций солей), П-79, ВМС-12, ВМС, оксидат ВЖС, СЖК, ОКП-50, ЖЖТ, НГВ-1, полиамид, стеарат алюминия

Продолжение табл. 6.10

Температура в скважине, °С	Растворы без добавок солей-электролитов	Растворы с добавкой солей-электролитов
50–100	РС, ПЭС, мылосток, карболениум, кальцинированный мылонафт, Т-66, НЧК, НМС-1000А, ПМС-200А, П-79, ВМС-12, ВМС, оксидат ВЖС, СЖК, ОКП-50; ЖЖТ, стеарат алюминия, полиамид, стеарокс-6	РЭС, ПЭМ, кальцинированный мылонафт (кроме растворов хлорида кальция), Т-66, НЧК, ПМС-1000А и ПМС-200А (кроме высоких концентраций солей), П-79, ВМС-12, ВМС, оксидат ВЖС, СЖК, ОКП-50, ЖЖТ, стеарат алюминия, полиамид
100	Карболениум (до 150 °С), Т-66, НЧК, ВМС-12, ВМС, ОКП-50, стеарат алюминия, полиамид, стеарокс-6	Т-66, НЧК, ВМС-12, ВМС, ОКП-50, стеарат алюминия, полиамид