

## **Эксплуатационные свойства цементов для транспортного строительства и их техническое нормирование**

Волосевич С.В.

Научный руководитель – Дзэбьева Л.Б.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Для сооружений современных автострад, строительства аэродромов, портовых и складских территорий, городских улиц и др. применяются покрытия преимущественно из цементного бетона и железобетона. Цементный бетон по сравнению с асфальтобетоном имеет много положительных свойств — он более прочен, менее подвержен действию повышенных температур в жаркое время года, обладает необходимым сопротивлением трению, возникающему при интенсивном движении транспорта, светлый, а это повышает безопасность движения ночью. Он относительно мало истирается (0,1 мм в год), толщина покрытия из него не превышает 16–22 см.

Достоинство цементно-бетонных покрытий — продолжительность службы примерно 30 лет. Есть дороги, эксплуатируемые 50 лет и находящиеся в хорошем состоянии. У цементно-бетонных покрытий есть и некоторые недостатки: на отдельных участках дорог покрытие вспучивается, появляются трещины. Самый большой недостаток этих покрытий — необходимость устройства деформационных швов как вдоль, так и поперек дорожного полотна из-за усадки цемента. Цементно-бетонные покрытия нужно укладывать на прочные и морозостойкие основания.

Цемент в бетонном покрытии подвергается воздействию многих факторов: возникают температурные напряжения при солнечном облучении, нагреве от теплового потока горячих выхлопных газов автотранспорта, двигателей реактивных самолетов и др. Несмотря на небольшую толщину покрытия температуры внешней поверхности и нижнего слоя различаются, что может вызвать даже коробление плиты. Так, например, внешняя поверхность бетонных плит, охлажденная ночью, может покрываться трещинами оттого, что силы, вызывающие сжатие верхнего слоя, не могут вызвать соответ-

ствующего сжатия внутренней части плиты. Цемент в бетонном покрытии подвергается многократному замораживанию и оттаиванию, увлажнению и высыханию. Поскольку покрытие выдерживает попеременно повторяющиеся нагрузки от движения транспорта и многократного действия атмосферных факторов, большое значение приобретает выносливость бетона. По данным ряда исследований предел выносливости цементного бетона составляет около 50–55% предела его прочности при сжатии и 30–70% при изгибе (при нагружениях до 2 млн. циклов). Цементный камень, его содержание в бетоне, структура и другие свойства влияют на выносливость бетона. [1]

Замечено, что при подобных воздействиях разрушение бетона начинается с цементного камня. Микроразрушения в бетоне, образующиеся при первом нагружении, оказывают решающее влияние на прочность при воздействии многократно-повторяющейся нагрузки. Число нагружений, которые выдерживает бетон, зависит от того, насколько превышена граница  $R_T^0$ . Переход через  $R_T^0$  приводит к разрушению при многократно повторяющейся нагрузке, что было установлено по результатам испытаний на базе циклов повторения нагрузок; предел выносливости бетона при сжатии возрастает с увеличением призмной прочности. Установлено, что повышение однородности структуры цементного камня увеличивает выносливость бетона.

Существует область оптимальных значений  $V/C=0,4-0,5$ , при которой выносливость наибольшая. Этому способствует также повышение удельного расхода цемента на  $1 \text{ м}^3$  бетона, а также применение цемента с повышенным содержанием алюмоферритов кальция. Добавка хлористого кальция уменьшает выносливость, в то время как поверхностно-активные вещества (ЛСТМ, С-3, ГКЖ-94, и др.) улучшают степень однородности цементного камня и повышают выносливость бетона. Определенное влияние оказывает природа применяемого щебня. Было установлено Грушко И. М., что наиболее высокие показатели выносливости достигаются при использовании известнякового щебня. Пропаривание снижает выносливость бетона. Известно, какое большое значение имеет сопротивление цементного бетона истиранию в дорожном покрытии; установлено, что сопротивляемость цементного камня истиранию значительно

ниже, чем у заполнителя в бетоне, особенно если он характеризуется высокой твердостью. В дорожных и аэродромных покрытиях бетон разрушается под воздействием солей, преимущественно хлоридов, применяемых для оттаивания поверхности покрытия от снега и льда. Существенно влияет на долговечность цементно-бетонного покрытия и деформация грунтов основания – вспучивание при сильном увлажнении и замерзании. Мы видим, что цемент в бетоне дорожных покрытий должен противостоять действию разнообразных агрессивных факторов, что создает весьма тяжелые условия для его службы.

Цементно-бетонные покрытия бывают различными; они разделяются па монолитные и сборные, однослойные и двухслойные, армированные и неармированные, причем применяется как обычный бетон, так и предварительно напряженный. Цемент для каждой из этих конструкций должен удовлетворять дополнительным специфическим требованиям. Так, например, в связи с усадкой цемента устраивают швы сжатия, расширения, коробления и рабочие; однако в предварительно напряженных конструкциях нет швов сжатия, а расстояния между швами расширения достигают значительных размеров. В связи с этим в исследованиях, посвященных цементам для бетонов дорожных покрытий, значительное внимание уделялось тому, в какой степени физико-химические характеристики цемента влияют на качество бетонного дорожного покрытия. [1,2,3] Несомненно, что цемент должен быть высокопрочным и быстро твердеть. Опыт эксплуатации автодорог и результаты исследований показывают, что современный алитовый высокопрочный портландцемент по строительно-техническим свойствам удовлетворяет основным требованиям, предъявляемым к бетонным дорожным покрытиям при введении в его состав добавок поверхностно-активных веществ. Минералогический состав цементов для бетона дорожных и аэродромных покрытий приведен в таблице.

Таблица

Клинкерный минерал	Содержание клинкерного минерала, % массы клинкера, применяемого для изготовления цемента	
	для бетона дорожных и аэродромных покрытий	для железобетонных изделий и мостовых конструкций
C <sub>3</sub> A, не более	7	7
(C <sub>3</sub> A+C <sub>4</sub> AF),	24	-

не более		
$C_3S$ , не менее	55	55

Для этих изделий должен поставляться один из видов цемента по ГОСТ 10178:

- ПЦ 400-Д0-Н, ПЦ 500-Д0-Н – для всех изделий;
- ПЦ 500-Д5-Н – для труб, шпал, опор, мостовых конструкций независимо от вида добавки (для напорных труб должен поставляться цемент высшей категории качества I или II группы по эффективности пропаривания по ГОСТ 22236);
- ПЦ 400-Д20-Н, ПЦ 500-Д20-Н – для бетона дорожных и аэродромных покрытий, при применении в качестве добавки гранулированного доменного шлака не более 15%.

Начало схватывания портландцемента для бетона дорожных и аэродромных покрытий должно наступать не ранее 2 ч, портландцемента для труб - не ранее 2 ч 15 мин от начала затворения цемента. Это позволяет перевозить пластичную бетонную смесь к месту ее укладки на большие расстояния. Для цементно-бетонных покрытий можно применять шлакопортландцемент высоких марок, а также напрягающий портландцемент с малой энергией самонапряжения.

Тонкость помола портландцемента для бетона дорожных и аэродромных покрытий с добавкой шлака, кроме пластифицированного, должна характеризоваться удельной поверхностью не менее  $2800 \text{ см}^2/\text{г}$ .

Содержание щелочных оксидов ( $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$ ) в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $\text{Na}_2\text{O} + 0,65 \text{ K}_2\text{O}$ ) в цементах для дорожных и аэродромных покрытий не должно превышать 0,8% массы цемента. Массовая доля щелочных оксидов в цементах, изготавливаемых с использованием белитового (нефелинового) шлака, в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$  не должна быть более 1,2 %. По механической прочности цемент должен соответствовать маркам 400 и 500 по ГОСТ 10178-85. Водоотделение цемента для бетона дорожных и аэродромных покрытий и изготовления железобетонных изделий и мостовых конструкций не должно быть более 28%.

Цемент для бетона дорожных и аэродромных покрытий не должен обладать признаками ложного схватывания.

Тонкость помола пластифицированного портландцемента для бетона дорожных и аэродромных покрытий с добавкой шлака должна быть такой, чтобы при просеивании сквозь сито с сеткой №008 по ГОСТ 3584 проходило не менее 88% массы просеиваемой пробы. В состав бетонной смеси при ее приготовлении следует вводить пластифицирующие, гидрофобно-пластифицирующие либо воздухововлекающие добавки, если они не входят в состав портландцемента.

В настоящее время ведется пересмотр ГОСТ 30515 и ГОСТ 22266, а также разрабатывается новый стандарт ГОСТ Р... «Цементы для транспортного строительства» (ГОСТ Р 55224). Утверждение этих стандартов намечено на 2012 год, а предполагаемый срок введения в действие – 2013 год. С этого же срока должны быть отменены без замены ГОСТ 10178 и 310.1 - 310.4, а также ГОСТ 30515 и ГОСТ 22266 с заменой на новые редакции этих стандартов.

До настоящего времени специального стандарта на цементы, используемые в транспортном строительстве, в России не было. Цементы для бетонов дорожных и аэродромных покрытий, а также для изготовления железобетонных изделий и конструкций, используемых в транспортном строительстве (трубы, шпалы, опоры ЛЭП, мостовые конструкции и т. п.), выпускались по ГОСТ 10178. В этом стандарте кроме общих требований, предъявляемых ко всем цементам, содержится пункт, устанавливающий дополнительные требования к дорожным цементам. В связи с предстоящей отменой ГОСТ 10178 и острой потребностью повысить долговечность дорожных покрытий возникла необходимость разработать специальный стандарт на эти цементы. Стандарт должен как минимум сохранить существующий уровень показателей прочности и предусмотреть повышение требований по показателям, непосредственно влияющим на долговечность бетонов, используемых в транспортном строительстве. Как и для других цементов, должна быть также обеспечена унификация требований российского стандарта с европейскими в части классификации, методов испытаний и т. д.

В Европейском союзе отсутствуют специальные нормы на цементы для транспортного строительства. Вместо них в статусе пре-стандартов действуют ENV 13282-1:2000 и ENV 13282- 2:2000 со-

ответственно на быстро и нормально твердеющие вяжущие для автомобильных дорог. Особенностью указанных европейских документов является то, что они относятся не собственно к цементам для дорожного строительства, а к смесям заводского изготовления, непосредственно используемым в дорожном строительстве путем затворения водой наподобие сухих строительных смесей. В преамбулах к обоим престандартам указано, что требования к цементам в них не устанавливаются, поскольку эти требования установлены EN 197-1. В престандартах лишь указано, что содержание портландцементного клинкера в быстротвердеющих вяжущих должно быть не менее 20 %, а в нормально твердеющих не менее 10 % их массы. В качестве основных компонентов, каждого из которых в быстротвердеющем вяжущем должно быть не менее 20 % (а в нормально твердеющем — не менее 10 %), могут быть использованы доменный гранулированный шлак, кислая и основная золы ТЭС, пуццолана, известняк и другие добавки, упомянутые в EN 197-1. При изготовлении нормальнотвердеющих вяжущих можно использовать также золу от сжигания топлива в кипящем слое, сталерафинировочные шлаки и другие материалы. В обоих престандартах приведены требования к прочности вяжущего, тонкости помола, срокам схватывания, равномерности изменения объема, содержанию  $SO_3$ .

В наших условиях опыт европейских стран по производству вяжущих для дорожного строительства может быть полезен, однако с учетом резкого различия климатических и других природных условий в различных странах, большой протяженности дорог применение специальных требований к цементам для транспортного строительства представляется обязательным.

В США специальные стандарты на цементы для транспортного строительства отсутствуют. Применяют любые предусмотренные проектной документацией цементы из числа включенных в стандарты ASTM. Для бетонов дорожных и аэродромных покрытий применяют бездобавочные цементы по ASTM C 150: тип I (общестроительный), тип II (умереннотермичный), тип III (быстротвердеющий). Те же типы цементов, а также тип IV (низкотермичный) и тип V (сульфатостойкий) применяют для изготовления железобетонных изделий и мостовых конструкций. Для дорожных оснований применяют цементы с минеральными добавками по ASTM C 595. Во всех случаях при проектировании и строительстве дорог долж-

но выполняться законодательство соответствующего штата. Однако при строительстве высокоскоростных автомагистралей на всей территории США применяют также стандарт Американского общества высокоскоростных автомагистралей AASHTO M85. Тем не менее, различия между ASTM C 150 и AASHTO M 85 несущественны. Номенклатура цементов и основные физико-механические требования в обоих нормативных документах одинаковы. Различия состоят лишь в том, что стандарт автодорожного общества содержит умеренные ограничения по предельному содержанию в клинкере  $C_3S$  и удельной поверхности цемента.

В Китае, где строительство новых автомобильных трасс и железнодорожных линий в начале XXI века по сравнению с другими странами ведется наиболее интенсивно, требования к цементам для автомобильных дорог отражены в стандарте на общестроительные цементы GB 175-2007, а также в специальном стандарте на дорожные цементы GB 13693-2005.

Основные технические требования GB 13693:

- по прочности цементы должны соответствовать классам 32,5; 42,5; 52,5 по GB 175;
- установлены ограничения по фазовому составу клинкера:  $C_3A < 5\%$ ,  $C_4AF < 16\%$ ,  $MgO < 5\%$ ;
- в отличие от стандартов других стран введены требования по усадке цемента – не более 0,1 % в течение 28 сут при твердении в сухих условиях, и по истираемости — не более 3 кг/м<sup>2</sup>;
- удельная поверхность цемента при испытаниях методом воздухопроницаемости (по Блейну) должна быть в пределах 300 - 450 м<sup>2</sup>/кг;
- следует определять прочность цемента на изгиб в возрасте 3 и 28 сут.;
- выделен низкощелочной дорожный цемент, который должен содержать не более 0,6 %  $R_2O$  в пересчете на  $Na_2O$ . Однако согласно стандарту предельное содержание  $R_2O$  в цементе следует устанавливать соглашением сторон.

В проекте ГОСТ Р [3] предусматривается следующая классификация цементов для транспортного строительства по назначению:

- для бетона дорожных и аэродромных покрытий (одежд);
- для бетона дорожных оснований;

- для изготовления железобетонных изделий и мостовых конструкций, используемых в транспортном строительстве;
- для укрепления грунтов.

Для всех наименований и типов цемента определены требования к клинкеру, применяемым классам прочности, виду и содержанию добавок. Предусмотрено, что клинкер цемента для дорожных и аэродромных покрытий может содержать не более 7 %  $C_3A$  и сумму ( $C_3A + C_4AF$ ) не более 24 %, а также  $C_3S$  не менее 55 %. Этот цемент может выпускаться типов ЦЕМ I или ЦЕМ II, в последнем случае только со шлаком (не более 15 %). Клинкер цемента для железобетонных изделий и конструкций может содержать не более 7 %  $C_3A$  и не менее 55 %  $C_3S$ . Этот цемент может выпускаться только типов ЦЕМ I или ЦЕМ II-III. Более низкие требования предъявляются к цементам для дорожных оснований и особенно к цементам для укрепления грунтов.

Классификация цементов по всем параметрам основывается на действующем ГОСТ 31108, и через него проект ГОСТ Р... гармонизирован с европейскими стандартами.

Таким образом, проект ГОСТ Р... «Цементы для транспортного строительства» не уступает европейским и американским стандартам, а в части наличия требований к прочности на растяжение при изгибе даже превосходит последние. Проект не уступает также китайскому стандарту, хотя и не содержит требований по усадке и истираемости бетона дорожных покрытий. Однако нет данных, которые подтверждали бы целесообразность введения в стандарт на цемент этих критериев, поскольку они характеризуют свойства не столько цемента, сколько бетонных смесей.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. С. М. Рояк, Г. С. Рояк Специальные цементы. М. ГСИ, 1983. – с.278.
2. ГОСТ 10178 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия».
3. ГОСТ Р 55224 «Цементы для транспортного строительства. Технические условия».
4. З.Б. Энтин, «О разработке новых стандартов», Журнал «Цемент и его применение», Ноябрь – Декабрь 2011, с. 34-39.