

## АНАЛИЗ ВОПРОСОВ ПРИМЕНЕНИЯ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Наведено аналіз проблем застосування монолітного бетону в гідротехнічному будівництві. Виділено основні фактори, що впливають на властивості бетонних сумішей для підводного бетонування. Визначено шляхи подальших досліджень для розробки ефективних сумішей для підводного бетонування.

Приведен анализ проблем применения монолитного бетона в гидротехническом строительстве. Выделены основные факторы, влияющие на свойства бетонных смесей для подводного бетонирования. Определены пути дальнейших исследований для разработки эффективных составов для подводного бетонирования.

The article provides analysis of the issues of using monolithic concrete in hydro-technical construction, selects the main factors, influencing the characteristics of concrete mixtures for underwater concreting and determines the basic ways of further research for development efficient compositions for underwater concreting.

Бетон прочно занял место основного строительного материала в гидротехническом строительстве и, в частности, при подводном производстве работ. Несмотря на появление новых эффективных материалов и конструкций, бетон сохранит свое ведущее положение, по-видимому, и в новом тысячелетии. Сначала гидротехнический бетон применяли исключительно для монолитных конструкций гидросооружений. Однако в послевоенные годы отечественные строители стремились заменить монолитные конструкции сборными, что позволяло повысить темпы возведения гидротехнических сооружений.

В течение 1955–1965 гг. в СССР производство сборного железобетона по объему превышало его выпуск в США, Англии, Франции и ФРГ вместе взятых. За это время производство сборного железобетона в СССР увеличилось в 18 раз по сравнению с предыдущими годами.

В результате такого бурного развития применения сборного железобетона значительно отстали технология и методы механизации производства монолитных бетонных работ, из них объем производства гидротехнического бетона составлял около 35 %. Монолитный бетон и железобетон, как показывают расчеты, экономичнее сборного в подводных частях гидротехнических сооружений [1; 2].

В гидротехническом строительстве для монолитных бетонных и железобетонных конструкций и сооружений используют практически только цементные бетоны, приготовленные, как правило, на природных каменных заполнителях из плотных горных пород. Тяжелые бетоны плотностью 2 200...2 500 кг/м<sup>3</sup> с дополнительными требованиями по морозостойкости и водонепроницаемости называются гидротехниче-

скими. Легкие монолитные бетоны плотностью менее 2 100 кг/м<sup>3</sup> на естественных (шлак, пемза, туф) или искусственных (керамзит, аглопорит, вермикулит) заполнителях для гидротехнического строительства применяют редко.

Обеспечить высокое качество гидротехнических бетонных конструкций и сооружений возможно в результате комплекса мероприятий: назначения оптимального состава бетонной смеси с целью достижения необходимых ее технологических свойств и физико-механических характеристик затвердевшего бетона, надлежащей организации производства работ и использования обоснованных технологических приемов приготовления, транспортирования, укладки бетонной смеси и ухода за гидротехническим бетоном. В настоящее время эти вопросы остаются открытыми и требуется решение данной проблемы при возведении подводных сооружений. На сегодняшний день эти вопросы относятся к малоисследованной области бетоноведения. Поэтому с целью выбора пути дальнейших исследований был проведен анализ литературы посвященной вопросам применения монолитного бетона в гидротехническом строительстве.

Прежде всего, важно произвести выбор цемента для подводного бетонирования.

Важнейшей характеристикой цементов является их активность, определяемая по прочности при сжатии специально изготовленных образцов. Эффективное использование цемента в гидротехническом бетоне во многом связано с соответствием его марки прочности бетона. Поэтому бетонное хозяйство на строительстве гидротехнических объектов должно предусматривать использование различных марок и видов

цементов. Такая задача не вызывает технических затруднений, однако, ритмичная поставка необходимой номенклатуры цементов иногда не обеспечивается. «Вытягивание» высокой марки гидротехнического бетона на цементе недостаточной активности не только вызывает его перерасход, но нередко приводит к необходимости снижения водосодержания бетонной смеси.

Основной характеристикой цемента, влияющей на технологические свойства бетонной смеси для подводного бетонирования, является нормальная густота (НГ) цементного теста, непосредственно влияющая на водопотребность бетонной смеси. Естественно, что при заданном цементно-водном отношении (Ц/В) бетонной смеси, определяющем физико-механические характеристики затвердевшего гидротехнического бетона, увеличение нормальной густоты вызывает необходимость повышения расхода цемента в бетоне. Повышение нормальной густоты на 1 % приводит к перерасходу цемента примерно на 15...20 кг/м. Для гидротехнического бетона принято, что НГ не должна превышать 27 %. Обычно цементные заводы не выдерживают этого требования, добавляя к цементу повышенное количество инертных добавок.

Как установлено производственной практикой, для гидротехнического бетона очень важной характеристикой являются сроки схватывания цементного теста. Регламентированные стандартами сроки начала и конца схватывания, как правило, соблюдаются, но к сожалению, нередко колеблются в довольно широких пределах, что необходимо учитывать при назначении технологических режимов трубопроводного транспортирования и укладки бетонной смеси, связанных с кинетикой потери подвижности бетонной смеси во времени.

Серьезным препятствием при перекачивании бетонной смеси по трубопроводу в процессе подводного бетонирования является так называемое ложное схватывание некоторых цементов. Оно выражается в чрезвычайно интенсивной потере подвижности бетонной смеси сразу после ее приготовления. Сведения о влиянии этого эффекта на свойства бетонной смеси для подводного бетонирования в литературе отсутствуют. Причины ложного схватывания до конца не изучены, хотя обычно их объясняют обезвоживанием гипса при помолке горячего цементного клинкера. Одним из способов борьбы с ложным схватыванием является увеличение продолжительности перемешивания бетонной смеси, что не всегда возможно в условиях гидротехнического строительства.

Технология подводных бетонных работ ставит задачу ускорить схватывание цементного

теста в бетоне, твердеющем в водной среде. Есть сведения [1], что эти задачи можно решать введением различных специальных добавок и наполнителей.

Установлено, что принципы выбора цементов для подводных работ, кроме пуццолановой направленности, малоизучены и требуют более глубоких исследований.

Современное развитие технологии подводного ремонта и бетонирования, а также проектирования составов гидротехнических бетонов базируется на научных основах, разработанных А. А. Байковым, Б. Е. Веденевым, В. И. Дмитриевским, И. Е. Картевым, В. А. Киндом, С. Н. Курочкиным, В. М. Москвиным, С. Д. Огороковым, А. Н. Пшинько, В. Н. Пунагиным, Н. Н. Руденко, Б. Г. Скрамтаевым, В. В. Сторльниковым, Е. Г. Челиевым, С. В. Шестоперовым, В. Н. Юнгом и др.

Учеными установлено, что реологические свойства бетонной смеси для подводных работ чрезвычайно сильно зависят и от зернового (гранулометрического) состава применяемого мелкого заполнителя. Модуль крупности мелкого заполнителя  $M_{кр}$  весьма условно характеризует его свойства. При равном модуле крупности разные пески могут существенно отличаться по удельной поверхности и пустотности. Чем выше удельная поверхность песка и его пустотность, тем соответственно больше необходимо в бетонной смеси, транспортируемой по трубопроводу, цементного теста для создания цементной обмазки отдельных зерен песка и для заполнения пространства между ними.

Для трубопроводного транспорта обычно применяют литые бетонные смеси. Однако оптимальная гранулометрия мелкого заполнителя для таких смесей не исследована. Повидимому, обычные рекомендации об использовании крупных песков здесь неприменимы. Очевидно, что использование мелких песков по сравнению с крупными будет вызывать рост водопотребности бетонной смеси и некоторое повышение расхода цемента на 5...16 % при использовании равноподвижных смесей для равнопрочного гидротехнического бетона.

Важнейшей задачей гидротехнической лаборатории является назначение составов бетона, обеспечивающих необходимые технологические свойства бетонной смеси при трубопроводном транспортировании, и достижение заданных физико-механических характеристик подводного бетона при наименьшем расходе цемента. В гидротехническом строительстве обычно выдвигают другое, более общее условие – получение эконо-

мичного состава бетона. Несмотря на то, что цемент – наиболее дорогой компонент смеси, выполнение требований наименьшего расхода цемента или наименьшей стоимости гидротехнического бетона может в принципе привести к нежелательным результатам.

Методы определения состава гидротехнического бетона базируются на фундаментальных исследованиях связей между характеристиками и соотношениями составляющих его материалов, с одной стороны, и свойствами бетонной смеси и затвердевшего гидротехнического бетона – с другой. основополагающие исследования в области бетоноведения проведены И. Г. Малюгой, опубликовавшим результаты своих научных работ в 1895 и 1897 гг., Н. М. Беляевым, руководившим в 1927–1929 гг. комплексным изучением этой проблемы в Ленинградском институте инженеров путей сообщения, французским исследователем Р. Фере и американским ученым Д. Абрамсом, в 1918 г. доказавшим, что прочность бетона на конкретном цементе в широком диапазоне составов определяется отношением количества воды и цемента В/Ц. Это положение, получившее в дальнейшем название «закона водоцементного отношения», лежит и сегодня в основе практически всех методов определения составов бетона.

Другой важнейшей экспериментально установленной закономерностью, используемой при проектировании составов, является правило постоянства водосодержания. В соответствии с ним для конкретного состава используемых компонентов консистенция бетонной смеси при постоянном расходе воды практически не зависит от расхода цемента в диапазоне 200...350 кг/м<sup>3</sup>.

Свойства и содержание отдельных фракций заполнителей в гидротехническом бетоне существенно влияют как на его физико-механические характеристики, так и, в особенности, на консистенцию бетонной смеси. Обычно при назначении составов стремятся снизить водопотребность бетонной смеси, подбирая соответствующую долю песка  $r$  в смеси заполнителей.

Величину  $r$ , соответствующую минимуму водопотребности, считают для обычного бетона оптимальной. Однако при подборе составов гидротехнического бетона  $r$ , по-видимому, следует назначать несколько выше этого оптимума для обеспечения нераслаиваемости бетонной смеси для подводных работ. В противном случае неизбежные колебания характеристик заполнителей могут явиться причиной попадания  $r$  на левую ветвь параболы, характерную для

неудобообрабатываемых бетонов с недостаточной раздвижкой зерен крупного заполнителя растворной частью и склонных к сегрегации. Чем стабильнее характеристики заполнителей, тем ближе к оптимуму может назначаться  $r$ .

При нестабильных характеристиках заполнителя даже повышение  $r$  не избавляет от высокой колеблемости, водопотребности и, следовательно, консистенции бетонной смеси. В этих случаях следует увеличить (против необходимого для обеспечения прочности) расход цемента, что обеспечивает меньшую чувствительность технологических характеристик бетонной смеси при более пологой параболической зависимости ее водопотребности от  $r$ .

Основной технологической характеристикой бетонной смеси при трубопроводном транспортировании является ее консистенция. Для такого способа транспортирования обычно применяют высокоподвижные бетонные смеси.

Консистенция бетонной смеси должна обеспечивать надежность транспортирования и возможность укладки ее в опалубку подводной конструкции. Поэтому консистенцию следует назначать с учетом условий бетонирования и формы конструкции.

### Выводы

Таким образом, в результате проведенного анализа литературы, посвященной вопросам применения монолитного бетона в гидротехническом строительстве, было установлено, что наиболее важными факторами являются:

- выбор цемента для подводного бетонирования и модифицирующих добавок;
- оптимальный подбор зернового (гранулометрического) состава применяемого заполнителя;
- выбор метода определения состава гидротехнического бетона.

Сейчас проводятся исследования по оптимизации приведенных выше факторов с целью разработать эффективные составы для ремонта подводных транспортных сооружений. Результаты будут опубликованы в ближайшее время.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пшинько А. Н. Подводное бетонирование и ремонт искусственных сооружений: Монография. – Д.: Пороги, 2000. – 411 с.
2. Клочко Б. Г. Биоводостойкий гидротехнический бетон с полимерфенольными добавками: Монография. – Д.: Арт-Пресс, 1998. – 184 с.

Поступила в редколлегию 21.09.2005.