

Е. В. АНУФРИЕВА, Б. Г. КЛОЧКО (ДИИТ)

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ ДЛЯ ПОДВОДНОГО БЕТОНИРОВАНИЯ

У статті представлено результати експериментально-теоретичних досліджень придатності розчинних і бетонних сумішей для підводних ремонтних робіт. Показано, що розроблені склади гідротехнічних бетонів при застосуванні в агресивному середовищі характеризуються високою ефективністю.

В статье представлены результаты экспериментально-теоретических исследований пригодности растворяемых и бетонных смесей для подводных ремонтных работ. Показано, что разработанные составы гидротехнических бетонов при применении в агрессивной среде характеризуются высокой эффективностью.

The article is about the results of experimental-and-theoretical research of usefulness of mortar and concrete mixes for underwater repair works. It is shown that the developed compositions of hydraulic engineering concretes are characterized by high effectiveness in the corrosive medium.

Наименее изученным, требующим совершенствования, является процесс проведения подводных и надводных работ по восстановлению несущих бетонных и железобетонных конструкций различных сооружений. Как правило, выполняемые ремонтно-строительные работы в надводной части сооружений предназначены для восстановления защитных слоев или формы конструкций. Более сложные задачи ремонта возникают в подводной части сооружений. В результате совместного действия воды как среды механического воздействия течений и растворяющего действия жидкости повреждения конструкций носят более сложный характер. Подводный ремонт зачастую требует наращивания поврежденных конструкций, тампонирувания подмывов, ликвидации трещиноватости и выщелачивания бетона.

Ни один из известных способов назначения составов бетона и раствора нельзя применять при ремонте гидротехнических сооружений. Состав бетона для подводного бетонирования должен учитывать комплекс требуемых свойств, включая удобоукладываемость смеси, способность ее транспортирования по трубопроводу, требования к классу бетона и особенно к его стойкости в водной среде.

Целью исследований является получение высокоподвижных нерасплаивающихся бетонных смесей для проведения ремонтно-восстановительных работ на частях транспортных сооружений, эксплуатирующихся под водой.

Опыт и специальные исследования подводного бетонирования показывают, что требования только по прочности и подвижности недостаточны для определения пригодности бетона разных составов для бетонирования способом

вертикально поднимающейся трубы (ВПТ). Бетонная смесь после укладки под воду этим способом испытывает воздействие специфических подводных условий, резко отличающихся от условий бетонирования на суше. При таком способе бетонирования применяют бетонные смеси, состав которых отличается от применяемых при обычных бетонных работах. Следует отметить, что литые бетоны более других склонны к расслоению и потере связности, усиливающимся из-за воздействия на бетон условий укладки.

Бетонной смеси при укладке под воду необходимо пройти по воронке и достаточно узкой трубе и, выйдя из нее, распространиться в опалубке, преодолевая сопротивление ранее уложенной смеси. Из-за сложных траекторий движения расслоение литой бетонной смеси может начаться уже при движении ее в трубе, что вызывает образование сводов и пробок и нарушит непрерывность бетонирования. Потеря подвижности и расслоение смеси в процессе заполнения опалубки могут привести к нарушению монолитности подводной бетонной кладки и снижению ее общей прочности, вплоть до полного разрушения. Следовательно, кроме высокой подвижности, к бетонной смеси предъявляются требования по определенной связности, т.е. смесь должна обладать способностью удерживать во взаимной связи все компоненты, по возможности не отделяя ни одного из них.

Таким образом, для подводного бетонирования способом ВПТ качество и пригодность бетона должны оцениваться тремя показателями: прочностью бетона и стойкостью против агрессивного воздействия среды; подвижно-

стью; связностью бетонной смеси.

Укладка бетона способом ВПТ может производиться с применением каких-либо приемов дополнительного механического воздействия на бетонную смесь (трамбование, вибрация и т.д.) и без них.

Подвижность бетонной смеси, укладываемой под воду по трубам, должна быть высокой [1, 2]. Установлено, что для бетонирования способом ВПТ следует применять смеси с осадкой конуса 16...20 см. Как показывает опыт, смеси с осадкой 16...17 см целесообразно применять при первоначальном заполнении труб бетоном и наращивании защитного холмика у выходного (нижнего) конца трубы. В процессе бетонирования, при необходимом заглублении в бетон, следует использовать бетонную смесь высокой подвижности – с осадкой конуса 18...20 см.

Согласно наблюдениям за бетонными смесями в процессе их укладки, первоначальная подвижность смеси недостаточно характеризует пригодность смеси для подводного бетонирования. Любая бетонная смесь должна сохранять свою подвижность в течение транспортировки и укладки, т.к. вновь укладываемые порции бетона должны распространяться в толще ранее уложенной бетонной смеси, а первоначальная подвижность смеси после ее подачи в воронку не может быть восстановлена дополнительными операциями (перемешивание, вибрация и т.д.). Сохранение подвижности бетонной смеси во времени зависит от ее состава и свойств материалов, употребляемых для приготовления бетона. Известно, что смеси, быстро теряющие подвижность, несмотря на высокие первоначальные показатели, могут сильно усложнить процесс бетонирования, а в некоторых случаях окажутся вообще непригодными для подводного бетонирования.

В свежеприготовленной бетонной смеси одновременно происходят химические и физические процессы, которые связаны с гидратацией цементных зерен, водоотделением, уплотнением и расслоением смеси [3]. Поэтому лишь испытанием самой смеси в условиях, аналогичных условиям ее укладки в дело, можно определить способность смеси сохранять свою подвижность. В частности, нельзя связывать сохранение подвижности главным образом со временем начала схватывания цементного теста. Как известно, методика определения этого показателя условна и не отражает реального существа процессов, протекающих в цементном тесте. При высоких водоцементных отношениях (0,55...0,60), предназначенных для подводного бетонирования, время начала схватывания цементного теста резко увеличивается по сравнению с тестом нормальной плотности, при которой определяется паспортное время начала и конца схватывания. Исследования показывают, что в бетонах с высоким содержанием воды (205...220 л/м<sup>3</sup>) влияние цементов со временем начала схватывания более 1 часа практически не сказывается на сохранении подвижности бетонных смесей. В этом случае основное влияние оказывают состав бетона и водоудерживающая способность его составляющих.

Как следует из табл. 1, последовательные измерения осадки конуса и построенные на их основании кривые могут служить характеристикой способности смеси сохранять свою подвижность. Эти данные показывают степень влияния цемента и состава смеси на сохранение подвижности смеси. Первые три смеси приготовлены на цементе с паспортным временем начала схватывания в 5 ч, а смесь № 4 – на цементе со временем начала схватывания 2 ч 30 мин.

Таблица 1

**Подвижность бетонных смесей различных составов**

Состав по массе, Ц : П : Щ	Ц, кг/м <sup>3</sup>	В, л/м <sup>3</sup>	Время начала схватывания цементного теста, ч-мин	Начальная осадка конуса, см	Изменение подвижности бетонной смеси, см, во времени через, мин			
					30	60	90	120
1 : 2,01 : 2,90	356	210	4-40	18	10,0	5,0	1,0	0
1 : 2,10 : 3,10	320	210	4-40	19	16,4	10,2	1,4	0
1 : 2,05 : 3,10	340	210	4-00	19	17,2	15,2	10,2	1,8
1 : 2,05 : 3,10	340	210	2-30	19	18,1	16,1	11,4	1,8

Для определения продолжительности сохранения бетонной смесью подвижности, достаточной для сохранения нормального процесса бетонирования способом ВПТ, введен коэффициент сохранения подвижности бетонной смеси (К), определяемый как время, в течение которого бетонная смесь рабочего состава в условиях укладки сохраняет свою подвижность до величины, характеризуемой осадкой конуса в 14...16 см.

Величина осадки конуса, характеризующая наименьшую степень подвижности, при которой еще может осуществляться процесс бетонирования, установлена на основании данных о давлении подводного бетона на опалубку. Установлено, что увеличение давления по мере роста столба бетона наблюдается в определенной зоне, величина которой зависит от интенсивности бетонирования и времени, в течение которого бетонная смесь не изменяет свою подвижность. Из опытов подводного бетонирования на основании фактически замеренных величин давления среднее значение коэффициента К было определено величиной, равной 1,5. Введение коэффициента сохранения подвижности К оказалось весьма удобным как для оценки качества бетонных смесей, так и для определения рациональных режимов процесса подводного бетонирования.

Дальнейшие наблюдения за бетонными смесями в процессе их укладки показали, что приведенный метод определения времени сохранения подвижности дает величину коэффициента К, достаточно верно характеризующую состояние укладываемой бетонной смеси. При перерывах в бетонировании меньших, чем значение К, не происходит образования пробок бетона в

трубах, и бетонирование может быть возобновлено после некоторого уменьшения заглубления.

В отличие от обычных бетонов, бетонные смеси, применяемые при бетонировании способом ВПТ, должны обладать высокой степенью связности. Способность смеси сохранять свою подвижность, а также устойчивое состояние, находится в прямой зависимости от её связности. Некоторые представления о связности смеси можно получить по её внешнему виду, особенно при измерении осадки конуса. Если измерение осадки конуса смеси сопровождается отслаиванием крупного заполнителя, вытеканием раствора или полным падением конуса, следовательно, эта смесь является неустойчивой, малосвязной и непригодной для подводного бетонирования. Такая визуальная оценка позволяет определить непригодные для подводного бетонирования смеси. Таким образом, необходимо установить показатель связности и его допустимые пределы.

При определении пригодности бетонных смесей для подводного бетонирования как в лабораторных условиях, так и в строительстве в качестве характеристики связности принята величина относительного водоотделения  $\Delta B$ .

Установлена зависимость между связностью бетонной смеси и её водоотделением при одинаковой осадке конуса (табл. 2). Исследования смесей позволили сделать вывод, что величину относительного водоотделения бетонных смесей для подводного бетонирования способом ВПТ необходимо устанавливать лабораторным путем. Обычно величина  $\Delta B$  должна находиться в пределах от 0,01 до 0,03.

Таблица 2

**Технологические характеристики подводного бетона (способ ВПТ)**

Состав по массе, Ц : П : Щ	Характеристика смеси				Характеристика удобоукладываемости смеси
	ОК, см	В/Ц	Ц, кг/м <sup>3</sup>	$\Delta B$	
1 : 3,01 : 2,38	18	0,66	320	0,05	Расслаивается на бойке, конус рассыпается
1 : 2,68 : 2,56	19	0,64	345	0,03	Заклинивается в трубе диаметром $d = 15$ см, быстрая потеря подвижности
1 : 2,72 : 2,24	18	0,62	345	0,02	Хорошее прохождение трубы. Прочность образцов, отформованных под водой, составила 85 % прочности образцов стандартного изготовления
1:2,72:2,22	19	0,60	350	0,02	Легко проходит по трубам. Сохраняет подвижность до 14...16 см до 1,5 ч. Прочность образцов, залитых под водой, составила 80 % прочности стандартных образцов

Исследования смесей, имеющих относительное водоотделение меньше установленной оптимальной величины, показали, что нет необходимости в значительном его снижении. Нужно отметить, что связные смеси с незначительным водоотделением имеют весьма малый коэффициент  $K$ , то есть так же быстро теряют свою подвижность, как и смеси с высоким водоотделением. При высоком водоотделении потеря подвижности происходит вследствие расслоения смеси и быстрого ее уплотнения.

Для производства работ способом восходящего раствора (ВР) применяются следующие материалы: камень, цемент, песок и вода. Камень, используемый для подводного бетонирования, может быть любых пород, рваный или в виде валунов. Камни имеют размеры от 15 до 35 см и не содержат примесей щебня. Покрытый водорослями камень после его высыхания следует промыть водой с применением проволочных щеток.

Для приготовления раствора используют чистый песок, примесь глинистых частиц не должна превышать 3 %. При бетонировании способом восходящего раствора крупность и гранулометрический состав песка имеют большое значение, т.к. этими параметрами определяются связность и подвижность раствора, необходимые для плотного заполнения пустот каменной наброски [4].

Вид цемента и его активность для приготовления раствора выбираются в соответствии с требованиями, предъявляемыми к бетону, и определяются условиями службы сооружения. Следует отметить, что существующие инструкции не рекомендуют использовать для подводного бетонирования цемент, время начала схватывания которого менее 2 ч [4].

Исследованиями установлено, что в подводных условиях время начала схватывания цементного теста с В/Ц = 0,7...0,77 увеличивается до 6 ч, что позволяет рекомендовать обычный

портландцемент М500 для бетонирования способом ВР. Растворы на основе такого цемента оказались наиболее связными и стабильными. Результаты экспериментов подтверждают, что нельзя ограничивать применение цемента для подводного бетонирования паспортными сроками схватывания, определяемыми при В/Ц нормальной густоты.

Раствор для подводного бетонирования способом ВР должен удовлетворять таким требованиям: обладать подвижностью; иметь высокую связность; быть стабильным, т.е. способным сохранять продолжительное время свои начальные свойства. Последнее требование является особенно важным при транспортировке раствора по трубам.

Выполненные эксперименты на растворах различных видов цемента с применением местных песков и различных вяжущих, позволили установить показатели для оценки пригодности раствора для подводного бетонирования:

— по подвижности — раствор должен свободно вытекать из воронки объемом 1 л через цилиндрическую насадку диаметром 1 см; оптимальному составу раствора соответствует скорость вытекания средней трети содержимого прибора в течение 10 с или осадка по малому конусу  $M_k = 17...18$  см;

— по связности — относительное водоотделение раствора как показатель связности за время отстаивания в сосуде 1 ч должно быть в пределах 3,0...4,0 %;

— по прочности — предел прочности при сжатии образцов размером 7х7х7 см в 7-суточном возрасте должен быть не менее 11 МПа.

Состав раствора изменялся в зависимости от вида и свойства применяемых цемента (табл. 3).

Таблица 3

Основные характеристики растворов для способа ВР

Вид цемента	Состав раствора <sup>1</sup>		Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>			Свойства раствора			
						OK <sup>2</sup> , см	ΔВ, см	R <sub>сж</sub> , МПа в возрасте, сут	
	по массе	В/Ц	Ц	П	В			7	28
Портланд-цемент	1:1,7	0,70	600	1020	420	17,8	0,025	10,0...12,0	16,0...19,0
Пуццолановый	1:1,8	0,70	600	1080	420	17,4	0,03	5,0...7,0	11,0...12,0
Сульфатостойкий	1:2,0	0,70	600	1200	420	17,4	0,03	9,0...11,0	14,0...16,0

Примечания. 1. Средняя плотность раствора 2000...2100 кг/м<sup>3</sup>;

2. Подвижность — осадка по малому конусу, см.

## Вывод

Результаты экспериментов показали, что использование обычного портландцемента удовлетворяет принятым требованиям. Растворы на его основе подвижные, связные и прочные.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пшинько, А. Н. Подводное бетонирование и ремонт искусственных сооружений [Текст] / А. Н. Пшинько. – Д.: Пороги, 2000. – 412 с.
2. Инструкция по применению литых бетонов в гидротехническом строительстве [Текст] : ВСН

27-81: Утв. Минэнерго СССР 01.09.81 / Минэнерго СССР. – М., 1982. – 39 с.

3. Пунагін, В. М. Призначення складів гідротехнічного бетону [Текст] / В. М. Пунагін, О. М. Пшінько, Н. М. Руденко – Д.: Арт-Прес, 1998. – 192 с.
4. Інструкція по призначенню складів гідротехнічного бетону на активованій в'язучій речовині [Текст] / Міністерство транспорту України. – К., 2001. – 24 с.

Поступила в редколлегию 11.03.2009.