

*В.М. ЗВЕРЕВ, Б.Н. МЕЛЬКОВ, М.С. ШЕРСТЮКОВ*

## **БЕТОНЫ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ МАЛЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ**

Проведен подбор состава и получены лабораторные образцы бетонов, рекомендуемых для изготовления изделий малых архитектурных форм.

Цель данной работы – получение бетонов, наиболее приемлемых по составу, структуре и свойствам для изготовления декоративных изделий малых архитектурных форм с учетом того, что такие изделия эксплуатируются на открытом воздухе, подвержены действию атмосферных факторов (увлажнению и высыханию, действию солнечного излучения, мороза и пр.). Кроме того, бетон для таких изделий должен удовлетворять определенным технологическим требованиям: возможности изготовления из него тонкостенных деталей, легкости шлифовки и полировки, применения с целью уплотнения бетонных смесей не только вибрирования, но и прессования и др.

Изложенным требованиям, лучше всего, удовлетворяют мелкозернистые бетоны. Расход цемента на мелкозернистые, так называемые песчаные бетоны на 20... 30 % выше, чем на равные им по прочности обычные бетоны. Для уменьшения расхода цемента применяют химические добавки, а также наряду с обычными песками используют высевки – песок, полученный при дроблении камня с отсевом соответствующих фракций для создания плотной упаковки, а также мелкий щебень с наибольшей крупностью 10 мм. В то же время, надо иметь в виду, что для бетонов, применяемых в декоративных конструкциях на открытом воздухе, повышенный расход цемента оправдан увеличением атмосферостойкости и облегчением абразивной обработки.

Для получения мелкозернистых бетонов в работе использованы следующие материалы.

**Цемент.** Использовались цементы производства холдинга «ЕВРОЦЕМЕНТ груп» (завода Фокино). Для лабораторных образцов и для основного (неокрашенного) слоя изделий малых архитектурных форм применяли цемент ЦЕМ II/A-Ш 32,5Н ГОСТ 31108-2003 (ПЦ 400 Д20). Вследствие длительного хранения, активность указанного цемента оказалась сниженной до 300.

Для лицевого слоя окрашенных пигментами изделий применялся свежий цемент более высокого класса ЦЕМ I 42,5Н ГОСТ 31108-2003 (ПЦ 500 Д0).

**Песок.** Для получения достаточной плотности и водонепроницаемости бетона, а также более ровной поверхности изделий применяли природный мелкий песок карьера «Ваулины горы» с модулем крупности 1,5-2,0.

Высевки и мелкий щебень получали дроблением гранитного щебня из Карелии с наибольшей крупностью 20 мм на лабораторной щековой дробилке с последующим отсевом пыли. Гранитные мелкие зерна придают бетону после шлифовки и полировки текстуру естественного камня.

### *Химические добавки*

**РЕЛАМИКС-Н.** По своим потребительским свойствам «РЕЛАМИКС Н» соответствует требованиям ГОСТ 24211-03 для пластифицирующих - водоредуцирующих добавок (класс суперпластификаторов), ускорителей твердения и добавок, повышающих прочность. Добавка представляет собой смесь пластифицирующего (на основе полиметиленафталинсульфонатов натрия) и ускоряющего (мономерные органические соединения) компонентов.

Введение добавки «РЕЛАМИКС Н» по сравнению с бетоном без добавки обеспечивает:

- увеличение подвижности бетонной смеси от П1 до П5;
- повышение прочности бетона (в равноподвижных смесях): в первые сутки нормального твердения на 30%, в возрасте 3 суток - на 40%, в возрасте 28 суток - на 20%; при ТВО - на 30%;
- снижение количества воды затворения до 20% (в равноподвижных смесях);

- сокращение продолжительности ТВО;
- снижение расхода цемента до 10-15% (в равноподвижных смесях);
- значительно сократить время и энергетические затраты на вибрирование бетонной смеси, а в некоторых случаях полностью отказаться от него;
- в 1,5 - 1,6 раза увеличить сцепление бетона с закладной арматурой и металлоизделиями;
- получить бетоны с повышенной водонепроницаемостью, морозостойкостью (в равноподвижных смесях).

Суперпластификатор С-3 (СП) – разработка российских специалистов НИИЖБа, является аналогом зарубежных суперсуперпластификаторов "Майти 100" (Япония), Сикамент, Мельмент (Германия), не уступая им по качеству. Добавка С-3 в количестве 0,3 - 0,7 % от массы цемента позволяет получить литые самоуплотняющиеся, практически не требующие вибрации бетонные смеси, а при снижении расхода воды затворения - бетоны повышенной прочности при неизменной подвижности смеси. Можно использовать оба эти эффекта частично, т.е. получать смеси повышенной подвижности по сравнению с исходной и одновременно несколько увеличивать прочность бетона за счет снижения расхода воды. По потребительским свойствам и технической эффективности добавка С-3 относится к 1 группе пластифицирующих добавок (суперпластификаторы). Суперпластификатор С-3 - продукт, получаемый при многостадийном органическом синтезе. Основа - нафталинформальдегидная.

Применение суперпластификатора С-3 позволяет:

Увеличить текучесть бетонных и цементных растворов в 6-7 раз;

Снизить водопотребление при затворении вяжущего вещества на 18-25%;

Увеличить конечные прочностные характеристики на 25-30%;

Применять обычные цементы для получения бетонов более высоких марок;

Регулировать сроки схватывания, изменяя количество вводимой добавки С-3;

В 1,5-1,6 раз увеличить сцепление бетона с закладной арматурой и металлоизделиями с одновременным ингибированием поверхности металла;

Получить "литые" бетоны с повышенной трещиностойкостью, морозостойкостью (до 300 циклов и выше), с повышенной влагонепроницаемостью (W6 и выше);

Экономить (заменять дешевыми заполнителями) вяжущее (цемент) до 20-25%.

Суперпластификатор даёт дополнительное воздухововлечение в бетоны в пределах 2-4%.

ГКЖ. Гидрофобизирующая жидкость 136-41 (ГОСТ 10834-76) представляет собой этилгидросилоксановый полимер.

Использование кремнийорганических соединений в строительных материалах позволяет:

Увеличить подвижность бетонных смесей в 2-4 раза

Повысить морозостойкость в 3 - 5 раз.

Повысить коррозионную стойкость в 1,5-2 раза по сравнению с бетонами и растворами без добавок.

Повысить стойкость к попеременному увлажнению и высыханию.

Снизить капиллярный подсос, водопоглощение, водопроницаемость, повысить водостойкость.

Сократить расход цемента (вяжущего) или повысить прочность раствора на 30-40%.

### *Пигменты*

Охра применяется для изготовления красочных составов со всеми связующими. Бывает самых различных оттенков от светло-желтого и золотистого до темного, красноватого и даже коричневого. По цвету делится на четыре группы: первая — чисто желтый, вторая — темно-желтый, третья — коричневый и четвертая - красноватый. Три первые группы имеют по шести номеров оттенков, а четвертая группа — семь. Имеется шкала для определения цвета охры. Охра представляет собой глину, окрашенную окислами железа. Выпускается трех сортов: высшего сорта, отмученная и обыкновенная.

При прокаливании охры получают черлядь — жженую охру красноватого цвета, применяемую, главным образом, в водных красочных составах. Охра — одна из наиболее дешевых, употребительных и прочных красок, устойчивых к щелочи, извести и свету.

Сурик железный применяется в водных и масляных красочных составах. Представляет собой размолотую в тонкий порошок железную руду, содержащую не менее 75% окиси железа; имеет кирпично-красный цвет.

Подбор состава мелкозернистого бетона, приготовление смесей, изготовление и испытание образцов.

Состав мелкозернистого бетона подбирали в соответствии с СН 488-76.[1] Использовали формулы и номограммы из монографии В.П. Сизова [2].

Подобранный состав корректировали по результатам испытания бетонных образцов.

По указанной методике нами рассчитаны и апробированы мелкозернистые бетоны следующего состава (кг. на 1 м<sup>3</sup> бетона).

Бетон для лабораторных образцов без добавок.

Цемент 360 кг

Песок 600 кг

Высевки и мелкий щебень 1240 кг

Вода 180 л

Бетон для лабораторных образцов с пигментом.

Состав тот же, что у бетона 1, добавлен желтый пигмент в количестве 4 % от массы цемента, количество воды немного увеличено для получения смеси, равной по подвижности со смесью для бетона 1.

Бетон для лабораторных образцов с добавками (Реламикс-Н, С-3, ГКЖ-11)

Состав тот же, что у бетона 1, но количество воды уменьшено до получения равноподвижных смесей.

Все коррективы по изменению количества воды вносились во время лабораторных замесов.

Кроме того, для сравнения получен бетон (лабораторные образцы) состава, аналогичного бетону 1, в котором высевки и мелкий щебень заменены щебнем 5... 20 мм в том же количестве (Среднезернистый бетон).

Бетон для декоративной плиты (отформованной в научно-производственной лаборатории) – состав для основной массы плиты, кроме лицевого слоя.

Цемент 370 кг/м<sup>3</sup>

Щебень до 10 мм и высевки 1145 кг/м<sup>3</sup>

Песок 570 кг/м<sup>3</sup>

Вода 220 л/м<sup>3</sup>

Бетон для лицевого слоя декоративной плиты.

Цемент 650 кг/м<sup>3</sup>

Высевки 1330 кг/м<sup>3</sup>

Вода 260 л/м<sup>3</sup>

Пигмент красный 26 кг/м<sup>3</sup>

Для изготовления бетонных образцов-кубов готовили замесы объемом 4 л, формовали образцы-кубы с ребром 70 мм – для определения прочности и водонепроницаемости (по 4 шт.) и кубики с ребром 40 мм – для определения структурных характеристик по Бруссеру (12 шт.).

Замес проводили вручную, добавки вводили в виде раствора или эмульсии (для ГКЖ) в воде затворения.

Подвижность определяли по распылу малого конуса, как при определении нормальной консистенции цементного раствора в стандартном методе определения активности цемента; распыл во всех случаях регулировали содержанием воды и поддерживали в пределах 110-115 мм. Образцы подвергали тепловлажностной обработке в пропарочной камере по режиму 2 + 2 + 6 + (ночное время), т.е. первые два часа без нагрева (на схватывание), два часа подъем температуры до 60 градусов, шесть часов изотермической выдержки, остывание в ночное время. При извлечении из камеры

температура была около 40 градусов, т.е. остывание происходит очень медленно и практически собственно термообработка продолжается значительно более 6 часов.

Декоративную двухслойную плиту размером 1200 x 600 x 50 мм изготовили в научно-производственной лаборатории, бетонную смесь готовили в гравитационном бетоносмесителе на 100 литров по сухим компонентам. Уплотнение поверхностным вибратором в две стадии: сначала основной слой, затем накладывается и уплотняется лицевой слой.

Определение прочности при сжатии полученных образцов проводили по стандартной методике на гидравлическом прессе на 50 тс.

Водопоглощение, плотность и характеристики пористой структуры бетона определяли по кинетике водопоглощения дискретным методом [3] Результаты испытаний обрабатывали на компьютере.

Водонепроницаемость определяли по ускоренной методике, рекомендованной ГСИ [4] с обработкой результатов на компьютере.

#### *Обсуждение результатов*

Результаты проведенного исследования сведены в таблицу.

Все приведенные бетоны получены из равноподвижных смесей (П1) имеют одинаковое содержание заполнителей и цемента, отличаются содержанием воды и добавок. При пластифицирующих добавках (все, кроме пигмента) содержание воды уменьшено до одинаковой подвижности.

Мелкозернистые бетоны без добавок и с пигментом имеют прочность 15,5... 15,7 МПа, что несколько ниже прочности среднезернистого бетона (с НК щебня 20) при том же В/Ц = 0,5. Прочность бетонов с добавками маркой выше - 19,8... 22,2 МПа. Повышение прочности в данном случае связано с уменьшением количества воды (водоцементного отношения), так как добавки использованы здесь в качестве водоредуцирующих с целью создания равноподвижных смесей с бетонами без добавок.

Водонепроницаемость обычного щебневого бетона (с НК щебня 20) соответствует обычной норме W2. (0,2 МПа) Для мелкозернистого бетона даже без добавок водонепроницаемость повышается до 0,3 МПа. Введение добавок значительно повышает водонепроницаемость. Все добавки – пластификаторы, как известно из данных о микроструктуре цементных материалов, измельчают зерно цементного камня, улучшая тем самым структуру камня, создавая структуру пор с высоким капиллярным потенциалом.

*Таблица*

**Сравнение полученных бетонов по структуре и свойствам**

Свойство или структурная характеристика	Бетон со щебнем с НК = 20	Мелкозернистые бетоны				
		Без добавок	С пигментом	С добавкой Реламикс-Н	С добавкой С-3	С добавкой ГКЖ
Прочность, МПа	16,2	15,7	15,5	21,0	22,2	19,8
Водонепроницаемость, в МПа (или марка, ат)	0,2 (W2)	0,3	0,3	0,8 (W8)	0,6 (W6)	0,5
Водопоглощение по массе, %	9,02	6,48	7,44	4,04	4,39	4,77
Относительная плотность	2,17	2,24	2,38	2,24	2,21	2,16
Водопоглощение по объему, %	19,57	14,52	17,71	9,05	9,70	10,30
Интегральная пористость, %	20,22	16,78	18,66	13,30	13,39	13,49

Условно-замкнутая пористость, %	0,65	2,26	0,95	4,25	3,69	3,19
Коэффициент равномерности пористости	0,104	0,429	0,158	0,593	0,644	0,492
Коэффициент среднего размера пор	148	7,12	47,2	1,10	1,04	1,06

Водопоглощение по массе и по объему (открытая пористость) у мелкозернистых бетонов без добавок и с пигментом меньше, чем у обычного щебневого бетона, у бетонов с добавками еще меньше, что согласуется с данными о водонепроницаемости.

Условно-замкнутая пористость у бетонов с добавками больше, чем у других бетонов, что может быть связано с эффектом воздухововлечения, характерным для пластификаторов. Этот эффект объясняется увеличением гидрофобности стенок пор (гидрофобизацию в той или иной степени создают практически все органические вещества в бетоне).

Плотность всех бетонов (кроме бетона с пигментом) можно считать одинаковой (расхождения – в пределах ошибок опыта) – 2,2. Несколько выше – 2,38 – плотность бетона с пигментом, возможно по причине высокой плотности самого пигмента. Равенство плотностей бетонов свидетельствует о том, что общий объем пор в них также практически одинаков, а отличия в свойствах объясняются различием структуры порового пространства и смачиваемости стенок пор.

Коэффициенты равномерности пористости и коэффициенты среднего размера пор подтверждают известные данные о том, что пластифицирующие добавки создают в бетоне однородную структуру с характерной тонкой пористостью

#### *Заключение*

Были подобраны составы декоративных бетонов для изделий малых архитектурных форм и исследовано влияние крупности заполнителя и пластифицирующих (водоредуцирующих) добавок на структуру и свойства бетона.

Для производства изделий малых архитектурных форм рекомендованы мелкозернистые бетоны с добавками суперпластификаторами, а также с добавками, которые наряду с пластифицирующим эффектом дают дополнительно повышение водонепроницаемости бетона (например, «Реламикс-Н»).

Применение добавок обязательно в цветных бетонах с некоторыми пигментами (например, охра), разрыхляющими структуру мелкозернистого бетона. Добавки сглаживают этот эффект.

Получен образец изделия – декоративная плита, в которой в качестве основного материала используется мелкозернистый бетон без добавок, а лицевой слой выполнен из бетона на высевках (искусственном песке) с пигментом, суперпластификатором и повышенным содержанием цемента. Для придания декоративности и дополнительного повышения атмосферостойкости плита подвергнута полировке. Производство таких двуслойных изделий позволяет экономить пигменты и добавки.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Инструкция по приготовлению мелкозернистого (песчаного) бетона. СН 488-76. – М. : Стройиздат, 1977.
2. В.П. Сизов. Проектирование составов тяжелого бетона. – М. : Стройиздат, 1979.
3. Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. – М. : Стройиздат, 1979.
4. Рекомендация ГСИ. Материалы цементные. Методика выполнения измерений водонепроницаемости ускоренным методом. МИ 2625-2000. – М. : 2000.