

А.В. ШЕЙНФЕЛЬД, канд. техн. наук; Ю.А. КИСЕЛЕВА, Л.В. ПУТЫРСКАЯ, инженеры, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (Москва)

## Контроль качества высокопрочных бетонов классов В60 и В90 при возведении монолитных конструкций

Использование высокопрочных бетонов классов В60 и В90 при строительстве подземной части высотного комплекса на уч. № 15 ММДЦ Москва-Сити, а также отсутствие надежной приборной базы и апробированных методик, позволяющих определять прочность бетона классов выше В60 в конструкциях неразрушающими методами, поставило задачу уточнить существующие методы контроля качества высокопрочного бетона монолитных конструкций в процессе их возведения.

Высотный комплекс административных зданий законодательной и исполнительной власти г. Москвы на уч. № 15 ММДЦ Москва-Сити представляет собой 78-этажное сооружение общей высотой 330,8 м.

Железобетонный каркас 6-этажной подземной части здания, имеющий в плане размеры 97,1×97,1 м и высоту 18 м, в соответствии с проектом, разработанным ЗАО «Курортпроект», включает следующие конструкции из высокопрочных бетонов (рис. 1 и 2):

- колонны сечением от 1,5×1,5 до 2×2,5 м, Г-образные пилоны и стены центрального ядра толщиной 0,6–1 м, а также отдельные участки прижимной стены из бетона класса В90 общим объемом около 10 тыс. м<sup>3</sup>;
- плиты перекрытия толщиной 0,3 м, колонны сечением от 0,6×0,6 до 0,9×0,9 м, стены лестниц и лифтов вне пределов ядра, а также стены пандусов и отдельные участки прижимных стен и из бетона класса В60 общим объемом около 16,5 тыс. м<sup>3</sup>.

Возведение подземной части высотного комплекса в период с 19.02.2009 г. по 26.02.2010 г. осуществлялось корпорацией «МонАрх» в соответствии с технологическим регламентом, разработанным НИИЖБ.

При бетонировании густоармированных колонн, пилонов и стен центрального ядра применялась самоуплотняющаяся бетонная смесь марки БСТ В90 П5 ГОСТ 7473–2010 с распылом конуса 60–70 см на основе комплексного органоминерального модификатора

марки МБ10-30С, а при бетонировании других конструкций применялись высокоподвижные смеси марки БСТ В60 П5 ГОСТ 7473–2010 с осадкой конуса 22–24 см на основе комплексных органоминеральных модификаторов марок МБ10-50С и ЭМБЭЛИТ 8-100 [1].

Поставка бетонных смесей осуществлялась заводами ООО «Стройпроект», ЗАО «Ингеокомпром», ООО «СУ-24» и ООО «БМГ-Трейд».

В процессе научно-технического сопровождения строительства НИИЖБ, институтом ОАО НИЦ «Строительство» совместно с НИИСФ РААСН были разработаны уточнения и дополнения стандартных методов испытаний для высокопрочных бетонов по ГОСТ 7473–2010 «Смеси бетонные. Технические условия»; ГОСТ 10180–90 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам»; ГОСТ 22690–88 «Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля»; ГОСТ 28570–90 «Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкции» и ГОСТ Р 53231–2008 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности», а также создана система контроля качества высокопрочного бетона монолитных конструкций в процессе их возведения.

Принцип системы приемочного контроля заключался в комплексном применении нескольких видов и методов испытаний, которые составляли три уровня контроля качества высокопрочного бетона.

**На первом уровне** производились контроль и оценка косвенных характеристик бетонов по нескольким технологическим параметрам бетонных смесей, что позволяло осуществлять предварительную отбраковку смесей до укладки в конструкции и оперативно корректировать их состав с учетом используемых на данный момент материалов и погодных условий.

**На втором уровне** контролировались заданные регламентом параметры производства бетонных работ и вы-



Рис. 1. Общий план участка № 15 ММДЦ Москва-Сити



Рис. 2. Конструкции колонн и перекрытий

**Таблица 1**

Марка бетонной смеси	Объем бетонной смеси, тыс. м <sup>3</sup>	Количество партий, шт.	Характеристики бетонных смесей			Объем бетонной смеси, не удовлетворяющий требованиям регламента, м <sup>3</sup> / %
			Подвижность, см	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Температура, °С	
БСТ В60 П5	16,513	464	21–26	2370–2420	8–20	102 / 0,6
БСТ В90 П5	9,955	294	60–69	2425–2480	8–21	96 / 1

**Примечание.** Приведены характеристики бетонных смесей, уложенных в конструкции.

**Таблица 2**

Марка бетонной смеси	Объем бетонной смеси, тыс. м <sup>3</sup>	Кол-во партий, шт.	Характеристики бетона в партиях				Количество партий с прочностью бетона, менее требуемой для данного класса, шт. / %
			Средняя прочность при сжатии, МПа в возрасте, сут			Однородность (коэффициент вариации), %	
			7	28	90		
БСТ В60 П5	16,513	464	67,8	83,5	–	5,6–9,7	2 / 0,4
БСТ В90 П5	9,955	294	85,4	97,1	103,8	4,7–5,8	11 / 3,7

**Таблица 3**

Марка бетонной смеси	Объем бетонной смеси, тыс. м <sup>3</sup>	Кол-во конструкций, шт.	Характеристики бетона в конструкциях			Количество конструкций, имеющих фактический класс ниже проектного, шт. / %
			Средняя прочность при сжатии, МПа в возрасте, сут		Однородность (коэффициент вариации), %	
			28	90		
БСТ В60 П5	16,513	342	79,8	–	4,5–9,7	2 / 0,6
БСТ В90 П5	9,955	497	–	102,6	2,4–10,2	13 / 2,6

держивания конструкций, а также определялась прочность бетона в партиях и группах конструкций по контрольным образцам, изготовленным на строительной площадке, что позволяло оценивать качество бетона, поступающего на стройплощадку, и выделить конструкции, которые требуют дополнительного внимания при неразрушающем контроле.

**На третьем уровне** осуществлялось определение прочности бетона в конструкциях механическими методами неразрушающего контроля с их привязкой к фактической прочности бетона, определенной по образцам-кернам, что позволяло с учетом достигнутой ее однородности оценить соответствие фактического класса бетона требованиям проекта.

Для выполнения работ по контролю качества бетона на строительной площадке НИИЖБ совместно с концерном «МонАрх» была организована строительная лаборатория площадью более 50 м<sup>2</sup> с размещением современного оборудования, отделения по изготовлению и хранению контрольных образцов и камеральных помещений с круглосуточным режимом работы.

Рассмотрим более детально каждый уровень системы контроля качества, а также методы испытаний, которые связаны со спецификой высокопрочных бетонов и обоснованы накопленным опытом их производства и результатов испытаний.

*Контроль качества бетонной смеси*

Контроль, оценку качества и приемку бетонных смесей осуществляли партиями объемом не более 120 м<sup>3</sup> в соответствии с ГОСТ 7473–2010 и ГОСТ 10181–90. Отбор проб бетонной смеси осуществляли из автобето-

носмесителей (АБС) после интенсивного перемешивания загруженной в него смеси в течение не менее 5 мин. Каждая партия бетонной смеси сопровождалась данными о фактическом составе бетонной смеси (компьютерной распечаткой фактического количества загруженных в АБС материалов) и проверялась по обязательным показателям – подвижности и средней плотности, а при необходимости по дополнительным показателям – пористости, расслаиваемости и температуре.

Контроль характеристик бетонных смесей осуществлялся со следующей периодичностью:

- все заданные показатели качества определялись на пробе из первого в партии АБС;
- на пробах, отобранных из последующих четырех АБС, определялись подвижность (осадка или распылыв конуса) и средняя плотность;
- при стабилизации указанных параметров на заданном уровне в дальнейшем из каждого десятого АБС осуществлялся контроль подвижности бетонной смеси.

Результаты контроля качества бетонных смесей приведены в табл. 1.

*Контроль производства бетонных работ и прочности бетона в партиях и группах конструкций*

Контроль качества бетонных работ осуществлялся круглосуточно в соответствии с условиями, оговоренными в технологическом регламенте на стадиях подготовительных работ и бетонирования конструкций, а также в процессе твердения бетона и выдерживания конструкций в заданном температурном режиме.

Определение и оценка прочности бетона в партиях и группах конструкций по контрольным образцам

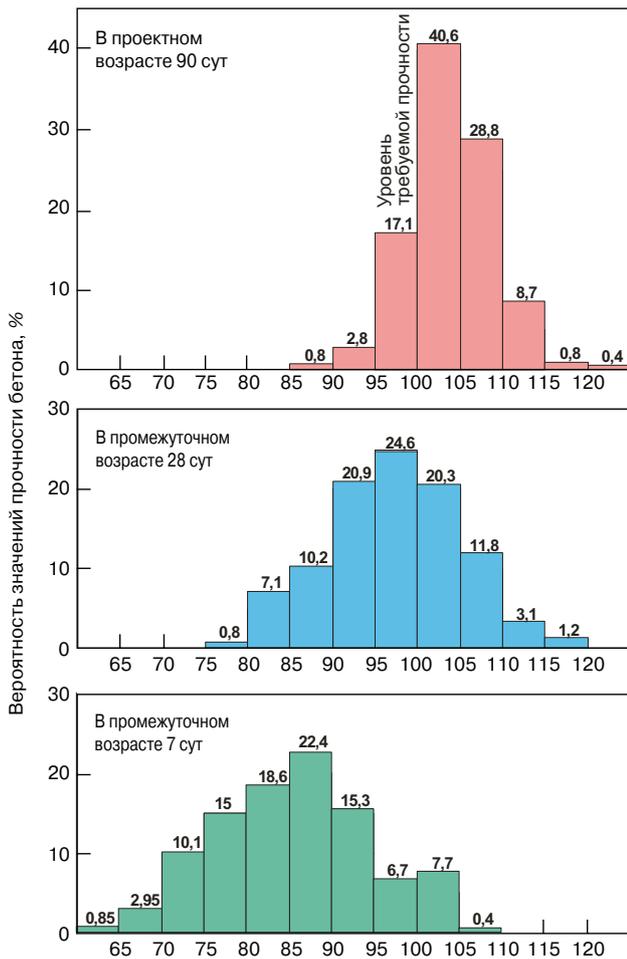


Рис. 3. Прочность бетона проектного класса В90 в 294 партиях и группах конструкций по контрольным образцам

осуществлялись в соответствии с ГОСТ 10180–90 и ГОСТ Р 53231–2008.

Пробы бетонной смеси, из которых изготавливали серии контрольных образцов для определения прочности бетона, отбирались из первого АБС и из второй половины партии. При этом количество контрольных образцов в серии принимали не менее 4 шт. – для определения прочности в проектном возрасте и не менее 2 шт. – в промежуточном или более позднем возрасте.

В связи с тем, что обеспечить соответствие температурно-влажностных условий твердения контрольных образцов-кубов размерами 10×10×10 см и бетона в массивных конструкциях было невозможно, контрольные образцы твердели в нормальных условиях – при температуре (20±3)°С и относительной влажности воздуха (95±5)%.

Для изготовления контрольных образцов бетона проектного класса В90 использовали неразборные пластиковые формы, так как при применении металлических сборно-разборных форм значение внутрисерийного коэффициента вариации увеличивалось в 1,5–1,7 раза.

Определение прочности бетона контрольных образцов осуществлялось на прессе «ALFA 3000» с максимальной разрушающей нагрузкой 300 тн, опорная плита которого имела марку по твердости по Роквеллу 55 HRC и была размечена при помощи специального оборудования, а устройство ограничителей разметки не использовалось.

Результаты контроля прочности бетона по контрольным образцам приведены в табл. 2.

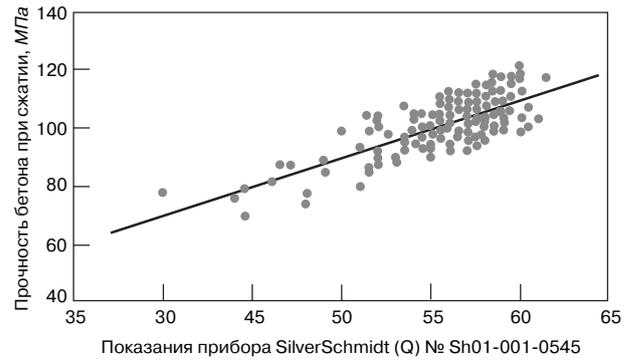


Рис. 4. Градуировочная зависимость прочности бетона проектного класса В90 от показаний прибора неразрушающего контроля Silver Schmidt Type N

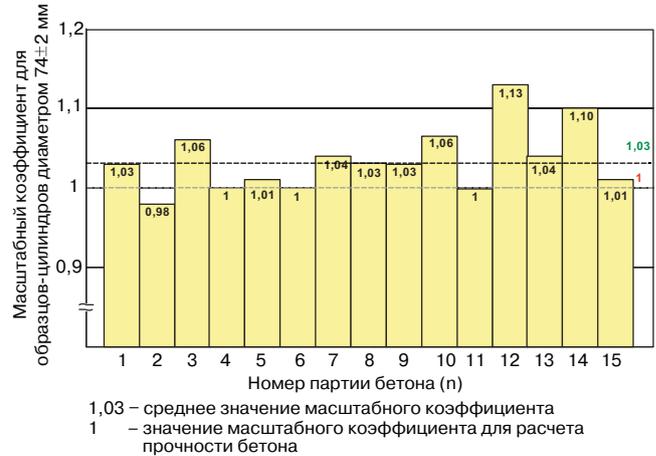


Рис. 5. Результаты экспериментального определения масштабного коэффициента α для образцов-цилиндров диаметром 74±2 мм

Обобщенные данные о прочности бетона в 294 партиях и группах конструкций, выполненных из бетонной смеси марки БСТ В90 П5 ГОСТ 7473–2010, в промежуточном (7 и 28 сут) и проектном (90 сут) возрасте, а также их вероятностная оценка представлены на рис. 3.

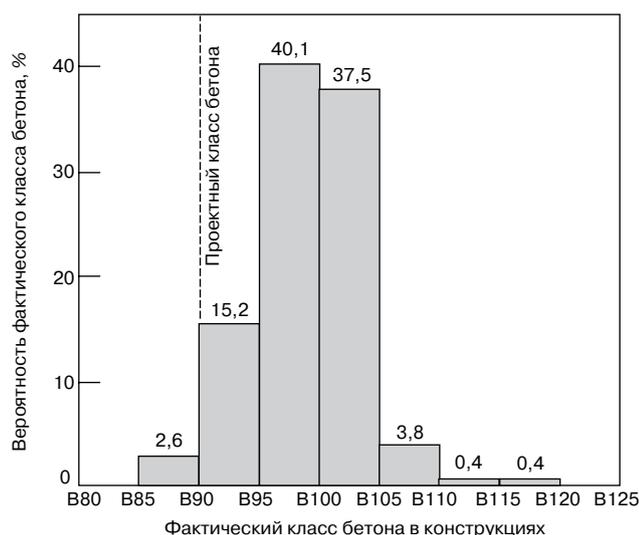
Контроль прочности бетона в конструкциях

Определение прочности бетона в конструкциях осуществляли механическим методом неразрушающего контроля (ударного импульса) по ГОСТ 22690–88 с учетом следующих уточнений и дополнений:

1. Использовался прибор неразрушающего контроля марки Silver Schmidt Type N Швейцарской фирмы Proceq SA с высокой энергией удара (2,2 Дж) и рабочим диапазоном измерений прочности бетона от 10 до 170 МПа.

2. Построение градуировочной зависимости между показаниями прибора неразрушающего контроля (Q) и фактической прочностью бетона осуществлялось путем сопоставления данных испытаний одних и тех же 236 участков конструкций в возрасте более 90 сут неразрушающим методом ударного импульса и по образцам-цилиндрам, изготовленным из кернов, выбуренных из конструкций по ГОСТ 28570–90, что позволяло учитывать изменение прочности бетона по глубине конструкции.

Полученная градуировочная зависимость (рис. 4) прочности бетона (R) проектного класса В90 от показаний (Q) прибора Silver Schmidt Type N была представлена в виде линейного уравнения  $R = 2,01Q - 10,86$  и имела коэффициент корреляции  $r = 0,76$  (более 0,7) и погрешность определения прочности бетона  $S_T/R_{cp} = 5,9\%$  (менее 15%), что допускает ее применение согласно ГОСТ 22690–88.



**Рис. 6.** Фактический класс бетона в 497 конструкциях, выполненных из бетонной смеси БСТ В90 П5 ГОСТ 7473–2010, по данным неразрушающего контроля

3. Определение прочности бетона по образцам, отобранным из конструкций по ГОСТ 28570–90, осуществлялось на каждом участке по трем образцам-цилиндрам диаметром  $74 \pm 2$  мм и высотой 70–80 мм, имеющим отклонения от плоскости шлифованных опорных поверхностей не более 0,1% диаметра. Испытание образцов с нешлифованными опорными поверхностями, имеющих более значительные отклонения от плоскостности, приводило к снижению прочности бетона на 20–39%.

4. Масштабный коэффициент  $\alpha$ , учитывающий размер поперечного сечения образцов, определяли экспериментальным путем по результатам сравнительных испытаний 135 образцов-цилиндров диаметром  $94 \pm 2$  и  $74 \pm 2$  мм, выбуренных из контрольных образцов размерами  $15 \times 15 \times 15$  см, изготовленных из 15 партий бетонных смесей, и принимали равным единице (рис. 5).

Результаты контроля прочности бетона в конструкциях неразрушающим механическим методом ударного импульса приведены в табл. 3.

Обобщенные данные о фактическом классе бетона в 497 конструкциях, выполненных из бетонной смеси марки БСТ В90 П5 ГОСТ 7473–2010, в проектном возрасте 90 сут, а также их вероятностная оценка представлены на рис. 6.

Заключения о прочности и фактическом классе бетона в конструкциях, их соответствие требованиям проекта, а также методы и материалы для восстановления отдельных конструкций составлялись на основании анализа результатов комплексных испытаний на всех трех уровнях контроля качества высокопрочного бетона в процессе возведения монолитных конструкций.

Результаты контроля качества 758 партий бетонных смесей общим объемом 26,468 тыс. м<sup>3</sup> и 839 конструкций из высокопрочных бетонов классов В60 и В90 при возведении подземной части высотного комплекса административных зданий показали, что использование многоуровневого контроля позволило:

1. Осуществить предварительную отбраковку около 1% бетонных смесей до их укладки в конструкции и оперативно корректировать процесс производства бетонных смесей с учетом качества используемых на данный момент материалов и погодных условий.

2. Оценивать качество бетона, поступающего на стройплощадку, а также выделить около 2% партий конструкций, которые требуют дополнительного внимания при неразрушающем контроле.

3. Определить соответствие фактического класса бетона конструкций требованиям проекта с учетом достигнутой ее однородности и выявить около 2% конструкций, требующих оценки авторов проекта.

*Выводы*

1. Разработана система контроля высокопрочных бетонов в процессе возведения монолитных конструкций, которая гарантирует получение объективных данных о фактических характеристиках качества бетона и дает достоверную оценку их соответствия требованиям проекта.
2. Определены приборы и апробированы методики, позволяющие контролировать качество бетонов классов В60–В90 в монолитных конструкциях.
3. Выпущен стандарт предприятия СТО 36554501-011–2008 «Контроль качества высокопрочных тяжелых и мелкозернистых бетонов в процессе возведения монолитных конструкций», в котором отражены уточнения и дополнения к требованиям ГОСТ 7473–2010, ГОСТ 10180–90, ГОСТ 22690–88, ГОСТ 28570–90, ГОСТ 18105–86 и ГОСТ Р 53231–2008, связанные со спецификой высокопрочных бетонов и обоснованные накопленным опытом их производства и испытаний.

**Ключевые слова:** высокопрочный бетон, контроль качества, конструкции, монолитный бетон.

**Список литературы**

1. Каприелов С.С., Травуш В.И., Карпенко Н.И. и др. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях // Строительные материалы. № 3. 2008. С. 9–13.

**10-13 АПРЕЛЯ 2012 г. УФА**  
 ДВОРЕЦ СПОРТА ул. Р.Зорге, 41

**XVI СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА**  
**КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ**  
**ОТОПЛЕНИЕ**  
**ВОДОСНАБЖЕНИЕ**

**XVII СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА**  
**ВСЁ для СТРОИТЕЛЬСТВА и РЕМОНТА**

Башкирская выставочная компания (347) 253 38 00, 253 14 33 stroy@bvkepo.ru  
 www.bvkepo.ru