

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ  
СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ПРОМЫШЛЕННОЕ  
И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»**

(г. Минск, БНТУ — 24.05.2011)

УДК 691.32.008.6

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И КОНТРОЛЬ  
КАЧЕСТВА БЕТОНА НА ОСНОВЕ СТАНДАРТОВ  
ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА**

*СНЕЖКОВ Д.Ю., ЛЕОНОВИЧ С.Н., ВОЗНИЩИК А.В.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Вопросы определения прочностных свойств бетона в конструкциях нельзя назвать ключевыми в строительстве, но в то же время, их актуальность за последние годы не только не снизилась, а возросла в связи с распространением высотного строительства, использованием конструкций из высокопрочного бетона. Востребован контроль бетона in-situ и при работах по реконструкции зданий, в особенности, если планируется изменение нагрузок на несущие конструкции, находившиеся в эксплуатации.

Трудности в оценке прочности бетона конструкций обусловлены в первую очередь тем, что осуществить ее непосредственное измерение путем испытания изъятых из массива конструкции образцов в подавляющем большинстве случаев не представляется возможным. Причины очевидны: основная - риск снижения несущей способности конструкции, в особенности тонкостенной, а густое армирование зачастую не позволяет получить полноценные испытательные образцы. Но и наличие образцов, а их количество не может быть большим по указанным выше причинам, еще не дает оснований экстраполировать их показатели на весь массив конструкции.

Сходные проблемы сопровождают и процесс монолитного строительства: технологический контроль производится по прошествии проектного срока твердения контрольных образцов-кубов, физико-механические свойства которых могут значительно отличаться от свойств бетона конструкции. На рис. 1 приведены статистические данные испытаний бетона конструкций и контрольных образцов по некоторым объектам монолитного строительства г. Минска.

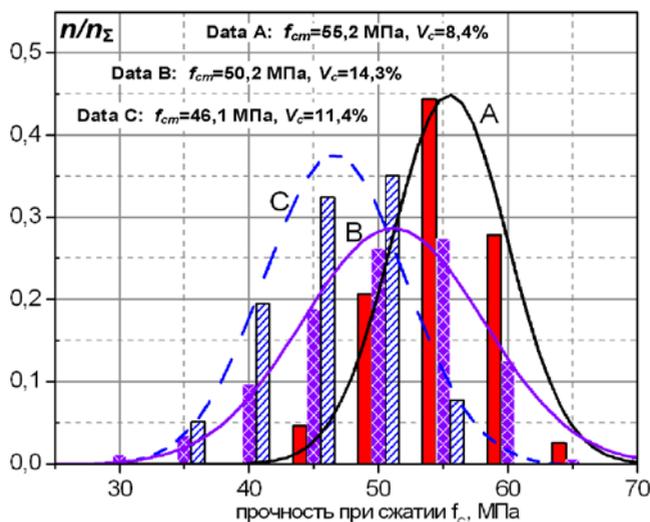


Рис. 1. Гистограммы оценок прочности бетона контрольных образцов и бетона монолитных колонн

А – образцы БРУ; (бетон проектного класса С35/45 с добавкой «Стахе-пласт – М»); В – контрольные образцы объекта за период 2,5 – 3 месяца; (А, В – стандартный метод испытаний – ГОСТ10180-90, ГОСТ18105-86); С – бетон монолитных колонн (метод отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690)

Значительный разброс значений прочности образцов не позволяет отнести бетон к проектному классу С35/45, при том, что данные испытаний образцов бетоно-растворного узла указанный класс подтверждают. Можно было бы предположить, что в самой конструкции прочность бетона будет обеспечена в большей степени, чем в контрольных образцах, и это предположение находит подтверждение данными как прямых испытаний изъятых образцов-кernов, так и данными метода отрыва со скалыванием (рис.1). Но и в этом слу-

чае гарантированная прочность бетона (при статистической обеспеченности 95%) оказывается ниже значения для соответствующего класса. Причем в большей степени данное соотношение показателей прочности характерно для бетонов достаточно высоких классов – С30/37 и выше.

Из изложенного следует:

- регламентируемый СТБ EN 206-1-2009 класс прочности бетона определяет фактически качественные показатели бетонной смеси без учета условий ее применения;

- снижение гарантированного показателя прочности бетона в конструкциях по отношению к его проектному значению по СТБ EN 206-1-2009 является неизбежным; этот факт необходимо признать и «узаконить» соответствующими нормативами;

- реальной альтернативой (или дополнением) существующей системе технологического контроля монолитного бетона в конструкциях является контроль неразрушающими методами.

Общим для отечественных стандартов и европейских норм является вероятностный подход в системе оценки нормируемых параметров, который в Европейских нормах представлен методикой расчета показателей прочности по типу (методу) А. В то же время, не все методы контроля позволяют получить достаточно большую для статистической обработки выборку данных испытаний. В этом случае применяют нестатистические методы обработки. По международным стандартам такие методы расчета относятся к типу В.

Различия в оценке неопределенности результатов испытаний и, соответственно, в определении характеристических параметров прочности бетона по Европейским нормам и действующим в РБ не являются существенными. Более существенно различие критериев соответствия бетона конструкций к классу по прочности по EN 206-1. СНБ 5.03.01, (п.13.2.1) [1] и СТБ EN 206-1-2009 фактически не допускают снижения прочностных показателей бетона в конструкции. Это в итоге способствует возникновению определенной конфликтности отношений между проектировщиком, производителем бетонных работ и заказчиком, поскольку по результатам испытаний, если до них доходит дело, производитель работ уже заранее находится в невыгодном положении. Поэтому интерес может представлять собой подход в нормировании прочности бетона в конструкциях, по европейскими нормами EN 13791:2007 [2] - Оценка

прочности на сжатие конструкций и элементов сборного бетона в реальных условиях (Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen), поскольку они допускают снижение характеристической прочности бетона

### **Оценка прочности бетона конструкций по EN 13791:2007**

Структура взаимосвязей EN 13791:2007 с другими стандартами приведена на рис. 2.

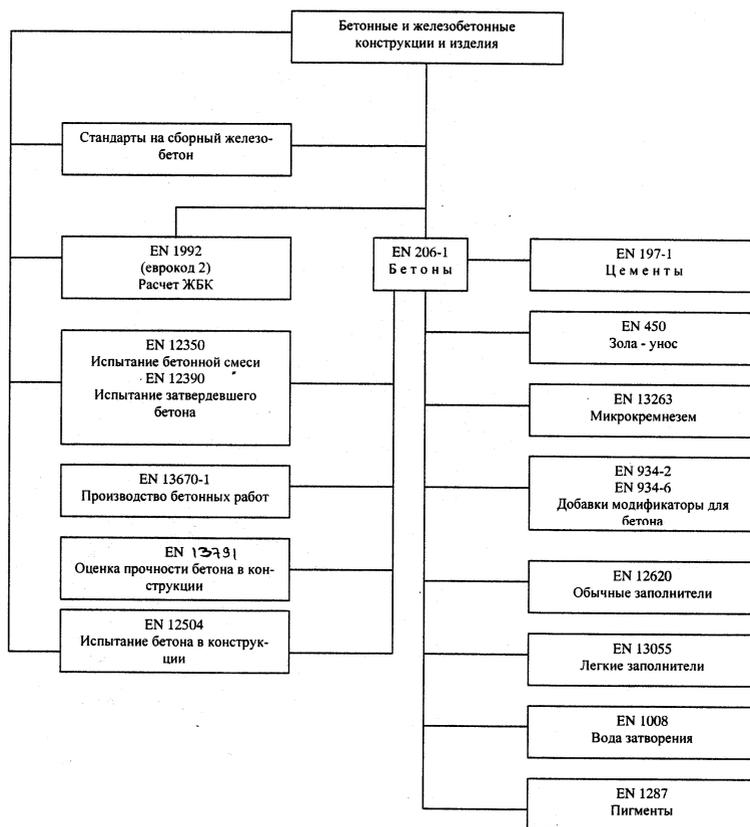


Рис. 2. Евростандарт EN 13791:2007 и его взаимосвязи в структуре стандартов для бетона

EN 13791:2007 содержит:

методы и процедуры по оценке прочности на сжатие бетона в строительных конструкциях и сборных элементах;

принципы и указания по установлению зависимостей между результатами испытаний при использовании косвенных методов испытаний и прочностью на сжатие образцов-кернов, отобранных из бетона в конструкции;

указания по оценке прочности на сжатие бетона в строительных конструкциях и сборных элементах посредством косвенных или комбинированных методов испытаний.

В качестве основного, эталонного метода контроля рассматривается метод испытания образцов-кернов (EN 12504-1). Однако стандарт регламентирует процедуры определения класса бетона конструкций и косвенно: методом отрыва со скалыванием (EN 12504-3), методом упругого отскока (EN 12504-2) и ультразвуковым импульсным методом (EN 12504-4). Перечисленные стандарты методов испытаний практически не имеют отличий от действующих на данный момент в Республике Беларусь ГОСТ 28570, ГОСТ 22690 и ГОСТ 17624.

Характеристическая (гарантированная) прочность на сжатие бетона конструкции может оцениваться при использовании эталонного метода испытаний по методу А или методу В. Метод А используется в случаях, если в распоряжении имеется минимум 15 образцов; метод В – если имеется от 3 до 14 образцов-кернов.

Метод А

Характеристическая прочность на сжатие области испытаний является наименьшей из двух следующих значений:

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k_2 \cdot s \quad (1)$$

или

$$f_{ck, is} = f_{is, min} + 4, \quad (2)$$

где  $s$  – стандартное отклонение результатов испытаний или принимается равным 2 МПа (берется большее значение);

$f_{m(n), is}$  – среднее значение  $n$ -результатов испытаний прочности на сжатие бетона конструкции (in situ);

$k_2$  – устанавливается национальными предписаниями, при их отсутствии принимается  $k_2 = 1,48$ .

Метод В

За оценку характеристической прочности на сжатие области принимается наименьшее из двух следующих значений:

$$f_{ck, is} = f_m(n), is - k \quad (3)$$

или

$$f_{ck, is} = f_{is, min} + 4, \quad (4)$$

где  $f_{is, min}$  – наименьший результат испытаний прочности на сжатие бетона в конструкции;

Коэффициент  $k$  определяется количеством  $n$  результатов испытаний; значение  $k$  берется из таблицы 1.

Таблица 1 – Коэффициент  $k$  для малого количества результатов испытаний

| $n$   | $k$ |
|-------|-----|
| 10-14 | 5   |
| 7-9   | 6   |
| 3-6   | 7   |

В соответствии с СНБ 5.03.01 (п.13.2), - если расчеты выполняются по данным, полученным при натурном обследовании конструкций, значение гарантированной прочности бетона  $f_c, f_{cube}$  следует принимать равным 80 % от средней прочности бетона (в МПа), определенной ускоренными методами, либо равным значению гарантированной с обеспеченностью 0,95 прочности бетона (в МПа), определенной по результатам статистической оценки. Для промежуточных значений условного класса бетона по прочности на сжатие расчетные характеристики допускается определять линейной интерполяцией. Оценка характеристической прочности по первому варианту можно сопоставить с результатом расчетов по методу В EN 13791 (см. рис. 3). Верхней штриховой линии соответствует  $k = 7$ , нижней –  $k = 5$  (табл. 1).

Приведенные графики показывают, что для низких классов бетона условия соответствия прочности бетона нормативному значению более жесткие по EN 13791, чем по СНБ 5.03.01; разница минимальных средних значений прочности для бетона класса C8/10 достигает 5 МПа. Кроме того, EN 13791 накладывает ограничение

для наименьшего результата испытаний прочности бетона  $f_{i,s,min}$  (рис. 3).

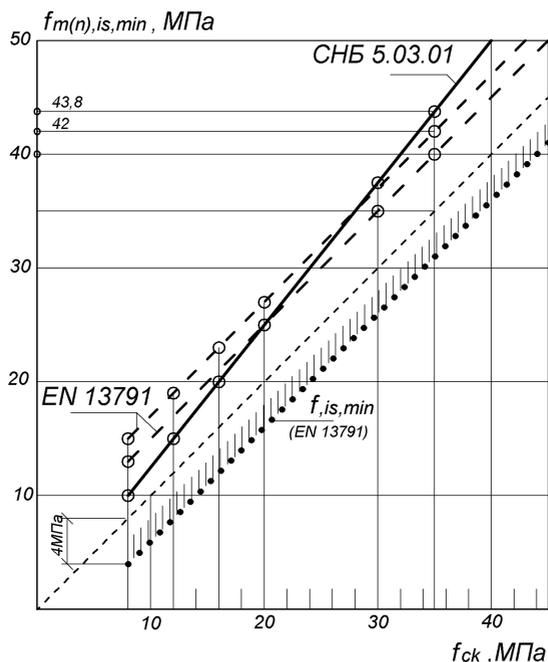


Рис. 3. Соответствие минимально допустимых средних значений прочности бетона конструкций  $f_{m(n),is,min}$  его нормативной (характеристической) прочности по СНБ 5.03.01 – сплошная линия, и по EN 13791 – штриховые линии

Для высоких классов соотношение меняется, - минимальная средняя прочность по СНБ 5.03.01 превышает этот же показатель по EN 13791 почти на 4 МПа для бетона класса С35/45. Методика определения условного класса бетона по СНБ 5.03.01 схожа с методикой используемой в ГОСТ 18105 [5] и российских СТО 02495307-005-2008 [4] и СТО 36554501-009-2007 [3], которая устанавливает переменное значение коэффициента требуемой прочности в зависимости от вариации оценок прочности.

Второй вариант требования СНБ 5.03.01, сопоставимый с результатами расчетов по методу А EN 13791 (1, 2) несколько мягче,

поскольку в качестве дополнительного условия оценки гарантированной прочности не рассматривается минимальное значение единичного отсчета (4).

EN 13791 позволяет использование косвенных методов испытаний бетона конструкций для оценки характеристической прочности, в том числе и с использованием так называемых базовых градуировочных зависимостей. Характеристическая прочность определяется только по методу А, на основе результатов испытаний бетона минимум в 15 зонах контроля. В качестве оценки характеристической прочности принимается меньшее из двух следующих значений:

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - 1,48 \cdot s \quad (5)$$

или

$$f_{ck, is} = f_{is, min} + 4, \quad (6)$$

где  $s$  – стандартное отклонение результатов испытаний или принимается равным 3 МПа (берется большее значение).

EN 13791 регламентирует процедуру коррекции градуировочных зависимостей косвенных методов, а также базовой градуировочной зависимости на основе данных совместных испытаний бетона конструкций косвенными и эталонными методами.

Необходимость коррекции диктуется в первую очередь тем, что вариация прочности бетонных образцов, по которым устанавливается градуировочная зависимость для косвенного метода и вариация прочности бетона в конструкциях имеют разные причины. Вариация прочности градуировочных образцов создается, как правило, искусственно, - обычно вариацией водоцементного отношения бетонной смеси. На прочность бетона конструкции влияет значительно большее число «естественных» факторов, среди которых следует выделить режимы укладки и уплотнения бетонной смеси, температурный режим твердения бетона. Перечисленные факторы, кроме влияния на прочность бетона, оказывают влияние на его упруго-деформативные свойства, причем степень влияния на прочность и, к примеру, модуль упругости бетона у перечисленных выше факторов разная. Косвенные же методы контроля бетона чувствительны практически ко всему спектру физико-механических параметров бетона, а не только к его прочности, и степень чувствительности и даже ее знак у разных методов различаются. И если рассматривать

косвенный параметр неразрушающего метода как отображение лишь только прочности бетона, то изменения технологии бетона будут искажать ее оценку.

Коррекция градуировочных зависимостей под конкретные условия основывается на использовании эталонных методов контроля.

По EN 13791 коррекция осуществляется смещением градуировочной зависимости по оси  $f_c$  на величину  $\Delta f$ , рассчитываемой по формуле

$$\Delta f = \delta f_{m(n)} - k_1 \cdot s, \quad (7)$$

$$\delta f_{m(n)} = \sum_{i=1}^n \frac{f_{is,i} - f_{NDT,i}}{n}, \quad (8)$$

где  $f_{is,i}$  - единичное значение прочности эталонным методом испытаний;

$f_{NDT,i}$  - единичное значение прочности по градуировочной кривой косвенного метода испытаний;

$s$  - стандартное отклонение величины  $(f_{is,i} - f_{NDT,i})$ ;

$k_1$  - коэффициент (см. табл. 2).

Таблица 2 – Коэффициент  $k_1$

| $n$ | $k_1$ |
|-----|-------|
| 9   | 1,67  |
| 10  | 1,62  |
| 11  | 1,58  |
| 12  | 1,55  |
| 13  | 1,52  |
| 14  | 1,50  |
| >14 | 1,48  |

$n$  - числа пар результатов совместных испытаний

Основным отличием EN 13791 является установление критериев соответствия условного класса (характеристической прочности) бетона конструкций и класса по прочности по EN 206-1 (см. табл. 3), допуская снижение прочности бетона в конструкциях.

Таблица 3 – Характеристическая прочность на сжатие бетона в конструкции для классов прочности по EN 206-1

| Класс прочности по EN 206-1 | Отношение прочности на сжатие бетона в конструкции к характеристической прочности стандартных образцов | Характеристическая минимальная прочность на сжатие бетона в конструкциях, Н/мм <sup>2</sup> |                    |
|-----------------------------|--|---|--------------------|
|                             |  | $f_{ck, is}$ , цилиндр  | $f_{ck, is}$ , куб |
| C8/10                       | 0,85   | 7   | 9                  |
| C12/15                      | 0,85   | 10  | 13                 |
| C16/20                      | 0,85   | 14  | 17                 |
| C20/25                      | 0,85   | 17  | 21                 |
| C25/30                      | 0,85   | 21  | 26                 |
| C30/37                      | 0,85   | 26  | 31                 |
| C35/45                      | 0,85   | 30  | 38                 |
| C40/50                      | 0,85   | 34  | 43                 |
| C45/55                      | 0,85   | 38  | 47                 |
| C50/60                      | 0,85   | 43  | 51                 |
| C55/67                      | 0,85   | 47  | 57                 |
| C60/75                      | 0,85   | 51  | 64                 |
| C70/85                      | 0,85   | 60  | 72                 |
| C80/95                      | 0,85   | 68  | 81                 |
| C90/105                     | 0,85   | 77  | 89                 |
| C100/115                    | 0,85   | 85  | 98                 |

Примечание: Прочность на сжатие бетона в конструкции может быть меньше, чем та, что получена на стандартных образцах из той же партии бетона.

На рис. 4 представлены результаты испытаний монолитных колонн из бетона проектного класса по прочности C25/30 неразрушающими методами. Для определения прочности использовались градуировочные зависимости, полученные путем совместных испытаний прессовым (по ГОСТ 10180) и неразрушающими методами контрольных образцов в возрасте 28 сут. с обследуемого объекта строительства. Вариация прочности образцов (от 17 МПа до 45,1 МПа) позволила получить градуировочные зависимости с достаточно высокими коэффициентами корреляции (табл. 4).

Колонны испытывались в возрасте от 18 до 26 месяцев. Разница в возрасте колонн и градуировочных образцов, а также неидентичность условий их твердения до проектного возраста привела к искажению оценок прочности всех неразрушающих методов.

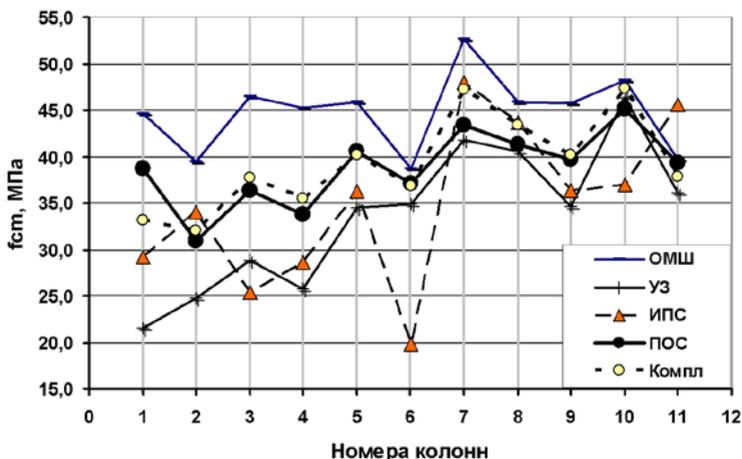


Рис. 4. Результаты определения средней прочности бетона монолитных колонн неразрушающими методами

Таблица 4

| Тип прибора | Градуировочная зависимость            | Коэффициент корреляции, $r$ |
|-------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| ОМШ-1       | $f_c = 1.734 \cdot h - 22.3$          | 0.77                        |
| УК1401      | $f_c = 505 \cdot e^{-0.0709 \cdot t}$ | 0.84                        |
| ИПС-МГ4.01* | $f_c = 1.01 \cdot f_{c,bas} + 5$      | 0.8                         |

\*Градуировочная зависимость скорректирована по данным испытаний методом отрыва со скалыванием

Оценки метода ударного импульса (прибор ИПС-МГ4.01) оказались заниженными в среднем на 5 МПа, метода упругого отскока (ОМШ-1) – завышенными в среднем на 9 МПа, оценки ультразвукового импульсного метода (УК1401) - заниженными в среднем на 11 МПа, причем в отдельных случаях (колонна 6/А (+4,200) оценки ультразвукового метода оказались заниженными на 26 МПа. При обследовании поверхности указанной колонны были обнаружены множественные трещины усадочного характера длиной порядка 2 – 4 см и раскрывом около 0,1 мм, имеющих нерегулярную ориентацию по отношению к оси колонны.

Характерным для приведенных данных (рис. 4) является отчетливо выраженная взаимная компенсация погрешностей ультразвукового и метода упругого отскока, что указывает на эффективность комбинирования этих методов контроля.

В качестве заключения следует заметить, для качественного расчета несущей способности системы совместно работающих железобетонных конструкций и их элементов, кроме оценки прочности не менее важной является информация об упруго-деформативных характеристиках бетона, - его упругих модулях, ползучести, вязкости, хрупкости разрушения и др.. Актуальность этого вопроса возрастет в связи с расширением использования в практике строительства высокопрочных бетонов, обладающих малой деформативностью и имеющих склонность к хрупкому разрушению.

Не менее востребованной такая информация будет и при определении перспективы безопасной эксплуатации конструкций и сооружений оказавшихся в условиях экстремальных термических и механических воздействий, что может привести к радикальным изменениям физико-механических свойств бетона.

В настоящее время такого рода контроль не определен нормативно, что обусловлено в первую очередь отсутствием соответствующих методик испытаний бетона *in situ* и низкой информативностью для указанных выше параметров бетона существующих измерительных средств.

### ***ЛИТЕРАТУРА***

1. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. – Минск: Минстройархитектуры, 2003. – 139 с.
2. DIN EN 13791-2009 Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen.
3. СТО 36554501-009-2007 Бетон. Ультразвуковой метод определения прочности.
4. СТО 02495307-005-2008 Бетон. Определение прочности методом отрыва со скалыванием.
5. Бетоны. Правила контроля прочности: ГОСТ 18105-86. – Введ. 01.01.87. – М.: 1987. – 16 с.