

УДК 691.32.008.6

Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонович, Л.В. Ким

СНЕЖКОВ ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства (Белорусский национальный технический университет, Минск). Пр-т Независимости, 65, Минск, Республика Беларусь, 220013. E-mail: snezhkov-d-u@yandex.ru

ЛЕОНОВИЧ СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных технологий (Белорусский национальный технический университет, Минск). Пр-т Независимости, 65, Минск, Республика Беларусь, 220013. E-mail: sleonovich@mail.ru

КИМ ЛЕВ ВЛАДИМИРОВИЧ – кандидат технических наук, доцент, заведующий Научно-конструкторской лабораторией проектирования морских инженерных сооружений МНОЦ «Дальневосточный Арктический инжиниринговый центр» Инженерной школы (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток). Суханова ул., 8, ДВФУ (Инженерная школа), Владивосток, 690950. E-mail: kim_lv@dvf.u.ru

Мониторинг железобетонных конструкций на основе неразрушающих испытаний бетона: методы контроля, критерии соответствия

Рассмотрены вопросы мониторинга прочностных показателей бетона возводимых конструкций неразрушающими методами с позиций нормативов, действующих в Республике Беларусь, Российской Федерации и странах Евросоюза. На основе статистики натурных испытаний бетона монолитных конструкций рассматриваются критерии его соответствия классу по прочности, предлагаются пути повышения эффективности контроля.

Ключевые слова: монолитный бетон, прочность, неразрушающий контроль, методы, комбинирование, нормы.

Введение

Значительную востребованность в качестве основы производственно-технологического контроля в монолитном строительстве приобретают оперативные неразрушающие методы определения прочностных показателей бетона: они могут использоваться как на ранних стадиях его твердения, при оценке распалубочной прочности и в процессе выдерживания, обеспечивая сплошной контроль строительной продукции, так и при выполнении мониторинга прочностных параметров бетона наиболее ответственных монолитных конструкций, до достижения ими проектных значений. Не менее важна роль неразрушающего контроля при обследовании зданий и сооружений, особенно эксплуатируемых в условиях динамических нагрузок, а также при выполнении работ, связанных с реконструкцией.

Растущее распространение неразрушающего контроля бетона в конструкциях и накопленная статистика результатов испытаний заставляет обратить особое внимание на используемые методы испытаний и принятые оценочные критерии. Основная проблема неразрушающих испытаний бетона конструкций заключается в том, что измерительные процессы известных неразрушающих методов испытания прочности бетона [3, 7] не являются адекватными напряженно-деформированному состоянию бетона в зоне контроля ни друг другу, ни процессу прессового испытания бетонного образца на одноосное сжатие [4].

Проявляется это в том, что косвенные параметры неразрушающих методов испытаний в разной степени подвержены влиянию изменений физико-механических свойств контролируемого бетона. Это значит, что оценки прочности неразрушающими методами будут зависеть не только от фактической прочности бетона (определяемой прессовыми испытаниями образцов), но и от других его характеристик: модуля упругости, динамической вязкости, структурной неоднородности и др.

Безусловно, вариации физико-механических свойств бетона оказывают влияние и на результаты метода прессовых испытаний. Но поскольку этот метод принят в качестве эталонного, то его результат рассматривается как «истинная» оценка прочности бетона, а все остальные методы должны на нее «равняться». Другой специфичной проблемой в практике неразрушающего контроля железобетонных конструкций является обоснование выбора критериев соответствия фактической прочности бетона нормативным показателям.

Методы контроля

Практика неразрушающих испытаний бетона показывает, что даже строгое следование нормативным методикам построения градуировочных зависимостей не гарантирует адекватности результатам прессовых испытаний изъятых из массива образцов [5]. Оценки прочности импульсным методом получаются заниженными, а методом упругого отскока завышенными (рис. 1).

Среднее значение прочности бетона f_{cm} , скол группы из 21 колонны по данным метода отрыва со скалыванием составило 44,7 МПа. Коэффициент вариации оценок прочности методом упругого отскока составил $V_1 = 8,10\%$, для ультразвукового метода $V_{us} = 7,5\%$. Для комбинированного метода $V = 4,35\%$. Заметно смещены от нуля средние значения отклонений Δf_c каждого из неразрушающих методов для всей группы колонн: оценки метода упругого отскока несколько завышены, а ультразвукового метода – занижены. Типичное отношение оценок прочности методом упругого отскока и ультразвуковым методом находится в пределах 1,06...1,18.

Это свидетельствует о некотором несоответствии использованных градуировочных зависимостей фактическим соотношениям прочности бетона и косвенных параметров неразрушающих методов. Некоторые возможные причины этого указаны выше. Но к ним, по нашему мнению, следует добавить еще одну - отличие процессов неразрушающих методов в крупноразмерном элементе конструкции и в малоразмерном образце, используемом в градуировочных испытаниях. Обычно измерение скорости распространения ультразвукового импульса в образце-кубе производят, устанавливая излучающий и приемный преобразователи на диагонали в плоскости одной грани. Для куба 100x100x100 мм длина диагонали составляет 141 мм. При изме-

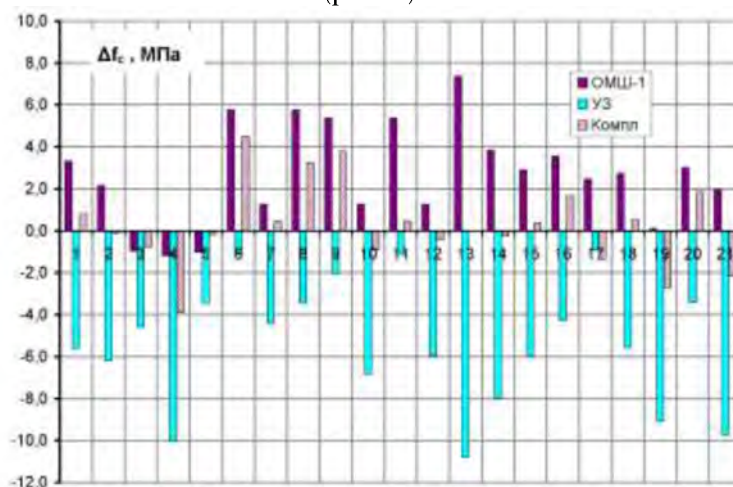


Рис. 1. Отклонения оценок неразрушающими методами прочности бетона монолитных колонн квадратного 400x400 мм сечения от оценок методом отрыва со скалыванием (бетон С35/45, срок твердения – 30...35 сут)

рительной базе прибора «Пульсар-1.1» в 120 мм точки акустического контакта преобразователей будут отстоять от вершин куба всего лишь на ~1 см, что приводит к значительному отличию волновой картины образца от картины формирующейся в элементе конструкции, имеющей размеры на порядок большие.

При использовании прибора УК1401 (измерительная база 150 мм) приходится использовать кубы 150x150x150 мм. Даже в этом случае расстояние от точек акустического контакта до граней образца составляет ~17 мм, что меньше половины длины волны импульса. Близость границ образца к точкам возбуждения и приема акустического импульса проявит себя эффектами интерференции прямой и отраженных волн, что выразится в изменении амплитуды и длительности акустического импульса в точках возбуждения и приема. В итоге эти изменения импульса могут проявить себя уменьшением отсчета времени распространения, а это, соответственно, исказит градуировочную зависимость.

На рис. 2 приведены временные диаграммы нормированных значений упругих деформаций образца в точках, расположенных на его оси по направлению распространения волны, полученные конечно-элементным моделированием процесса распространения ультразвукового импульса в бетонном образце-цилиндре. Возбуждение импульса точечное в центре торца образца-цилиндра. Иницирующий силовой импульс – половина синусоиды периодом 14 мкс, амплитуда импульса – 1 Н.

Теоретически энергия акустического импульса продольной волны должна уменьшаться прямо пропорционально квадрату расстояния Z пройденного волной, а амплитуда деформации (смещения узлов модели) ξ - уменьшаться прямо пропорционально первой степени пройденного волной расстояния Z в соответствии с выражением

$$\xi = \xi_0 \cdot \frac{Z_0}{Z} \tag{1}$$

где Z_0 и ξ_0 - соответственно опорные координата и амплитуда деформации.

Нормирование амплитуды выполнялось в соответствии с выражением

$$\xi_{norm} = \xi \cdot \frac{Z}{Z_0} \tag{2}$$

где ξ_{norm} – нормированная амплитуда импульса, ξ – фактическая амплитуда, Z_0 принято равным 4 см.

На расстоянии $Z < 8$ см от излучателя амплитуда волнового импульса заметно превышает уровень установившейся волны, соответствующий процессу распространения волны в квазибесконечной среде. Форма импульса также претерпевает изменения. Аналогично, в соответствии с принципом обратимости, амплитуда импульса продольной волны в точке приема вблизи границы образца также будет увеличена за счет интерференции ее с отраженной волной от границы. В итоге общее затухание импульса от точки возбуждения до точки приема может снизиться в 4 раза, а длительность импульса – удвоится. При регистрации момента появления ультразвукового импульса по превышению им установленного порога это приведет к завышенному значению скорости распространения.

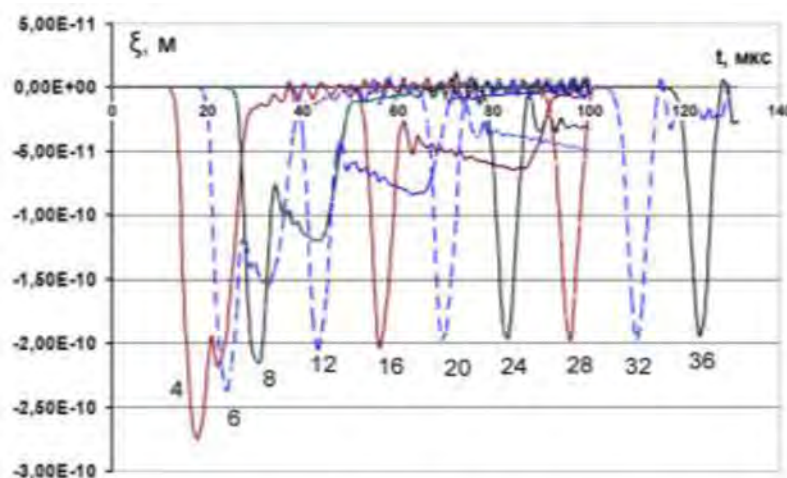


Рис. 2. Временные диаграммы волнового импульса продольной волны в протяженном цилиндрическом образце (цифры у вершин импульсов соответствуют расстоянию Z , см) от точки возбуждения импульса; параметры материала модели $E = 20$ ГПа; $\nu = 0,2$; $\rho = 2400$ кг/м³

Для метода упругого отскока знак поправки отрицательный. Это можно объяснить уменьшением приведенного значения модуля упругости бетона в точке индентирования. Возможной причиной этого может являться увеличение диссипации энергии импульса упругой деформации на переходах *бетонный образец – плита прессы – элементы подвески плиты*, за счет их динамического вовлечения в силовое взаимодействие при инденторных испытаниях бетонных образцов. Но следует заметить, что увеличение гибкости и подвижности связанной системы *бетонный образец – плита прессы – элементы подвески плиты* приведет к увеличению времени t_{ind} ударного взаимодействия индентора прибора с бетонным образцом

$$\int_0^{t_{ind}} F_{ind}(t) \cdot dt = M \cdot V_{ind}, \tag{3}$$

где M – масса индентора (бойка); V_{ind} – предупредная скорость индентора.

Следствием этого явится уменьшение амплитудного значения силы ударного взаимодействия F_{ind} и, соответственно, уменьшение объема пластической деформации в точке испытаний, рост индекса отскока. Таким образом, при инденторных испытаниях малоразмерных бетонных образцов, зажатых между плитами испытательного прессы, можно выделить два физических процесса, имеющих противоположное влияние на индекс отскока.

Повысить надежность оценки прочностных параметров бетона возможно на основе комбинирования методов, объединяя несколько (обычно два) физически разных метода, обладающих свойством *комплементарности* [1, 7]. В Евростандарте DIN EN 13791-2009 разработчиками предусмотрена лишь ссылка на так называемые национальные предписания и специальную литературу по вопросу комбинирования методов испытаний, конкретной же методики комбинирования неразрушающих методов в этом документе нет. Поэтому определенный интерес может представлять опыт практического использования авторами комбинированного метода, включающего в себя метод упругого отскока [8] и ультразвуковой импульсный метод [6].

Комбинированная оценка прочности бетона $f_{c,\Sigma}$ определялась по формуле

$$f_{c,\Sigma} = \frac{f_{c,us} + \omega \cdot f_{c,sh}}{1 + \omega}, \tag{4}$$

где $f_{c,us}$, $f_{c,sh}$ – оценки прочности, соответственно, ультразвуковым методом и методом упругого отскока; ω – весовой коэффициент, $\omega=1,6$ для бетонов классов С25/30...С35/45, возрастом 14...28 сут и при условии

$$\left| \frac{f_{c,us} - f_{c,sh}}{f_{c,us} + f_{c,sh}} \right| \leq 0.15. \tag{5}$$

Об эффективности комбинированного метода могут дать представление результаты испытаний монолитных конструкций, находившихся в замороженном состоянии и после оттаивания. Напомним, что из-за образования льда в структуре бетона действующими нормативами [6, 8] предписан ряд ограничений на использование неразрушающих мето-

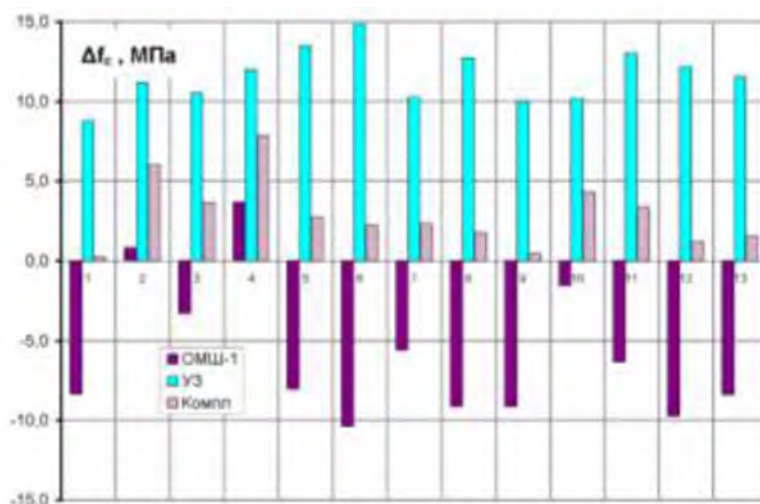


Рис. 3. Отклонения оценок неразрушающими методами прочности бетона монолитных колонн от оценок методом отрыва со скалыванием. Бетон С35/45, возраст 11...14 сут после электропрогрева и замораживания, температура бетона на момент испытаний -8 °С

дов испытаний бетона. На рис. 3 приведены диаграммы испытаний прочности бетона колонн, находившихся на момент испытаний в замороженном состоянии более 5 сут.

До замораживания твердение бетона обеспечивалось применением электропрогрева в течение полутора суток непосредственно после укладки бетонной смеси, с последующим выдерживанием без снятия опалубки. Характерным для замороженного бетона явилась смена знаков поправок для неразрушающих методов испытаний практически по всем испытанным колоннам: ультразвуковой метод стал давать завышенные оценки, а метод упругого отскока – заниженные. Кроме смены знака отклонений оценок прочности значительно увеличились и сами отклонения: если для конструкций твердевших и испытанных в нормальных условиях отклонения оценок прочности (в среднем) находились в пределах 3,5...4,5 МПа, то для замороженного бетона этот показатель возрос до 8...13 МПа. Характерным явилось и отрицательное значение коэффициента взаимной корреляции оценок прочности молотком Шмидта и ультразвуковым методом – $r_{Sn,us} = -0,24$.

Приведенные результаты в целом согласуются с представлениями о физике процессов использованных неразрушающих методов. При малых значениях влажности замена поровой влаги льдом приводит к увеличению динамического модуля упругости бетона, а это, в свою очередь, дает приращение скорости распространения ультразвукового импульса и, соответственно, завышение оценки прочности. Снижение оценок метода упругого отскока также можно объяснить увеличением модуля упругости бетона при постоянной прочности.

На рис. 4 приведены данные испытаний тех же колонн после оттаивания в течение 10 сут. Разброс оценок прочности каждым из методов заметно уменьшился, а коэффициент корреляции оценок прочности поменял знак на положительный и увеличился до значения 0,72. На рис. 5 приведены абсолютные значения оценок прочности бетона по каждой из колонн и средние значения прочности для всей группы из 13 колонн.

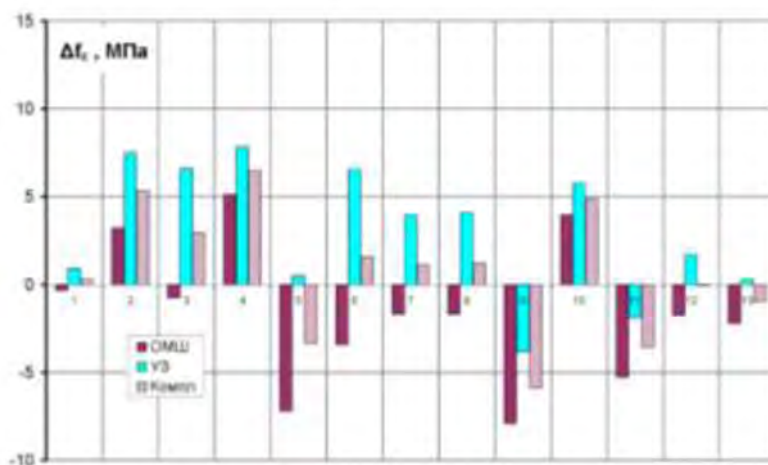


Рис. 4. Отклонения оценок неразрушающими методами прочности бетона монолитных колонн от оценок методом отрыва со скалыванием. Бетон С35/45, срок твердения 23...26 суток после электропрогрева, замораживания и оттаивания, температура бетона на момент испытаний 5 °С

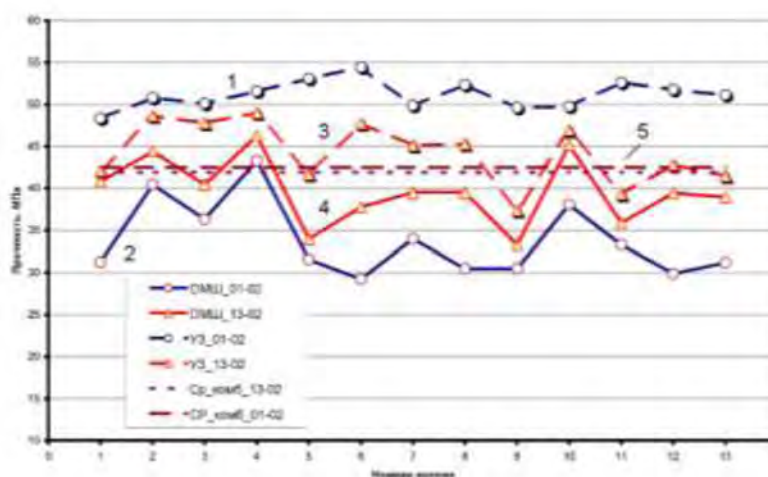


Рис. 5. Прочность бетона монолитных колонн по данным неразрушающих методов испытаний: проектный класс бетона по прочности С35/45. 1 – оценки прочности замороженного бетона ультразвуковым методом; 2 – оценки прочности замороженного бетона методом упругого отскока; 3 – оценки прочности бетона после оттаивания ультразвуковым методом; 4 – оценки прочности бетона после оттаивания методом упругого отскока; 5 – средняя прочность бетона всей группы колонн комбинированным методом

На приведенных диаграммах можно отметить две особенности, свидетельствующие в пользу применения комбинированного метода неразрушающих испытаний бетона в конструкциях:

- показатели испытаний оттаявшего бетона (показаны треугольными маркерами) не выходят за пределы области, ограниченной значениями этих же показателей (круглые маркеры) для замороженного бетона;

- средние значения прочности по данным комбинированного метода для всей группы колонн (показаны горизонтальными линиями на рис. 5) практически совпадают: для замороженного бетона $f_{cp} = 42,1$ МПа, для оттаявшего $f_{cp} = 43,5$ МПа.

Критерии соответствия

Критериальным показателем бетона для отнесения его к тому или иному классу по прочности является так называемая характеристическая прочность бетона f_{ck} , соответствующая обычно 5%-ному квантилю статистического распределения значений прочности бетона образцов – призм, цилиндров или кубов. Для нормального закона распределения связь среднего значения оценок прочности с характеристической выражается зависимостью

$$f_{ck} = f_{m(n)} - \kappa \cdot s, \quad (6)$$

где s - стандартное отклонение результатов испытаний; f_{ck} - характеристическая (гарантированная) прочность на сжатие бетона в конструкции; $f_{m(n)}$ - среднее значение n -результатов испытаний прочности на сжатие бетона; κ - коэффициент доверия.

Статистическая обеспеченность характеристической прочности по формуле (4) составляет 95% для $\kappa=1,64$.

С 2010 г. в Республике Беларусь введен разработанный на основе Евростандарта СТБ EN 13791-2007 новый за 2012 г. [9], регламентирующий методики и критерии отнесения бетона контролируемой конструкции к тому или иному классу по прочности для неразрушающих испытаний. В соответствии с данным документом коэффициент доверия $\kappa = 1,48$. Существенным отличием Евростандарта 2009 и 2012 гг. [7] от других нормативов является иной критерий соответствия бетона к классу по прочности.

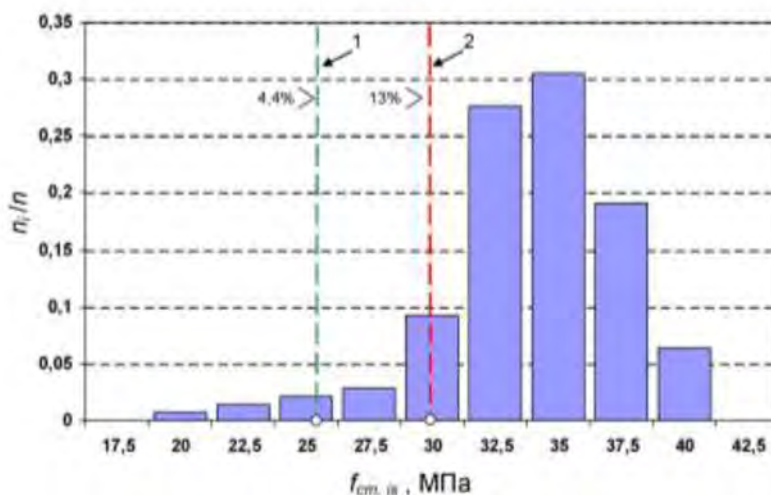


Рис. 6. Гистограмма оценок характеристической прочности бетона вертикальных шахт и диафрагм жесткости (проектный класс бетона по прочности – С25/30; $n = 141$). 1 – линия гарантированного значения прочности по СТБ EN 13791-2012 (26 МПа); 2 – линия гарантированного значения прочности по СНБ 5.03.01 (30 МПа)

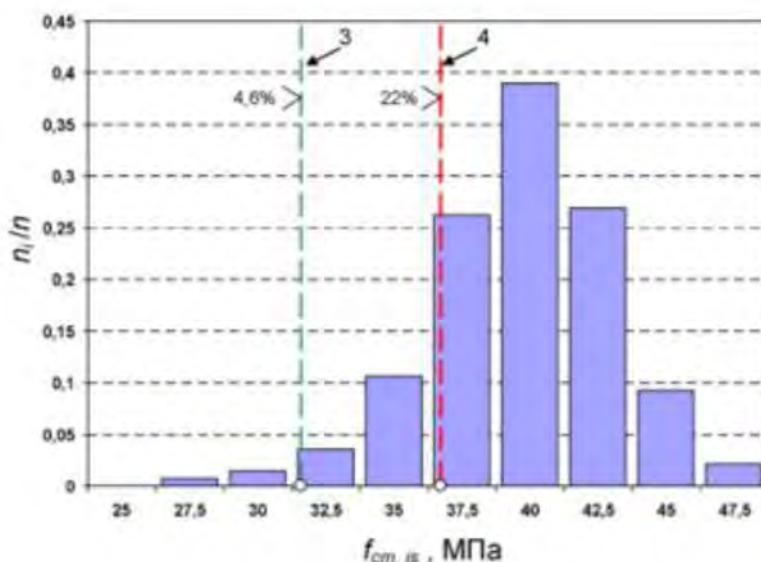


Рис. 7. Гистограмма оценок характеристической прочности бетона монолитных колонн (бетон С30/37; $n=112$). 3 – линия гарантированного значения прочности по СТБ EN 13791-2012 (31 МПа); 4 – линия гарантированного значения прочности по СНБ 5.03.01 (37 МПа)

Евростандарт допускает снижение характеристической прочности бетона конструкций и сборных элементов на 15% относительно класса по СТБ EN 206-1-2009) используемого бетона. Все остальные нормативы не допускают снижения прочностных показателей бетона в конструкции, несмотря на то что различия условий формирования структуры бетона малоразмерного испытательного образца в условиях испытательной лаборатории, такого же образца – в условиях строительной площадки и массивной армированной конструкции очевидны. Такой подход к оценке способствует возникновению конфликтности отношений между проектировщиком, производителем бетонных работ и заказчиком. Сопоставить рассмотренные критерии соответствия позволяет приведенная ниже статистика испытаний бетона ряда объектов монолитного строительства в г. Минске.

На рисунках 6 и 7 приведены гистограммы данных испытаний более 110 монолитных колонн из бетона проектных классов С25/30 и С30/37 каждого на однотипных объектах строительства.

Данные получены комплексным неразрушающим методом [2], объединяющим метод упругого отскока по ГОСТ 22690 (СТБ 2264-2012) и ультразвуковой импульсный метод [8]. Для ОМШ-1 в качестве градуировочной использовалась линейная зависимость вида

$$f_{c, \text{sh}} = -39,6 + 2,364 \cdot h, \text{ МПа}, \quad (7)$$

где $f_{c, \text{sh}}$ – оценка «кубиковой» прочности бетона на сжатие методом упругого отскока; h – индекс отскока (показания склерометра в делениях шкалы).

Градуировочная зависимость для ультразвукового метода контроля (приборы УК1401 и «Пульсар-1.0»)

$$f_{c, \text{us}} = k \cdot 479 \cdot \exp(-0,0718 \cdot t_{150}), \quad (8)$$

где $f_{c, \text{us}}$ – оценка «кубиковой» прочности бетона на сжатие ультразвуковым импульсным методом; t_{150} – время распространения ультразвукового импульса на базе измерения 150 мм, мкс, k – поправочный коэффициент на возраст бетона (для бетона возраста более 90 сут $k=1,1$).

Установленные по [9] значения характеристической прочности бетона обеспечивают устойчивое подтверждение проектного класса бетона для 95% конструкций. По установленной СНБ 5.03.01 гарантированной прочности браковке подлежат 22% конструкций бетона С30/37 и 13% – бетона С25/30. Рост процента несоответствия проектному показателю по прочности закономерно наблюдался с повышением класса от С25/30 до С35/45.

Заключение

1. При оценке свойств бетон следует рассматривать как материал со значительной случайной составляющей характеристических параметров, подчиняющейся нормальному распределению, основной причиной которой являются вариации состава бетона и технологии бетонирования. Систематическая составляющая в оценке характеристической прочности бетона неразрушающими методами испытаний обусловлена двумя факторами: неадекватностью напряженно-деформированного состояния бетона в зоне контроля при неразрушающих и прессовых испытаниях и неполной адекватностью процессов неразрушающих испытаний в железобетонной конструкции и малоразмерных образцах бетона.

2. Повышение надежности в оценке характеристической прочности бетона возможно на основе комбинирования стандартизированных методов неразрушающих испытаний. Опыт практического использования комбинированного метода позволяет рекомендовать его в качестве основы для введения в систему нормирования неразрушающих испытаний бетона.

3. Разница между прочностью на сжатие бетона в конструкции и прочностью стандартных испытательных образцов будет всегда. СТБ [9] допускает снижение прочности бетона в конструкциях: критериальный порог – гарантированная (характеристическая) прочность – снижен на 15%, что сильно отличается от Евростандарта. Представленная статистика данных испытаний бетона монолитных конструкций подтверждает правомерность выбранного критерия и позволяет рекомендовать его к использованию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
2. ГОСТ 17624-87. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.
3. Леонович С.Н., Снежков Д.Ю. Исследование неравнопрочности бетона на объекте монолитного строительства комплексным неразрушающим методом // Изв. вузов. Строительство. 2009. № 8. С. 108–115.
4. Леонович С.Н., Тур В.В., Снежков Д.Ю. Оценка характеристической прочности на сжатие бетона в конструкциях посредством косвенных методов испытаний // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы междунар. академических чтений РААСН. Курск: Курский гос. ун-т, 2010. С. 160–166.
5. Снежков Д.Ю., Леонович С.Н. Неразрушающий контроль бетона монолитных конструкций // Строительная наука и техника. Минск. 2009. № 4. С. 76–84.
6. СТБ 2264-2012. Испытание бетона. Неразрушающий контроль прочности.
7. СНБ 5.03.01-02. Бетонные и железобетонные конструкции.
8. СТБ EN 206-1-2009. Бетон. Ч. 1. Требования, показатели, изготовление и соответствие.
9. СТБ EN 13791-2012. Оценка прочности на сжатие конструкций и элементов сборного бетона в реальных условиях.

Snezhkov D. Yu., Leonovich S.N., Kim L.V.

DMITRYI YU. SNEZHKOVA, Candidate of Technics, Associate Professor, Belorussia National Technical University, Minsk. 65 Independence Ave, Minsk, Republic of Belarus, 220013, e-mail: snezhkov-d-u@yandex.ru

SERGEI N. LEONOVICH, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belorussia National Technical University, Minsk. 65 Independence Ave, Minsk, Republic of Belarus, 220013, e-mail: sleonovich@mail.ru

LEV V. KIM, Candidate of Technics, Associate Professor, School of Engineering, Far Eastern Federal University, Vladivostok. 8 Sukhanova St., Vladivostok, 690950, e-mail: kim_lvi@dvfu.ru

Monitoring of reinforced concrete structures on the base of non-destructive tests of concrete: control procedures, conformity criteria

The article deals with the monitoring of strength parameters of concrete in constructions carried out by nondestructive methods basing on the standards adopted in Belorussia, Russian Federation, and the European Union countries. On the basis of the statistics of the in-situ concrete testing, its being suited to the strength grade has been considered and the ways of improving the efficiency of the monitoring have been suggested.

Key words: cast in place concrete, strength, non-destructive test, methods, procedure, combination, code.

REFERENCES

1. Standard 10180-90. Concretes. Methods for determining of the strength. (in Russ.). [GOST 10180-90. Betonny. Metody opredelenija prochnosti po kontrol'nym obrazcam].
2. Standard 17624-87. Concretes. Ultrasonic method for determination of strength. (in Russ.). [GOST 17624-87. Betonny. Ul'trazvukovoj metod opredelenija prochnosti].
3. Leonovich S.N., Snezhkov D.Y. The study of the unequal strength of concrete of monolithic building construction by complex non-destructive method. The news of universities. Construction. 2009;8:108-115. (in Russ.). [Leonovich S.N., Snezhkov D.Ju. Issledovanie neravnaprochnosti betona na ob#ekte monolitnogo stroitel'stva kompleksnym nerazrushajushhim metodom // Izv. vuzov. Stroitel'stvo. 2009. № 8. S. 108–115].
4. Leonovich S.N., Tour V.V., Snezhkov D.Y. Estimates of the characteristic compressive strength of concrete in structures by means of indirect testing methods. Safety of Building Fund of Russia. Problems and Solutions. Proceedings of the International academic forum of RAACS. Kursk, Kursk State Univ. Press, 2010, p. 160-166. (in Russ.). [Leonovich S.N., Tur V.V., Snezhkov D.Ju. Ocenka harakteristicheskoj prochnosti na szhatie betona v konstrukcijah posredstvom kosvennyh metodov ispytanij // Bezopasnost' stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i reshenija. materialy mezhdunar. akademicheskijh chtenij RAASN. Kursk: Kurskij gos. un-t, 2010. S. 160–166].
5. Snezhkov D.Y., Leonovich S.N. Non-destructive testing of concrete monolithic structures. Construction Science and Technique. Minsk. 2009;4:76-84. (in Russ.). [Snezhkov D.Ju., Leonovich S.N. Nerazrushajushhij kontrol' betona monolitnyh konstrukcij // Stroitel'naja nauka i tehnika. Minsk. 2009. № 4. S. 76–84].
6. STB 2264-2012. Test of concrete. Non-destructive testing of strength. (in Russ.). [STB 2264-2012. Ispytanie betona. Nerazrushajushhij kontrol' prochnosti].
7. SNB 5.03.01-02. Concrete and reinforced concrete structures. (in Russ.). [SNB 5.03.01-02. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii].
8. STB EN 206-1-2009. Concrete. Part 1: Requirements, characteristics, fabrication and conformity. (in Russ.). [STB EN 206-1-2009. Beton. Ch. 1. Trebovanija, pokazateli, izgotovlenie i sootvetstvie].
9. STB EN 13791-2012. Evaluation of the compressive strength of structures and precast concrete elements in the real conditions. (in Russ.). [STB EN 13791-2012. Ocenka prochnosti na szhatie konstrukcij i jelementov sbornogo betona v real'nyh uslovijah].