

Снежков Д.Ю., Леонович С.Н., Латыш А.В.

МОНИТОРИНГ ВОЗВОДИМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ НЕРАЗРУШАЮЩИХ ИСПЫТАНИЙ ПРОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ БЕТОНА

Введение. Обеспечение проектного срока безаварийной эксплуатации монолитных конструкций и сооружений, и возможность его продления в значительной мере определяется качеством выполнения бетонных работ при их возведении, а также достоверностью информации о текущем состоянии конструкций, особенно в случаях экстремальных воздействий или по истечении значительного эксплуатационного периода. Особую роль в качестве основы производственно-технологического контроля 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 эксплуатируемых зданий и сооружений, особенно эксплуатируемых в условиях динамических нагрузок, а также при выполнении работ связанных, с реконструкцией.

1. Методы контроля

Основная проблема неразрушающих испытаний бетона конструкций заключается в том, что измерительные процессы известных неразрушающих методов испытания прочности бетона [5, 6, 7] не являются адекватными по напряженно-деформированному состоянию бетона в зоне контроля ни друг другу, ни процессу прессового испытания бетонного образца на одноосное сжатие по ГОСТ 10180-90 [1]. 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». Соответствие их результатов данным прессовых испытаний достигается подбором градуировочных зависимостей под конкретные условия испытаний. Использованный термин «подбор» не случаен. Практика неразрушающих испытаний бетона показывает, что даже строгое следование указанным в нормативах методикам построения градуировочных зависимостей совершенно не гарантирует адекватности результата неразрушающего определения прочности бетона в конструкциях, данным прессовых испытаний изъятых из массива образцов [10]. В частности, оценки прочности бетонного массива ультразвуковым импульсным методом получаются, как правило, несколько заниженными, методом упругого отскока (молоток Шмидта) – завышенными. На рис. 1 приведены данные совместных испытаний монолитных колонн методом упругого отскока и ультразвуковым импульсным методом на объекте монолитного строительства в г. Минске в 2013 г.

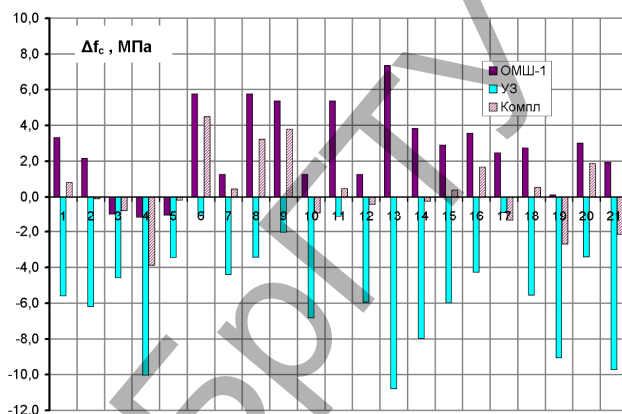


Рис. 1. Отклонения оценок неразрушающими методами прочности бетона монолитных колонн квадратного 400x400 мм сечения от оценок методом отрыва со скалыванием; (бетон проектного класса C35/45, срок твердения – 30...35 суток)

Среднее значение прочности бетона $f_{ст,СКОЛ}$ группы из 21 колонны по данным метода отрыва со скалыванием составило 44,7 МПа. Коэффициенте вариации оценок прочности методом упругого отскока составил $V_l = 8,10\%$, для ультразвукового метода $V_{us} = 7,54\%$. 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 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 (УЗ) импульса в образце-кубе производят устанавливая излучающий и приемный преобразователи на диагонали в плоскости одной грани. Для куба размерами 100x100x100 мм длина диагонали составляет 141 мм. При измерительной 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, имеющего 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 проявиться себя уменьшением отсчета времени распространения, а это, соответственно, исказит градуировочную зависимость.

С использованием конечно-элементного моделирования нами была выполнена оценка коэффициента ослабления импульса продольной волны по мере его распространения вдоль оси образца-цилиндра с физико-механическими параметрами, соответствующими тяжелому бетону класса по прочности C25/30, возбуждение импульса производится точно в центре торца образца-цилиндра. 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

$$\xi = \xi_0 \cdot \frac{Z_0}{Z}, \quad (1)$$

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

На рисунке 1 приведены временные диаграммы нормированных значений упругих деформаций образца в точках, расположенных на его оси по направлению распространения волны.

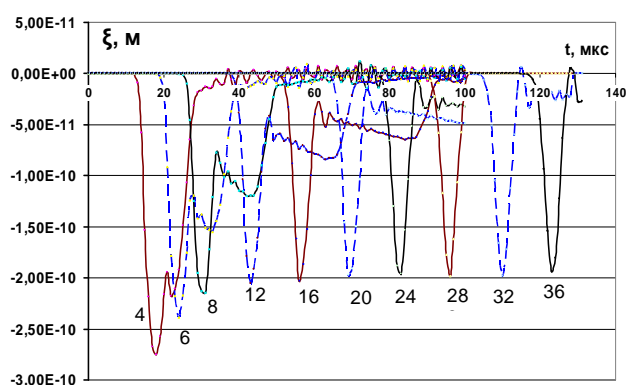


Рис. 2. Временные диаграммы волнового импульса продольной волны в протяженном цилиндрическом образце

Цифры у вершин импульсов соответствуют расстоянию Z (в сантиметрах) от точки возбуждения импульса. Параметры материала модели: $E = 20$ ГПа; $\nu = 0,2$; $\rho = 2400$ кг·м⁻³. Нормирование выполнялось в соответствии с выражением:

$$\xi_{Norm} = \xi \cdot Z / Z_0, \quad (2)$$

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

По диаграммам видно, что 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. В этом случае принципиальное значение приобретает алгоритм регистрации импульса.

Для метода упругого отскока знак поправки отрицательный, что 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 пресса – 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 пресса – элементы подвески плиты приведет к увеличению времени t_{ind} ударного взаимодействия индентора прибора с бетонным образцом,

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

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, и рост индекса отскока. Таким образом, при инденторных испытаниях малоразмерных бетонных образцов, зажатых между плитами испытательного пресса, можно выделить два физических процесса, имеющих противоположное влияние на индекс отскока. Какой из процессов имеет преобладающее значение, можно выяснить, сопоставив данные измерения времени индентирования образцов и натуральных конструктивных элементов.

Повысить надежность оценки прочностных параметров бетона возможно на основе комбинирования методов, объединяя несколько (обычно два) физических разных методов, обладающих свойством комплементарности [8, 10]. В Евростандарте DIN EN 13791-2009 [12] 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 [6, 7] и ультразвуковой импульсный метод [5]. Об эффективности комбинированного метода могут дать представление результаты испытаний монолитных конструкций, находившихся в замороженном состоянии, и испытаний после оттаивания. Напомним, что из-за образования льда в структуре бетона действующими нормативами [5, 6, 7] предписан ряд ограничений на использования неразрушающих методов испытаний бетона. На рис. 3 приведены диаграммы испытаний прочности бетона колонн, находившихся на момент испытаний в замороженном состоянии более 5 суток. Температура бетона на момент испытаний составляла -8°C. До замораживания твердение бетона обеспечивалось применением электропрогрева в течение полутора суток сразу 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: $r_{Sh,us} = -0,24$.

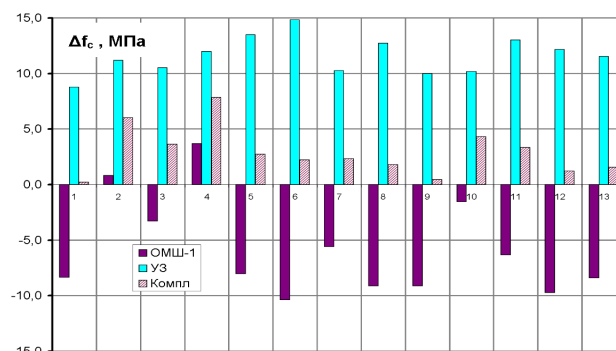


Рис. 3. Отклонения оценок неразрушающими методами прочности бетона монолитных колонн от оценок методом отрыва со скалыванием; (бетон проектного класса С35/45, возраст бетона – 11...14 суток после электропрогрева и замораживания, температура бетона на момент испытаний -8°C)

* По ГОСТ 22690 и СТБ 2264-2012 испытания образцов бетона при установлении градуировочной зависимости производят зажав испытываемые образцы между плитами пресса с нагрузкой порядка 3 МПа
Строительство и архитектура

Приведенные результаты хорошо 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 [10].

На рис. 4 приведены данные испытаний тех же колонн после оттаивания в течение 10 суток при средней температуре воздуха +5°C. Разброс оценок прочности каждым из методов заметно уменьшился, а коэффициент корреляции оценок прочности поменял знак на положительный и увеличился до значения 0,72.

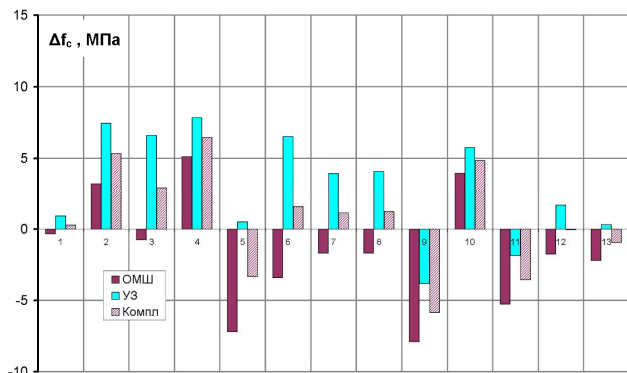
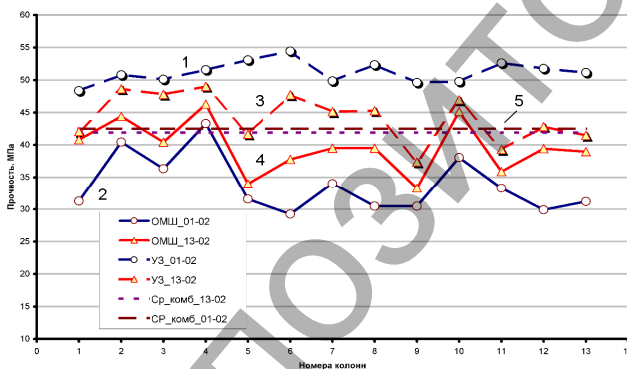


Рис. 4. Отклонения оценок неразрушающими методами прочности бетона монолитных колонн от оценок методом отрыва со скалыванием; (бетон проектного класса С35/45, срок твердения – 23...26 суток после электропрогрева, замораживания и оттаивания, температура бетона на момент испытаний +5°C)

На рис. 5 приведены абсолютные значения оценок прочности бетона по каждой из колонн и средние значения прочности для всей группы из 13 колонн.



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

Рис. 5. Прочность бетона монолитных колонн по данным неразрушающих методов испытаний: проектный класс бетона по прочности С35/45

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 – $f_{cp} = 45,5$ МПа.

2. Критерии соответствия. Другой специфичной проблемой в практике неразрушающего контроля железобетонных конструкций является обоснованный выбор критериев соответствия фактической прочности бетона нормативным показателям. Критериальным показателем бетона для отнесения его к тому или иному классу по прочности является так называемая характеристическая прочность бетона f_{ck} , соответствующая обычно 5-процентному квантилю статистического распределения значений прочности бетона образцов – призм, цилиндров или кубов. Для нормального закона распределения связь среднего значения оценок прочности с характеристической выражается зависимостью

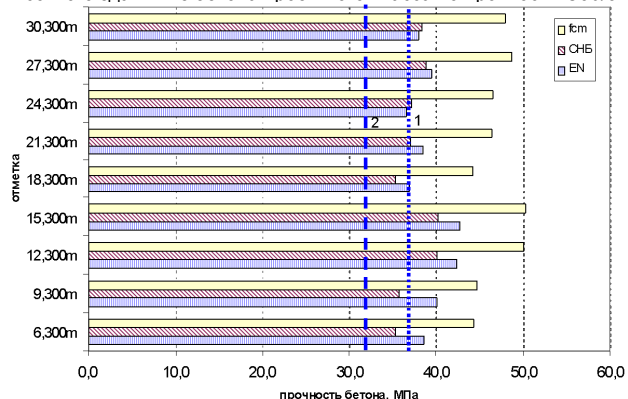
$$f_{ck} = f_m(n) - k \cdot s, \quad (3)$$

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; k – коэффициент доверия.

Статистическая обеспеченность характеристической прочности по формуле (3) составляет: 93% для $k = 1,48$ [3, 7] и 95% для $k = 1,64$ [2].

С 2010 года в Республике Беларусь введен разработанный на основе Евростандарта DIN EN 13791-2009 [12] норматив СТБ EN 13791-2012 [3], регламентирующий методики и критерии отнесения бетона контролируемой конструкции к тому или иному классу по прочности. Существенным отличием Евростандарта DIN EN 13791-2009 и соответственно СТБ EN 13791-2012 от других действующих в республике нормативов является иной критерий соответствия бетона конструкций к классу по прочности, Евростандарт допускает снижение характеристической прочности бетона конструкций и сборных элементов на 15 % относительно класса по СТБ EN 206-1-2009 [4] используемого бетона. Все остальные нормативы не допускают снижения прочностных показателей бетона в конструкции, несмотря на то, что различия условий формирования структуры бетона мало-размерного 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 рисунке 6 приведены данные испытаний монолитных колонн высотного здания из бетона проектного класса по прочности С30/37.



1 – линия нормативного значения гарантированной прочности бетона по СНБ 5.03.01, СТБ 1544-2005 (37 МПа); 2 – линия нормативного значения гарантированной прочности бетона по СТБ EN 13791-2012 (31 МПа); f_{cm} – средние значения оценок прочности колонн; СНБ – оценка гарантированной прочности бетона колонн по СНБ 5.03.01, СТБ 1544-2005; EN – оценка гарантированной прочности бетона колонн по СТБ EN 13791-2012

Рис. 6. Распределение по отметкам оценок прочности бетона монолитных колонн

Приведенные данные получены комплексным неразрушающим методом, объединяющим метод упругого отскока по ГОСТ 22690 (СТБ 2264-2012) и ультразвуковой импульсный метод по ГОСТ 17624-87 [6]. Для ОМШ-1 в качестве градуировочной использовалась линейная зависимость вида:

$$f_{c, sh} = -39,6 + 2,364 \cdot h, \text{ МПа}, \quad (4)$$

где $f_{c, sh}$ – 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 «Пультсар-1.0»):

$$f_{c, us} = k \cdot 479 \cdot \exp(-0,0718 \cdot t_{150}), \text{ МПа}, \quad (5)$$

где $f_{c, us}$ – 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. $k = 1,1$).

У колонн на отметках +6,300 м, +9,300 м, +18,300 м характеристическая прочность оказалась ниже 37 МПа, что по действующим СНБ 5.03.01 и СТБ 1544-2005 не позволяет отнести бетон к классу С30/37. В то же время, по СТБ EN 13791-2012 указанные колонны подтверждают проектный класс бетона, поскольку нормативное значение характеристической прочности составляет 31 МПа.

На рисунках 7 и 8 приведены гистограммы, построенные по данным испытаний на однотипных объектах более 110 монолитных колонн из бетона проектных классов С25/30, С30/37 каждого.

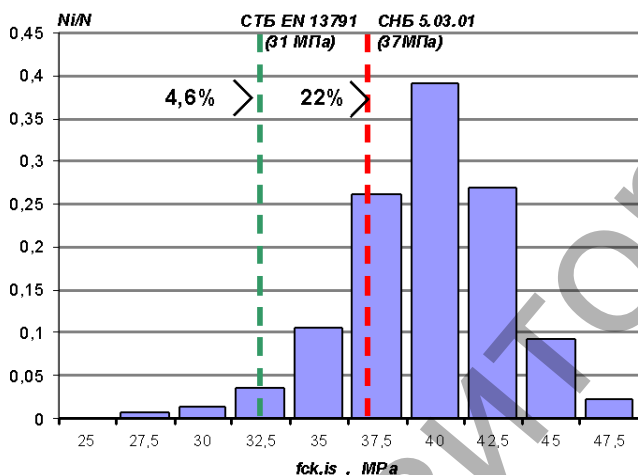


Рис. 7. Гистограмма оценок характеристической прочности бетона монолитных колонн (проектный класс бетона по прочности – С30/37; N=112)

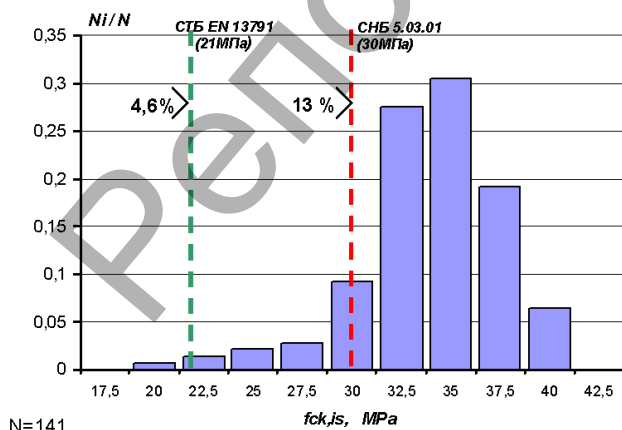


Рис. 8. Гистограмма оценок характеристической прочности бетона вертикальных шахт и диафрагм жесткости: проектный класс бетона по прочности – С25/30; N = 141

Данные испытаний прочности бетона колонн и вертикальных диафрагм жесткости показали, что 95,4 % всех подвергнутых контролю элементов монолитного каркаса здания соответствуют нормативным показателям по прочности. Остальные элементы имеют показатели, близкие к проектным значениям; и лишь у отдельных элементов наблюдалось снижение нормативного показателя прочности более 10%.

Установленные по СТБ EN 13791-2012 значения характеристической прочности бетона обеспечивают устойчивое подтверждение проектного класса бетона для 95 % конструкций. По установленной же действующим СНБ 5.03.01 гарантированной прочности браковке подлежат 22 % конструкций из бетона С30/37 и 13 % - из бетона С25/30. Рост процента несоответствия проектному показателю по прочности закономерно наблюдался с повышением класса используемых бетонов, - от С25/30 и до С35/45 включая.

Разумеется, бетон конструкции не становится более прочным от применения того или иного норматива. Меняется браковочный критерий при оценке выполненных бетонных работ. Подтверждение класса бетона по прочности в конструкции указывает лишь на то, что нарушений технологии выполнения бетонных работ не было, оценкой же фактической прочности бетона является его характеристическая прочность.

3. Коррекция градуировочных зависимостей. Как показано выше, систематическая погрешность неразрушающих методов испытаний, обусловленная неадекватностью их градуировочных зависимостей фактическим условиям применения, может достигать 10...15% и выше. Комбинированный метод испытаний тоже не лишен этого недостатка в полной мере, хотя в нем и происходит частичная компенсация этой погрешности, которая в итоге снижается до 3...7%, тем не менее, необходимость в снижении этого показателя остается.

Все действующие в настоящее время нормативы предлагают механизм коррекции градуировочных зависимостей. Общим во всех методиках является использование так называемых экспертных методов, в роли которых выступает либо метод прессовых испытаний отобранных из бетонного массива кернов, либо метод отрыва со скалыванием. Радикальное отличие методик коррекции градуировочных зависимостей по Евростандарту СТБ EN 13791-2012 и ГОСТ 22690, СТБ 2264-2012, ГОСТ 17624 состоит в иной процедуре обработки данных корректирующих испытаний. В результате чего, оценка прочности бетона по градуировочной зависимости Евростандарта будет на величину $k_1 \cdot s$ ниже, чем по градуировкам ГОСТ [9, 11]. Приведенные в [3, таб. 2] значения коэффициента k_1 соответствуют 10 % квантилю массива данных градуировочных испытаний. Это, с одной стороны, якобы повышает надежность контроля, уменьшая вероятность завышения прочности, но, с другой, способствует утрате доверия к неразрушающим испытаниям, поскольку их оценка в большинстве случаев будет ниже нормативного значения, даже для качественного бетона с заданными прочностными показателями. В этом аспекте построение градуировочных зависимостей по методикам ГОСТ 22690 и ГОСТ 17624 делает оценки прочности неразрушающими методами и прямыми испытаниями образцов сопоставимыми, но, разумеется, степень их неопределенности будет разной.

Вопрос оценки степени неопределенности результата каждого из используемых методов весьма важен для практики неразрушающих испытаний бетона. Этот показатель характеризует надежность полученного соответствующим методом результата испытаний. С показателем неопределенности методов испытаний связаны и вопросы методики комбинирования методов испытаний: показатель неопределенности может быть использован в качестве весового коэффициента при усреднении результатов нескольких методов. Эти моменты обойдены вниманием и в Евростандартах и в действующих отечественных нормативах не случайно. Неопределенность оценки прочности тем или иным методом является, строго говоря, характеристикой не столько самого метода, сколько конкретных условий его применения. Поэтому практическое решение вопроса выбора параметров неопределенности оценок испытаний, по нашему мнению, лежит в плоскости уточнения и формализации физических процессов того или иного неразрушающего метода испытаний бетона.

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 пресовых испытаниях; и неполной адекватностью процессов неразрушающих испытаний в железобетонной конструкции и малоразмерных образцах бетона.

2. Повышение надежности в оценки характеристической прочности бетона возможно на основе комбинирования стандартизованных 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 неизбежна. СТБ EN 13791-2012 допускает снижение прочности бетона в конструкциях: критериальный порог – гарантированная (характеристическая) прочность – снижен на 15 %. Этот пункт радикально отличает данный Евростандарт от действующих на данный момент стандартов Беларуси и России. Представленная статистика данных испытаний бетона монолитных конструкций ряда объектов строительства в Республике Беларусь подтверждает правомерность выбранного критерия и позволяет рекомендовать его к использованию.

4. Методика построения и коррекции градуировочных зависимостей неразрушающих методов определения прочности бетона в конструкциях по СТБ EN 13791-2012 содержит спорные моменты. Обратной стороной данной методики является существенное занижение оценки нормативного показателя прочности бетона в конструкции, что неизбежно повлечет за собой отказ от использования неразрушающих методов в практике строительства.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-90. – Введ. 01.01.91. – М.: 1991. – 16 с.
2. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. – Минск: Минстройархитектуры, 2003. – 139 с.
3. Оценка прочности на сжатие конструкций и элементов сборного бетона в реальных условиях: СТБ EN 13791-2012. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2012.
4. Бетон. Часть 1. Требования, показатели, изготовление и соответствие: СТБ EN 206-1-2009.
5. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности: ГОСТ 17624-87. – Введ. 01.01.88. – М., 1988. – 12 с.
6. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля: ГОСТ 22690-88. – Введ. 01.01.91. – М.: 1991. – 22 с.
7. Испытание бетона. Неразрушающий контроль прочности: СТБ 2264-2012, Госстандарт. – Минск, 2013. – 20 с.
8. Леонович, С.Н. Исследование неравнопрочности бетона на объекте монолитного строительства комплексным неразрушающим методом / С.Н. Леонович, Д.Ю. Снежков // Известия вузов. Строительство. – Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет. – 2009. – № 8. – С. 108–115.
9. Леонович, С.Н. Оценка характеристической прочности на сжатие бетона в конструкциях посредством косвенных методов испытаний / С.Н. Леонович, В.В. Тур, Д.Ю. Снежков // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: мат. междунар. академических чтений / Курский гос. ун-т. – Курск, 2010. – С. 160–166.
10. Снежков, Д.Ю. Неразрушающий контроль бетона монолитных конструкций / Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонович // Строительная наука и техника. – Мн., 2009. – №4(25). – С. 76-84.
11. Снежков Д.Ю., Анализ методик неразрушающих испытаний бетона конструкций по действующим государственным стандартам и нормам Евросоюза / Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонович, А.В. Вознищик // Наука и техника – 2013. – № 2 – Минск: БНТУ. – С 33–39.
12. Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauteilen: DIN EN 13791-2009.

Материал поступил в редакцию 22.03.14

SNEZKOV D.Yu., LEONOVICH S.N., LATYSH A.V. Monitoring of built ferroconcrete designs on the basis of nondestructive tests of strength parameters of concrete

As a basis for discussion authors consider questions of monitoring of strength indicators of concrete of built designs nondestructive methods from positions of the standards existing in Republic of Belarus, the Russian Federation and the European Union countries. On the basis of statistics of natural tests of concrete of monolithic designs criteria of its compliance to a class on durability are considered, ways of increase of efficiency of control are offered.

УДК 625.7.06/07

Бусел А.В., Чистова Т.А., Наумовец А.Н.

АСФАЛЬТОВЯЖУЩЕЕ НА УПРОЧНЯЮЩИХ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОНЕНТАХ

В последние годы, в связи с быстрым ростом интенсивности, скорости движения и осевых нагрузок транспортных средств на дорогах наблюдается значительное накопление остаточных деформаций в верхних слоях асфальтобетонных покрытий в виде колеи и других видов поперечных и продольных неровностей.

Используемый в дорожном строительстве асфальтобетон представляет собой сложную многокомпонентную систему, зависящую главным образом от свойств и структуры асфальтовяжущего вещества. Асфальтовяжущее включает как свободный битум, так и битум, адсорбированный поверхностью минеральных частиц [1]. Для того, чтобы битум мог выполнять структурирующую роль в асфальтобетоне,

он должен быть равномерно распределен по минеральной поверхности. При этом важное значение имеет толщина битумного слоя, так как его тонкие пленки на минеральной поверхности имеют ориентированное строение молекул и способны воспринимать существенные внешние нагрузки. Свободный битум имеет склонность к вязкому деформированию и понижает сдвигоустойчивость асфальтобетона. Асфальтовяжущее можно рассматривать как композиционный материал, где один из компонентов – битум, обладающий непрерывностью по всему объему, выступает в качестве матрицы. Мелкодисперсный наполнитель – минеральный порошок, разделенный в объеме матрицы, выполняет роль структурирующей добавки, и волокна – армирующего

Бусел А.В., д.т.н., профессор, декан факультета транспортных коммуникаций Белорусского национального технического университета.

Чистова Т.А., аспирант Белорусского национального технического университета.

Наумовец А.Н., инженер лаборатории органических вяжущих дорожного управления ГП "БелдорНИИ", аспирант Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.