

МОНИТОРИНГ НАБОРА ПРОЧНОСТИ БЕТОНА В МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ

*КОЛЕДА Е. А., ЛАТЫШ А. В., ГРУШЕВСКАЯ Е. Н.,
КОВОРТНЫЙ П. А., СНЕЖКОВ Д. Ю., ЛЕОНОВИЧ С. Н.*

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Состояние вопроса. Определение прочности бетона в раннем возрасте является важным параметром для совершенствования технологии строительного процесса. Особенно это актуально в монолитном строительстве. От прочности бетона в раннем возрасте зависит время распалубки и выполнения последующих монолитных процессов. Для бетона одинаковой рецептуры и неизменной технологии производства работ нет нужды в постоянном контроле прочности, и достаточно периодического. Однако при изменении температурно-влажностных условий или при смене поставщика бетона, его состава, необходим мониторинг набора прочности бетона в конструкциях: в раннем возрасте, распалубочной, проектной. Наиболее удобным способом контроля является неразрушающий [1–4].

Методика экспериментальных исследований. Для бетона, рассматривая его как изотропную, квазиоднородную и упругопластичную среду, зависимость показаний прибора метода упругого отскока – индекса отскока бойка h , в первом приближении может быть представлена как

$$h = \psi \frac{\sigma_d^{5/4}}{E_d^*} + h_0, \quad (1)$$

где σ_d – динамический предел прочности;

E_d^* – приведенный динамический модуль упругости системы «материал – индентор»;

ψ и h_0 – коэффициенты, зависящие от физических и конструктивных параметров ударного механизма склерометра (энергии удара, массы индентора и др.).

Зависимость (1) получена на основании анализа физической модели идеализированной системы «индентор–бетон» и не учитывает ряда факторов, характерных для реального процесса измерения: нелинейного характера зависимости «напряжение–деформация» бетона, его вязкие свойства, трение индентора в области контакта, конструктивные особенности механизма индентирования. Но она наглядно демонстрирует различие в характере влияния параметров прочности и упругости бетона на косвенный параметр h : рост модуля упругости бетона приводит к снижению индекса отскока, в противоположность влиянию прочности. Важным является также то обстоятельство, что изменение плотности бетона не влияет на косвенный параметр метода. Другим недостатком метода упругого отскока является малый объем бетона подвергающегося пластической деформации в зоне контакта. По оценкам [5] радиус пластической зоны составляет 1,1–1,2 диаметра отпечатка, что для молотка Шмидта типа N составляет 3–9 мм, для прибора ИПС-МГ4 – 2–5 мм. То есть, «глубина проникновения» в бетон для данного метода не достигает и 10 мм.

Акустические методы, в частности, ультразвуковой импульсный, в значительной мере свободны от этого недостатка. Даже при использовании поверхностного «прозвучивания» конструкции на постоянной базе измерения 12–15 см, толщина поверхностного слоя бетона влияющего на распространения упругой волны составляет 3–4 см. Основным косвенным параметром ультразвукового метода испытаний при определении прочности бетона является скорость (время) распространения импульса ультразвуковых колебаний, несмотря на доказанную [6, 7] эффективность использования в качестве информационных параметров других акустических характеристик, включая характеристики частотного спектра акустического сигнала, его затухания и др. Отказ от использования в практике неразрушающего контроля бетона расширенного перечня его акустических параметров связан, главным образом, с техническими проблемами при их измерении в построечных условиях.

Скорость распространения ультразвуковых колебаний в бетонном массиве определяется его упругими свойствами, в соответствии с формулами классической акустики:

$$c_l = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}, \quad c_t = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} \approx 0,61 \cdot c_l, \quad (2)$$

где c_l , c_t – скорости распространения продольной и поперечной упругих волн в массиве; ρ – плотность материала;

E , ν – динамические модуль упругости и коэффициент Пуассона соответственно.

Из приведенных зависимостей (1) и (2) видны различия в чувствительности рассмотренных методов контроля к параметрам упругости бетона и его прочности, что дает основание предположить возможность искусственного «обострения» чувствительности к тому или иному физико-механическому параметру бетона на основе системы (метода) объединения оценок отдельных методов контроля.

Алгоритм комплексного метода оценки прочности бетона $f_{c,complex}$ базируется на коррекции данных метода упругого отскока по СТБ 2264–2012 и ГОСТ 22690–88, которые принимаются за опорные, поправкой, являющейся функцией разницы оценок прочности бетона ультразвуковым импульсным методом по ГОСТ 17624–2012 и опорного метода, в соответствии с формулой

$$f_{c,complex} = f_{c,bas} + \delta(\Delta f_c), \quad (3)$$

где $\Delta f_c = f_{c,add} - f_{c,bas}$; $f_{c,bas}$, $f_{c,add}$ – оценки прочности бетона опорным (базовым) и дополнительным методами соответственно.

Изготовление монолитных изделий при низких температурах, с использованием электродного прогрева или прогрева проводом, может приводить к заметным различиям температурного режима, а значит и различию показателей прочности наружных и внутренних слоев бетона, особенно при использовании металлической опалубки с недостаточной теплоизоляцией.

Аналогичный эффект может вызвать раннее снятие опалубки, без принятия должных мер по удержанию в бетоне влаги и тепла. Поэтому для повышения достоверности НМК выглядит потенциальная способность УЗМ «просвечивать» внутри бетонный массив. Свойство комплементарности может рассматриваться в различных аспектах. Оно может выражаться отрицательными коэффициентами корреляции объединяемых оценок контролируемого параметра, а

может быть выражено различием в пространственной локализации контролируемых областей бетона каждого из методов.

Объект исследования. Результаты мониторинга. Сотрудниками кафедры «Технология строительного производства» и научно-исследовательской лаборатории «Промышленное и гражданское строительство» БНТУ выполнялись комплексные исследования набора прочности бетона в раннем возрасте на объекте исследования. Влияющими факторами были, изменение рецептуры бетонной смеси и отказ от прогрева бетона (весенний период). Проводился мониторинг вертикальных монолитных конструкций на двух объектах исследования (жилые здания с монолитным каркасом).

Прочность бетона каждой вертикальной монолитной конструкции объекта исследования определялась способом поверхностного прозвучивания (приборы Пульсар 2.2 и УК1401), методом ударного импульса (склерометр) и комбинированным методом (ультразвук и ударный импульс). На каждой конструкции проводилось не менее четырех измерений каждым методом [8–10].

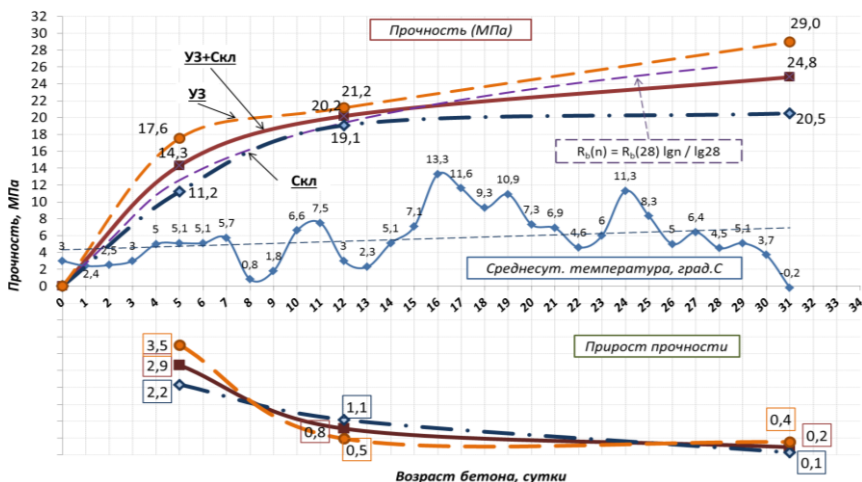


Рис. 1. Набор прочности монолитного бетона в колоннах

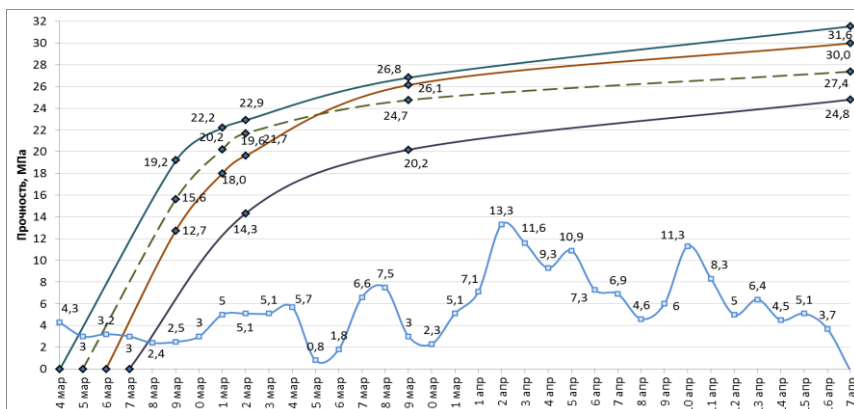


Рис. 2. Набор прочности монолитного бетона вертикальных конструкций иследуемого объекта

На приведенных графиках хорошо наблюдается прирост прочности бетона в разные периоды контроля для каждой отдельной конструкции (колонны, стены). Также отдельно приведены результаты измерений в каждый контрольный период.

Выводы

1. Выявлены особенности набора прочности монолитного бетона при изменении рецептуры и отказе от прогрева.
2. Выявлены особенности определения прочности бетона в раннем возрасте комплексным методом.
3. Выявлены особенности при определении прочности бетона в раннем возрасте ультразвуковым методом и методом ударного импульса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Снежков, Д.Ю. Основы мониторинга возводимых и эксплуатируемых железобетонных конструкций неразрушающими методами / Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонович. – Минск: БНТУ, 2016. – 330 с.
2. Leonovich, S.N. Complex method of strength estimation of the monolithic reinforced concrete structures / S.N. Leonovich, D.U. Snezhkov // Concrete structures stimulators of development: proceedings of international FIB conference. – Dubrovnik, 2007. – P. 947–954.

3. Способ определения прочности бетона в конструкциях методом неразрушающего контроля: пат. № 20585 Республики Беларусь, МПК G 01 N 33/38/ Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонович; заявитель БНТУ (ВУ). № а 20130687; заявл. 29.05.2013; опубл 09.08.2016 // Афіцыйны бюл./ Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 6 (113). – С.111–112.
4. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности: ГОСТ 17624–2012. Введ. 01.01.2014. – М., 2014. – 16 с.
5. СНБ 5.03.01-02. Бетонные и железобетонные конструкции. – Минск: Минстройархитектуры, 2003. – 139 с.
6. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля: ГОСТ 22690–88.
7. Бетоны. Правила контроля прочности: ГОСТ 18105–2010.
8. Снежков Д.Ю., Леонович С.Н. Неразрушающий контроль бетона в монолитном строительстве: совершенствование средств и методов. – Минск: БНТУ, 2006. – 218 с.
9. Леонович С.Н., Снежков Д.Ю., Мулярчик В.С. Результаты мониторинга прочностных характеристик монолитных бетонных плит на основе неразрушающих методов контроля // Вестник Брестского государственного технического университета. – Ч. 2: Строительство и архитектура. – 2004. – С. 115–121.
10. Снежков Д. Ю., Леонович С. Н. Исследование неравнопрочности бетона на объекте монолитного строительства комплексным неразрушающим методом // Известия вузов. Строительство / Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, 2009. – № 8. – С. 108–115.