

УДК 621.541

НОВЫЕ МЕТОДИКИ – НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**С. А. Бугаевский, доц., к. т. н.,
Д. Б. Глушкова, доц., к. т. н., А. В. Шепик, студ.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет**

Аннотация. Работа посвящена перспективному методу неразрушающего контроля высокопрочных бетонов.

Ключевые слова: прибор, индикатор, прочность, бетон.

НОВІ МЕТОДИКИ – НОВІ МОЖЛИВОСТІ У БУДІВНИЦТВІ

**С. О. Бугаєвський, доц., к. т. н.,
Д. Б. Глушкова, доц., к. т. н., А. В. Шепік, студ.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

Анотація. Роботу присвячено перспективному методу неруйнівного контролю високоміцних бетонів.

Ключові слова: прилад, індикатор, міцність, бетон.

NEW METHODS – NEW POSSIBILITIES IN BUILDING

**S. Buhaevskii, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),
D. Glushokova, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), A. Shepik, St.,
Kharkiv National Automobile and Highway University**

Abstract. The given paper deals with the perspective method of unbreakable control of high quality concretes.

Key words: device, indicator, durability, concrete.

Введение

Одной из основных задач, поставленных перед Украиной, есть повышение эффективности капитальных вложений, обеспечение дальнейшего роста и качественного совершенствования основных фондов.

Успешное решение этой задачи требует повышения качества строительства, в частности железобетона – основного строительного материала.

Анализ публикаций

Высокая долговечность железобетонных конструкций должна быть обеспечена на стадии

их проектирования и изготовления путем правильного выбора всех исходных материалов и подбора состава бетона с учетом условий его работы в зданиях и сооружениях. В настоящее время наукой раскрыты закономерные связи структуры бетона с его прочностью, воздействием различных сред, деформацией.

Бетон имеет грубую неоднородную структуру [3]. Крупный заполнитель и растворная часть бетона различаются как по прочности, так и по упругим характеристикам.

В свою очередь различны прочностные и деформационные характеристики песка и цементного камня, образующих растворную

часть, поэтому определению прочности бетона уделяется большое внимание как при разработке новых материалов, так и при их эксплуатации.

В Украине действует целый ряд нормативных документов для определения прочности бетона [3–8].

Но открытым остается вопрос определения прочности бетона в процессе эксплуатации особо важных объектов, которым предъявляются высокие требования в отношении прочности и долговечности.

Цель и постановка задачи

Нами поставлена задача изыскать современное оборудование, осуществляющее неразрушающий контроль прочности бетона, как в лабораторных условиях, так и непосредственно при эксплуатации.

Основные методы определения прочности бетонов

Методом определения прочности по контрольным образцам [3], как правило, изготавливают образцы кубической формы, иногда – цилиндрической. Образцы для испытаний изготавливают из проб бетонной смеси, применяемой при изготовлении контролируемого изделия.

Пробы берут из одного замеса или из одного кузова автомобиля, перевозящего бетонную смесь. Образцы, изготовленные из бетонной смеси, испытывают через 28 суток после изготовления. Образцы устанавливают в пресс и нагружают его непрерывно и равномерно до разрушения образца, разрушающая нагрузка фиксируется, и затем по ней рассчитывают прочность бетона.

Использование выбуренных из конструкции кернов, которые затем испытывают подобно контрольным образцам под прессом, называют методом определения прочности по образцам, отобраным из конструкции [6].

Бетон кернов полностью соответствует реальному материалу конструкции. Однако сложность отбора образцов-кернов, высокая трудоемкость и стоимость выбуривания кернов, опасность нарушения целостности конструкции, возможное нарушение структуры

керна при выбуривании и обработке торцов – все это во многих случаях ограничивает использование этого метода.

Методы неразрушающего контроля [5] – это методы определения прочности бетона в конструкциях по упругому отпуску, ударному импульсу, пластической деформации, отрыву, скалыванию ребра и отрыву со скалыванием.

Основное отличие метода от двух предыдущих состоит в том, что при использовании этого метода непосредственно измеряемой величиной является не прочность, а какой-либо физический показатель, связанный с измеряемой величиной корреляционной зависимостью.

Корреляционной называется зависимость, в которой каждому значению измеряемой величины может соответствовать несколько значений искомой величины. Другими словами, на соотношение измеряемый показатель–показания прибора (прочность) оказывают влияние несколько свойств материала, не все из которых поддаются четкой и однозначной математической, следовательно, и приборной интерпретации.

Для установления этой корреляционной зависимости, значит, и для определения прочности бетона предварительно устанавливают градировочную (тарировочную) зависимость между прочностью бетона и косвенной характеристикой. Градировочную зависимость устанавливают для бетонов одного проектного возраста, подготовленных из одинаковых материалов, по результатам испытаний на прочность образцов-кубов. Итак, все методы неразрушающего контроля прочности бетона требуют построения индивидуальных градировочных зависимостей по результатам испытаний стандартных образцов-кубов, изготовленных из бетона такого же состава и возраста, что и испытываемый образец.

На точность измерения прочности при измерении неразрушающими методами могут оказывать влияние такие факторы как тип цемента, состав цемента, тип заполнителя, условия твердения, возраст бетона, влажность и температура поверхности, тип поверхности, карбонизация поверхностного слоя бетона и еще ряд других менее значимых факторов.

Далеко не все из перечисленных факторов можно учесть при построении градировочной зависимости. Поэтому такие факторы нужно учитывать при разработке методики измерений на конкретный объект тестирования.

Основных методов неразрушающего контроля, основанных на построении индивидуальных градировочных зависимостей, несколько:

– метод пластической деформации основан на измерении размеров отпечатка, который остался на поверхности бетона после соударения с ней стального шарика. Метод устаревший, но до сих пор его используют в связи с дешевизной оборудования. Наиболее широко для таких испытаний используют молоток Кашкарова;

– метод упругого отскока заключается в измерении величины обратного отскока ударника при соударении с поверхностью бетона. Типичным представителем приборов для испытаний этим методом является склерометр Шмидта и его многочисленные аналоги. Метод упругого отскока, как и метод пластической деформации, основан на измерении поверхностной твердости бетона;

– метод ударного импульса заключается в регистрации энергии удара, возникающей в момент удара бойка с поверхностью бетона. В России этот метод является наиболее распространенным. Типичные представители приборного ряда для испытаний этим методом – семейство приборов ИПС, выпускаемые «СКБ «Стройприбор»» (г. Челябинск), и приборы ОНИКС, выпускаемые «НПП «Интерприбор»» (г. Челябинск);

– метод отрыва стальных дисков заключается в регистрации напряжения, необходимого для местного разрушения бетона при отрыве от него металлического диска, равного усилию отрыва, деленному на площадь проекции поверхности отрыва бетона на плоскость диска. В настоящее время метод используется крайне редко;

– метод отрыва со скалыванием и скалыванием ребра конструкции заключается в регистрации усилия, необходимого для скалывания участка бетона на ребре конструкции, либо местного разрушения бетона при изъятии из него анкерного устройства. Наиболее широко в настоящее время используются

приборы серии ПОС, выпускаемые «СКБ «Стройприбор»» (г. Челябинск). Также до сих пор применяют приборы ГПНВ и ГПНС.

Метод отрыва со скалыванием – один из самых точных методов неразрушающего контроля прочности, поскольку для него допускается использовать универсальную градировочную зависимость, в которой изменяются всего два параметра:

- 1) крупность заполнителя, которую принимают равной 1 при крупности менее 50 мм и 1,1 при крупности более 50 мм;
- 2) тип бетона – тяжелый либо легкий.

К недостаткам этого метода следует отнести его высокую трудоемкость и невозможность использования в густоармированных участках, а также то, что он частично повреждает поверхность конструкции.

Сегодня потребители хотят получить современный, простой и надежный в эксплуатации прибор.

Существующие ДСТУ содержат устаревшие требования как к самым методам контроля, так и приборным средствам, на которые ссылаются ДСТУ.

Дело в том, что существующие ДСТУ разработаны на основе ГОСТ (СССР) в период, когда основой строительства являлся сборный железобетон. Так, например, по ДСТУ Б.В. 2.7-226 разрешено применение способа поверхностного и сквозного прозвучивания при ультразвуковом методе контроля прочности бетона.

Однако использование метода сквозного прозвучивания на реальных объектах крайне затруднено, очень сложно обеспечить приемлемую степень соосности приемного и передающего ультразвукового преобразователя, которые должны быть расположены с разных сторон конструкции. Зачастую нельзя провести длинный провод к преобразователю, да и потери энергии в длинных проводах будут крайне велики, чтобы результаты измерений можно было считать достоверными.

Еще пример: в соответствии с ДСТУ Б.В. 2.7-224 при изготовлении монолитных конструкций контроль прочности бетона должен вестись на заводах ЖБИ. В соответствии с этим ДСТУ прочности бетона регулируется в

зависимости от значения коэффициента вариации: чем ниже значение коэффициента вариации, тем меньше может быть значение средней прочности. При этом надежность конструкции не уменьшается, так как расчетное значение прочности не изменяется.

Такой подход оправдывает себя для ЖБИ, изготовление которых территориально совмещено с изготовлением бетонной смеси. При возведении же монолитных конструкций процесс бетонирования отделен от процесса изготовления бетонной смеси пространством и временем. А, следовательно, свойства бетонной смеси на стройплощадке могут отличаться от свойств на заводе. Кроме того, одна строительная площадка может иметь разных поставщиков бетонной смеси, которые могут отличаться друг от друга значениями коэффициента вариации.

Также не совсем правильно следует назвать практику изготовления и испытания стандартных бетонных образцов-кубов по целому ряду причин: объем изготовления стандартных образцов-кубов не соизмерим с объектами производства конструкций и сооружений, условия формирования и твердения бетонных кубов не всегда соответствуют условиям изготовления конструкций. Поэтому характеристики стандартных образцов могут значительно отличаться от фактической прочности бетона в конструкциях [1].

Мы выбрали прибор по определению прочности бетона импульсно-ударным методом «Beton Easy Control» (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид прибора

Прибор «Beton Easy Control» работает с использованием заранее поставленной рабочей зависимости прочности бетона от сигнала измерительного устройства.

Диапазон рабочих температур от минус 20 °С до плюс 40 °С при относительной влажности воздуха до 80 %. Технические характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1 Технические характеристики

Диапазон измерения прочности, МПа	3,5–99,9
Основная относительная погрешность, %	7
Дискретность индукции прочности, МПа	0,1
Питание прибора от 2 сухих элементов ААLR6 с напряжением, В	2–3,3
Потребляемый ток, mA, не более	100
Время непрерывной работы прибора без замены элементов питания, час, не менее	30
Габаритные размеры, мм, не более	200×170×50
Масса, кг, не более	1,0

Общий вид дисплея приведен на рис. 2.

Нами производилось измерение бетона, прочность которого ниже 3,5 МПа, при этом на дисплее никаких изменений не происходит.



Рис. 2. Общий вид индикатора

При прочности измеряемого объекта выше 100 МПа индикатор имеет вид, представленный на рис. 3.

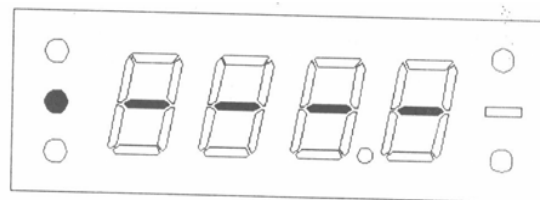


Рис. 3. Измеренное значение находится вне диапазона

Проверка прибора осуществлялась по эквивалентной мере прочности (рис. 4, 5).

Эквивалентная мера укладывается на ровную гладкую плиту толщиной не менее 30 мм, массой не менее 10 кг.



Рис. 4. Эквивалентная мера прочности (стекло)



Рис. 5. Эквивалентная мера прочности (бетон)

После установки прибора на эквивалент производится 15 измерений.

Основную относительную погрешность измерения прочности эквивалентной меры прочности определяем по формуле

$$\delta_R = \frac{\bar{R}_k - R_{Yi}}{R_{Yi}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где δ_R – основная относительная инструментальная погрешность определения прочности эквивалентной меры; \bar{R}_k – значение прочности эквивалентной меры, полученной прибором, МПа; R_{Yi} – прочность эквивалентной меры, МПа (значение прочности указана на эквивалентной мере).

Основная относительная погрешность определения прочности каждой из эквивалентных мер не должна превышать $\pm 7 \%$. Прибор считается годным, если

$$\delta_R \leq \pm 7 \% \quad (2)$$

для каждого из эквивалентов.

После поверки производили измерение прочности материала, представленного заказчиком. Полученное значение 46 МПа в пределах погрешности совпадает со значениями, полученными другими методами.

Параллельно производилась проверка прочности на сжатие торкретфибробетона монолитных железобетонных оболочек, изготовленных на полигоне ООО «Стальконструкция» (г. Харьков). При бетонировании оболочек были заторкретированы балки размером $15 \times 15 \times 60$ см и кубы $15 \times 15 \times 15$ см. Прочность бетона определялась склерометром Шмидта, испытанием кубов в лаборатории на прессе, а также прибором «Beton Easy Control» (рис. 6, 7).



Рис. 6. Определение прочности заторкретированной балки



Рис. 7. Определение прочности торкретфибробетона монолитной железобетонной оболочки

Результаты измерений прочности на сжатие торкретфибробетона в возрасте 28 суток приведены в табл. 2.

Таблица 2 Прочность на сжатие торкретфибробетона

Метод измерения прочности	Склерометр Шмидта (образцы: кубы и балочки)	Beton Easy Control (образцы: кубы и балочки)	Сжатие кубов в лаборатории	Склерометр Шмидта (оболочки на полигоне)	Beton Easy Control (оболочки на полигоне)
Прочность на сжатие, МПа	23,7	19,1	20,2	22,0	20,9

Выводы

Измерение прочности высокопрочного бетона целесообразно проводить неразрушающим ударно-импульсным методом прибором «Beton Easy Control».

Технические характеристики прибора позволяют использовать его в широком диапазоне температур в различных условиях, что подтверждает его универсальность.

Проведенные измерения подтвердили идентичность значений прочности, которые получены другими методами.

Литература

1. Прочность структуры изменения и деформации бетона / под. ред. А. А. Гвоздева. – М.: Стройиздат, 1978. – 297 с.
2. Шейкин А. Е. Структура и свойства цементных бетонов / А. Е. Шейкин, Ю. В. Че-

ховский, М. И. Бруссер. – М.: Стройиздат, 1979. – 344 с.

3. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. ДСТУ Б.В. 2.7-214: 2009. – (Чинний від 2010-09-01) – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 44 с. – (Національний стандарт України).
4. Будівельні матеріали. Бетони. Метод прискореного визначення міцності на стиск. ДСТУ Б.В. 2.7-219: 2009. (Чинний від 2010-09-01). – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 9 с. – (Національний стандарт України).
5. Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю. ДСТУ Б.В. 2.7-220:2009. (Чинний від 2010-09-01). – К. Мінрегіонбуд України, 2010. – 20 с. – (Національний стандарт України).
6. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за зразками, відібраними з конструкцій. ДСТУ Б.В. 2.7-223: 2009. (Чинний від 2010-09-01) – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 12 с. – (Національний стандарт України).
7. Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності. ДСТУ Б.В. 2.7-224: 2009 (Чинний від 2010-09-01) – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 23 с. – (Національний стандарт України).
8. Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності. ДСТУ Б.В. 2.7-226: 2009 (Чинний від 2010-09-01). – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 27 с. – (Національний стандарт України).

Рецензент: В. П. Кожушко, професор, д. т. н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 24 марта 2014 г.