

О выборе методов контроля прочности бетона построенных сооружений

*К.т.н., старший преподаватель А.В. Улыбин**

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Ключевые слова: бетон; прочность; неразрушающие методы контроля; обследование зданий

В последние годы популярность и доступность различных методов контроля прочности бетона и реализующих их приборов резко возросла. И несмотря на требования нормативных документов, резко ограничивающие возможность применения большинства методов для использования в ходе обследования конструкций зданий и сооружений, в том или ином объеме они применяются большинством организаций.

Необходимо уточнить, что в данной статье речь идет только о прочности бетона на сжатие и далее под «прочностью» понимается именно этот параметр бетона.

Рассмотрим следующие вопросы.

1. Какие методы определения (оценки) прочности бетона применяются и какие наиболее доступны?
2. Каковы параметры основных применяемых методов с точки зрения стоимости оборудования, производительности и погрешности измерений?
3. Какие методы в реальных условиях объектов обследования, с учетом сложившейся на рынке ситуации, можно применять, соблюдая требования норм?

Исследования прочности бетона должны выполняться по требованиям ГОСТ 28570 [1], 22690 [2], 17624 [3], ГОСТ Р 53231 [4], СТО [5]. Условно все применяемые методы можно разделить на 3 группы, представленные на рис. 1.

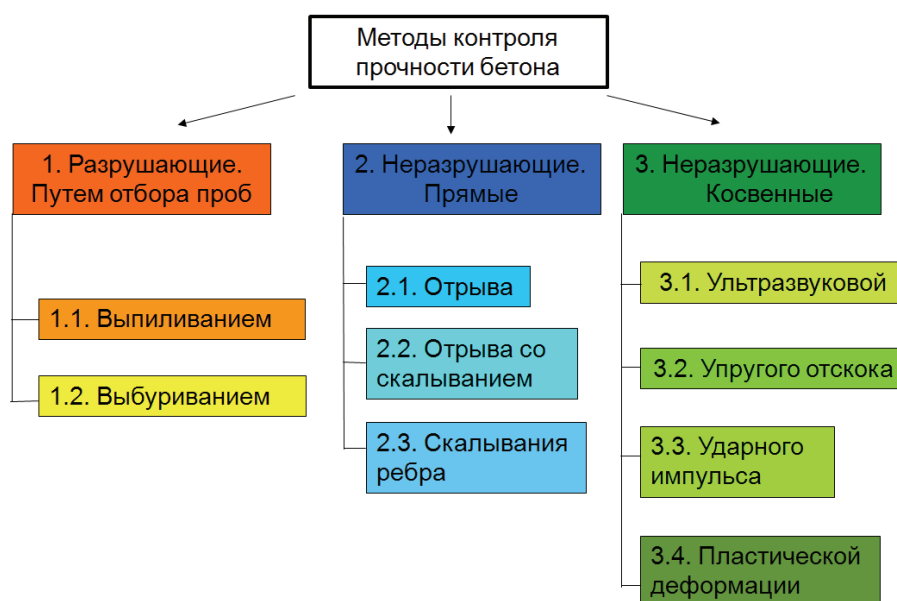


Рисунок 1. Классификация методов контроля прочности бетона

Результаты, полученные методами первой группы, являются наиболее соответствующими истинному значению прочности материала по следующим причинам. Во-первых, измеряется именно искомый параметр – усилие, соответствующее разрушению при сжатии. Во-вторых, исследуется образец материала, изъятый из тела конструкции, а не только из поверхностного слоя. В-третьих, влияние на результат измерения внешних факторов: влажность, армирование, дефекты поверхностного слоя и прочих, – можно свести к минимуму.

Однако данный подход для рядовых объектов на практике применяется крайне редко. Это обусловлено тремя основными причинами: высокая стоимость оборудования, большая трудоемкость процесса измерения и, следовательно, его себестоимость и локальное повреждение конструкций, которое в большинстве случаев заказчик не приемлет.

Подсчитаем оценочную стоимость необходимого для первого вида измерений оборудования. Учитывая, что метод выбуривания кернов по сравнению с отбором проб выпиливанием характеризуется меньшей трудоемкостью и повреждением, наносимым конструкции, рассмотрим оборудование именно для него. Рассмотрим комплект оборудования, доступного на рынке, со средним качеством и минимальными необходимыми параметрами. В минимальный комплект можно включить: перфоратор (Bosch GBH 2-26), установка алмазного сверления для отбора кернов диаметром до 100 мм (Husqvarna DMS 160A), камнерезный станок (Diam SK-600) и пресс гидравлический (ПГМ-1000МГ4). Данные сведены в таблицу 1.

Трудозатраты для выполнения измерений будут состоять из выбуривания трех кернов (согласно п. СП 13-102 [6] для определения прочности одного конструктивного элемента), доставки с объекта в лабораторию (в расчет взят 1 ч), торцовки на камнерезном станке и испытания на прессе с последующей обработкой результатов.

Для всех методов контроля, указанных на рис. 1, по требованиям ГОСТов [1,2,3] необходимо до выполнения измерений (отбора проб) определить наличие и расположение арматуры. Данная операция, как правило, выполняется магнитным методом по ГОСТ 22904 [7]. Эта составляющая в затраты на приборное обеспечение и трудоемкость не включена.

Подсчитаем оценочную стоимость необходимого для второго вида измерений оборудования. Расчет выполнен для метода отрыва со скалыванием, так как в отличие от методов отрыва и скалывания ребра, данный метод в отечественной практике обследования нашел наибольшее применение.

В минимальный комплект можно включить перфоратор (Bosch GBH 2-26) и прибор для определения прочности бетона методом отрыва со скалыванием (ПОС-50МГ4). Трудозатраты для выполнения измерения методом отрыва со скалыванием будут состоять из бурения шпура, закладки анкера и проведения измерения. Количество единичных измерений для определения прочности бетона участка конструкции должно быть не менее трех [4,6]. Данные представлены в таблице 1.

Во всех косвенных неразрушающих методах контроля прочности для реализации достаточно наличия самого прибора контроля. Трудоемкость состоит непосредственно из измерений того или иного параметра (отскок, скорость ультразвука, диаметр отпечатка и пр.) после выполнения надлежащего количества измерений.

Измерение прочности методом пластической деформации характеризуется большей трудоемкостью, так как помимо нанесения отпечатков на поверхность бетона конструкции необходимо производить измерение их диаметров и дальнейший расчет их отношения (при использовании молотка Кашкарова).

Таблица 1. Сводные данные по методам измерения

| № по рис. 1 | Метод измерения | Стоимость оборудования, руб. | Трудоемкость*, чел/ч | Стоимость испытания**, руб. |
|-------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1.2 | Испытание кернов на прессе | 494000 | 4 | 12000 |
| 2.2 | Отрыв со скалыванием | 67000 | 1 | 5000 |
| 3.1 | Ультразвуковой метод | 65000 | 0,1 | 1500 |
| 3.2 | Метод упругого отскока | 25000 | 0,2 | 1500 |
| 3.3 | Метод ударного импульса | 35000 | 0,2 | 1500 |
| 3.4 | Метод пластической деформации | 4000 | 0,5 | 2000 |

*Трудоемкость определена по всем операциям с момента начала работ на объекте, учитывая необходимость обработки поверхности и прочие вспомогательные операции, до получения первичных данных о прочности, без работ по оформлению результатов.

**Стоимость указана по результатам опроса специализированных организаций с учетом минимально необходимого по требованиям нормативных документов количества измерений и без учета дополнительных затрат (проезд до объекта, установка лесов, вскрытие отделочных слоев и др.).

Исходя из данных, представленных в таблице 1, можно сделать вывод о том, что приборы третьей группы характеризуются очевидными преимуществами. Они обладают наименьшей трудоемкостью и, соответственно, стоимостью единичного испытания. Величина инвестиций в приобретение оборудования также минимальна по сравнению с методами 1 и 2 групп. Помимо этого все косвенные методы контроля являются полностью «неразрушающими» и не наносят повреждений бетону конструкций при измерениях.

Именно эти факторы являются основной причиной большой популярности методов группы 3 у различных организаций, занимающихся обследованием и испытаниями бетона. Особенно это относится к фирмам, стремящимся минимизировать расходы на оборудование, либо «молодым» организациям, а также к организациям, основной целью которых является не качество выполненной работы.

Рассмотрим другую сторону проблемы.

Согласно п. 3.14 ГОСТ 22690 [2], «для определения прочности бетона в конструкциях предварительно устанавливают градуировочную зависимость между прочностью бетона и косвенной характеристикой прочности (в виде графика, таблицы или формулы)». Применение методов упругого отскока, ударного импульса или пластической деформации при обследовании конструкций, бетон которых обладает параметрами, отличающимися от бетона, на котором построена градуировочная зависимость (то есть всегда), возможно только с уточнением данной зависимости. Уточнение зависимости подразумевает испытание бетона методом группы 2 или 1.

Согласно п. 3.16. ГОСТ Р 53231 [4], использование всех косвенных методов контроля (группа 3) возможно только с построением градуировочной зависимости.

Согласно п. 8.3.1 и Приложению Б СП 13-102 [6], определение прочности бетона выполняется неразрушающими методами в соответствии с ГОСТ 22690 [2], и без построения градуировочной зависимости может быть выполнено только методами отрыва со скалыванием, отрыва, скалывания ребра и по испытанию отобранных образцов.

Иными словами, применять все методы контроля прочности, входящие в группу 3 (рис. 1), без построения градуировочной зависимости НЕЛЬЗЯ, а построение зависимости ведет к неизбежному использованию методов группы 1 или 2. По результатам анализа отчетов сторонних организаций, а также общения с коллегами из различных регионов России можно утверждать, что в отечественной практике обследования указанными нормами пренебрегает большинство организаций. Почему так происходит, описано выше.

Рассмотрим, чем вызвано такое категоричное требование норм по отношению к косвенным неразрушающим методам контроля.

Во-первых, это большая неопределенность (погрешность) результатов измерения фиксируемого параметра. Помимо наличия приборной составляющей погрешности (износ пружины, низкий заряд аккумуляторов и т.п.), которая вносит определенный вклад в результирующую погрешность, превалирующую роль играют многочисленные внешние факторы [8]. К ним относятся:

- качество обработки поверхности бетона;
- наличие дефектов (скрытых и явных) в зоне измерения (микротрещины, поры, каверны, расслоения и т.п.);
- включения крупного заполнителя;
- наличие арматуры в зоне измерения;
- повреждение поверхностного слоя (размораживание, промасливание, увлажнение, карбонизация и другие виды коррозии);
- сила прижатия датчика (для ультразвукового метода);
- другие факторы.

Все перечисленные факторы в определенном сочетании имеют место всегда, а минимизация их влияния либо невозможна, либо снижает производительность измерений в разы (например, предварительная шлифовка поверхности бетона).

Во-вторых, даже при сведении к минимуму влияния внешних факторов путем тщательной подготовки и проведения исследований, а также статистической обработки результатов измерений и отбраковки их части, полученный результат не может быть использован без частной градуировочной зависимости для конкретного исследуемого бетона.

Установление градуировочной зависимости, например, для ультразвукового метода, по требованиям п. 3.4 ГОСТ 17624 [3] подразумевает испытание не менее 30 образцов кубов (15 серий по 2 куба в каждой). На большинстве объектов среднего масштаба, а также при выборочном обследовании бетонных конструкций выполнение такого количества прямых испытаний сводит к нулю необходимость применения неразрушающих методов вообще. Помимо этого, получить согласование заказчика на повреждение конструкций (неизбежное при испытаниях) в таком объеме на эксплуатируемых объектах гражданского назначения редко представляется возможным.

Необходимо отметить, что на практике, даже при соблюдении минимального количества образцов для построения градуировочной зависимости, найденная зависимость может оказаться не удовлетворяющей требованиям норм по статистическим параметрам оценки (допустимое среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации). Таким образом, выполненная исследовательская работа может оказаться бесполезной.

Тем не менее, **применять косвенные методы неразрушающего контроля можно**. Это целесообразно в следующих случаях:

- когда нет необходимости определять прочность бетона (например, для расчета), а необходимо только оценить ее значение и использовать как один из ряда факторов, характеризующих техническое состояние конструкции (однородность, сплошность и др.), например при обследовании фундаментов по требованиям п. 7.16 ТСН 50-302 [9] и п.5.2.15 ГОСТ Р 53778 [10];
- когда необходимо качественно выявить зоны неоднородности прочности бетона для дальнейшего применения методов групп 1 и 2 в этих зонах;
- когда есть возможность и необходимость выполнения комплексных работ и построения частной градуировочной зависимости согласно требованиям ГОСТ.

Учитывая, что методов третьей группы несколько, рассмотрим, какой из них оптимален. Параметры трудоемкости и стоимости имеются в таблице 1. Ниже рассмотрим третий немаловажный фактор – погрешность измерения.

На одном из обследованных в 2011 г объектов автором было проведено исследование, в ходе которого осуществлен контроль прочности бетона тремя косвенными неразрушающими методами с последующим испытанием отобранных образцов. Метод пластической деформации не применялся ввиду его низкой производительности.

Объект представляет собой колодец, выполненный из монолитного железобетона, радиусом 12 м и глубиной 8 м. Бетонирование стен колодца велось захватками, разделяющими колодец по высоте на 8 ярусов. Результаты измерений, выполненных различными методами, представлены в таблице 2. Для измерений использованы следующие приборы: ультразвуковой метод – Пульсар 1.1 (НПП «Интерприбор») (рис. 2); метод упругого отскока – Original Schmidt N (Proseq) (рис. 3); метод ударного импульса – ИПС МГ4.03 (СКБ «Стройприбор»).



Рисунок 2. Измерения ультразвуковым методом **Рисунок 3. Измерения методом упругого отскока**

Среднее значение регистрируемых параметров, представленное в таблице, получено по выборке, состоящей из результатов не менее чем 30 единичных измерений. Коэффициент вариации V определен как отношение среднего квадратического отклонения к среднему значению (математическому ожиданию).

Таблица 2. Результаты исследования прочности бетона колодца различными методами

| Ярус | Метод | | | | | | |
|-------------|---------------------|------------|-------------------------|------------|------------------------|-------------|-------------------------------|
| | Ультразвуковой, м/с | | Упругого отскока, у.ед. | | Ударного импульса, МПа | | Испытание на прессе R, МПа |
| | Ср. знач. | V, % | Ср. знач. | V, % | Ср. знач. | V, % | |
| 1 | 4058 | 3.9 | 46.2 | 7.8 | 41.9 | 23.4 | 41.6 |
| 2 | 4300 | 3.9 | 46.6 | 8.3 | 38.1 | 36.3 | 40.1 |
| 3 | 4082 | 4.6 | 43.7 | 7.6 | 24.4 | 40.2 | 35.0 |
| 4 | 4094 | 4.1 | 48.2 | 8.5 | 38.2 | 28.5 | 42.1 |
| 5 | 4110 | 6.2 | 48.9 | 8.2 | 48.1 | 28.1 | 36.5 |
| 6 | 3836 | 4.5 | 44.6 | 7.3 | 42.8 | 26.5 | 30.6 |
| 7 | 4453 | 3.6 | 47.6 | 7.6 | 45.5 | 41.6 | 39.3 |
| 8 | 4533 | 5.2 | 49.7 | 9.9 | 49.6 | 28.7 | 36.5 |
| Ср. знач. V | | 4.5 | | 8.1 | | 31.6 | |

По данным, представленным в таблице, видно, что наименьшей погрешностью измерения характеризуется ультразвуковой метод. Метод упругого отскока имеет коэффициент вариации приблизительно в 2 раза выше. Разброс результатов измерения методом ударного импульса максимален и характеризуется коэффициентом вариации, превышающим 40%, при среднем значении 31,6%.

Для сопоставления результатов измерений, приведенных в таблице, они представлены в графическом виде на рис. 4. Значения приведены в виде отклонений результата измерения по каждому ярусу от среднего по всем ярусам.

По графикам (рис. 4) можно сделать вывод, что результаты измерений методами ударного импульса и ультразвуковым характеризуются высокой корреляцией и в целом сопоставимы с результатами испытания на прессе. Результаты измерений методом упругого отскока не характеризуются тесной связью ни с другими методами неразрушающего контроля, ни с результатами испытания на прессе.

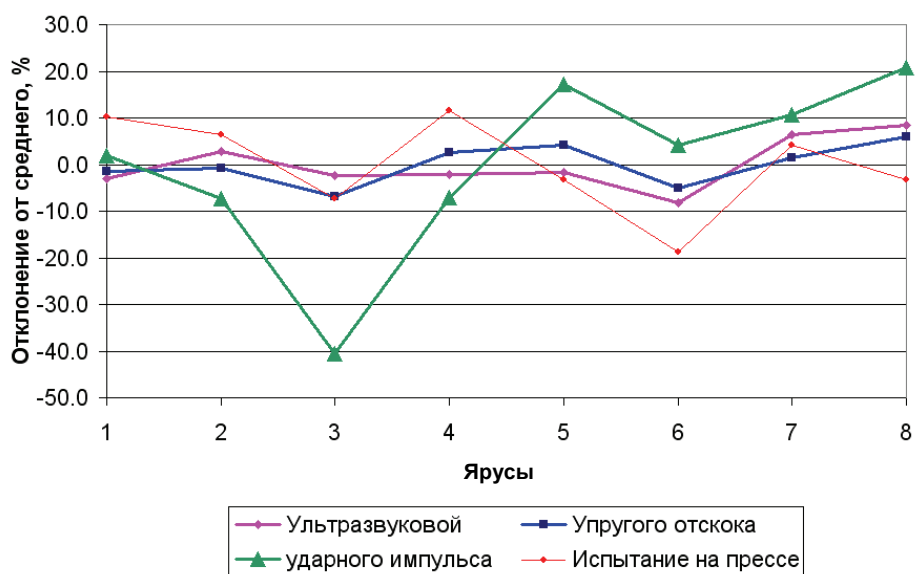


Рисунок 4. Сравнение результатов измерения прочности бетона различными методами

Из всего описанного выше можно сделать следующие выводы и рекомендации.

1. Для измерения прочности бетона обследуемых конструкций без нарушения требований современных норм можно применять только методы 1 и 2 групп (испытание отобранных образцов и методы отрыва и скалывания).
2. Оптимальным по точности, трудоемкости, стоимости и доступности оборудования, универсальности использования и масштабу разрушения конструкции является метод отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690 [2].
3. В случаях, когда поверхностный слой имеет глубокое повреждение, бетон конструкции заморожен, а также требуются наиболее достоверные результаты, необходимо выполнять отбор проб и испытание в лабораторных условиях.
4. Применение методов 3 группы целесообразно для приблизительной оценки прочности, а также для выявления зон с отклонением прочности от среднего значения.
5. Из всех косвенных методов неразрушающего контроля рекомендуется использование ультразвукового метода или метода ударного импульса, а при возможности их сочетание, что также рекомендуется в литературе [11,12].

Литература

1. ГОСТ 28570-90. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций.
2. ГОСТ 22690-88. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. Технические требования.
3. ГОСТ 17624-87. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.
4. ГОСТ Р 53231-2008. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.
5. СТО 36554501-009-2007. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.
6. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.
7. ГОСТ 22904-93. Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры.
8. Штенгель В.Г. О корректном применении НК в обследованиях железобетонных конструкций длительно эксплуатирующихся сооружений // В мире НК. 2009. №3. С. 56-62.
9. ТСН 50-302-2004. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге.
10. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
11. Штенгель В.Г. Общие проблемы технического обследования неметаллических строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2010. №7(17). С. 4-9.
12. РД 153-34.1-21.326-2001. Методические указания по обследованию строительных конструкций производственных зданий и сооружений. Часть 1. Железобетонные и бетонные конструкции.

**Алексей Владимирович Улыбин, Санкт-Петербург, Россия*

Тел. раб.: +7(812)535-57-82; эл. почта: ulybin@mail.ru

On the Choice of Concrete Strength Inspection Methods of Ready-built Structures

A.V. Ulybin,

*Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia,
+7(812)535-57-82; el. pochta: ulybin@mail.ru*

Key words

concrete; strength; nondestructive inspection methods; inspection of buildings

Abstract

The classification of concrete strength estimation methods used in the inspection of buildings and structures is given. Instrumentation working hours, the cost of equipment and work performance for different methods are considered. Use requirements of nondestructive inspection methods for concrete strength estimation according to normative document are analyzed.

The experimental data about measurement inaccuracy of different nondestructive inspection methods are given. Guidelines on the choice of concrete strength inspection methods for objects of the inspection of buildings are given.

References

1. GOST 28570-90. *Betony. Metody opredeleniya prochnosti po obraztsam, otobrannym iz konstruktsiy.* [Concretes. Methods of determination strength by samples of structure]. Moscow, 1990.
2. GOST 22690-88. *Betony. Opredelenie prochnosti mekhanicheskimi metodami nerazrushayushchego kontrolya. Tekhnicheskie trebovaniya.* [Concretes. Determination strength by mechanical methods of nondestructive control. Technical requirements]. Moscow, 1988.
3. GOST 17624-87. *Betony. Ultrazvukovoy metod opredeleniya prochnosti.* [Concretes. Ultrasonic method for strength determination]. Moscow, 1987.
4. GOST R 53231-2008. *Betony. Pravila kontrolya i otsenki prochnosti.* [Concretes. Regulations for control and estimation the strength]. Moscow, 2008.
5. STO 36554501-009-2007. *Betony. Ultrazvukovoy metod opredeleniya prochnosti.* [Concretes. Ultrasonic method for strength determination]. Moscow, 2007.
6. SP 13-102-2003. *Pravila obsledovaniya nesushchikh stroitelnykh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy.* [Regulations for inspection the structures of buildings and erections]. Moscow, 2003.
7. GOST 22904-93. *Konstruktsii zhelezobetonnye. Magnitnyy metod opredeleniya tolshchiny zashchitnogo sloya betona i raspolozheniya armatury.* [Reinforced concrete structures. Magnetic method for determination the thickness of concrete cover and the arrangement of reinforcement]. Moscow, 1993.
8. Shtengel V. G. *V mire NK.* 2009. No. 3. p. 56-62.
9. TSN 50-302-2004. *Proektirovanie fundamentov zdaniy i sooruzheniy v Sankt-Peterburge.* [Designing the foundations of buildings and erections in Saint-Petersburg]. Saint-Petersburg, 2004.
10. GOST R 53778-2010. *Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya.* [Buildings and erections. Regulations for inspection and monitoring the technical state]. Moscow, 2010.
11. Shtengel V.G. *Magazine of Civil Engineering.* 2010. No. 7(17). p. 4-9.
12. RD 153-34.1-21.326-2001. *Metodicheskie ukazaniya po obsledovaniyu stroitelnykh konstruktsiy proizvodstvennykh zdaniy i sooruzheniy. CHast 1. ZHelezobetonnye i betonnye konstruktsii.* [Guidelines on the inspection the building structures of process buildings and erections. Part 1. Reinforced concrete structures and concrete structures]. Moscow, 2001.

Full text of this article in Russian: pp. 10-15