

Определение прочности бетона при обследовании зданий и сооружений

В предлагаемой статье рассмотрены основные методы неразрушающего контроля прочности бетона, применяемые при обследовании конструкций зданий и сооружений. Приведены результаты экспериментов по сопоставлению данных, получаемых неразрушающими методами контроля и испытанием образцов. Показывается преимущество метода отрыва со скалыванием перед другими методами контроля прочности. Описываются мероприятия, без выполнения которых применение косвенных неразрушающих методов контроля недопустимо.

Прочность бетона на сжатие является одним из наиболее часто контролируемых параметров при строительстве и обследовании железобетонных конструкций. Имеется большое число методов контроля, применяемых на практике. Более достоверным, с точки зрения авторов, является определение прочности не по контрольным образцам (ГОСТ 10180-90), изготовляемым из бетонной смеси, а по испытанию бетона конструкции после набора им проектной прочности. Метод испытания контрольных образцов позволяет оценить качество бетонной смеси, но не прочность бетона конструкции. Это вызвано тем, что невозможно обеспечить идентичные условия набора прочности (вибрирование, прогрев и др.) для бетона в конструкции и бетонных кубиков образцов.

Методы контроля по классификации ГОСТ 18105-2010 разделены на три группы:

1. Разрушающие;
2. Прямые неразрушающие;
3. Косвенные неразрушающие.

К методам первой группы относится упомянутый метод контрольных образцов, а также метод определения

прочности путем испытания образцов, отобранных из конструкций. Последний является базовым и считается наиболее точным и достоверным. Однако при обследовании к нему прибегают довольно редко. Основными причинами этого являются существенное нарушение целостности конструкций и высокая стоимость исследований.

В основном применяются методы неразрушающего контроля. При этом большая часть работ выполняется косвенными методами. Среди них наиболее распространенными на сегодняшний день являются ультразвуковой метод по ГОСТ 17624-87, методы ударного импульса и упругого отскока по ГОСТ 22690-88. Однако при использовании указанных методов редко соблюдаются требования стандартов по построению частных градуировочных зависимостей. Некоторые исполнители не знают этих требований. Другие знают, но не понимают, насколько велика ошибка результатов измерений при использовании зависимостей, заложенных или прилагаемых к прибору, вместо зависимости, построенной на конкретном исследуемом бетоне. Есть «специалисты», которые знают об ука-

занных требованиях норм, но пренебрегают ими, ориентируясь на финансовую выгоду и неосведомленность заказчика в данном вопросе.

Про факторы, влияющие на ошибку измерения прочности без построения частных градуировочных зависимостей, написано много работ, в том числе приведенные в списке литературы [1, 2]. В табл. 1 представлены данные по максимальной погрешности измерений различными методами, приведенные в монографии по неразрушающему контролю бетона [3].

В дополнение к обозначенной проблеме использования несоответствующих («ложных») зависимостей обозначим еще одну, возникающую при обследовании. Согласно требованиям СП 13-102-2003, обеспечение выборки измерений (параллельных испытаний бетона косвенным и прямым методом) на более чем 30 участках является необходимым, но не достаточным для построения и использования градуировочной зависимости. Необходимо, чтобы полученная парным корреляционно-регрессионным анализом зависимость имела высокий коэффициент корреляции (более 0,7) и низкое СКО (менее 15 % от средней прочности). Чтобы данное условие выполнялось, точность измерений обоих контролируемых параметров (например, скорость ультразвуковых волн и прочность бетона) должна быть достаточно высокой, а прочность бетона, по которому строится зависимость, должна изменяться в широком диапазоне.

При обследовании конструкций указанные условия выполняются редко. Во-первых, даже базовый метод испытания образцов нередко сопровождается высокой погрешностью. Во-вторых, за счет неоднородности бетона и других факторов [4] прочность в поверхностном слое (исследуемая косвенным методом) может не соответствовать прочности того же участка на некоторой глубине (при использовании прямых методов). И наконец, при нормальном качестве бетонирования и соответствии класса бетона проектному, в пределах одного объекта редко можно встретить однотипные конструкции с прочностью, изменяющейся в широком диапазоне (например, от В20 до В60). Таким образом, зависимость приходится строить по выборке измерений с малым изменением исследуемого параметра.

В качестве наглядного примера вышеуказанной проблемы рассмотрим градуировочную зависимость, представленную на рис. 1. Линейная регрессионная зависимость построена по результатам ультразвуковых измерений и испытаний на прессе образцов бетона. Несмотря на большой разброс результатов измерений, зависимость имеет коэффициент корреляции 0,72, что допустимо по требованиям СП 13-102-2003. При аппроксимации функциями, отличными от линейной (степенной,

№	Наименование метода	Диапазон применения*, МПа	Погрешность измерения**
1	Пластической деформации	5–50	± 30–40 %
2	Упругого отскока	5–50	± 50 %
3	Ударного импульса	10–70	± 50 %
4	Отрыва	5–60	Нет данных
5	Отрыва со скалыванием	5–100	Нет данных
6	Скалывания ребра	10–70	Нет данных
7	Ультразвуковой	10–40	± 30–50 %

Табл. 1. Характеристики методов неразрушающего контроля прочности бетона.

* По требованиям ГОСТ 17624-87 и ГОСТ 22690-88;

** По данным источника [3] без построения частной градуировочной зависимости.

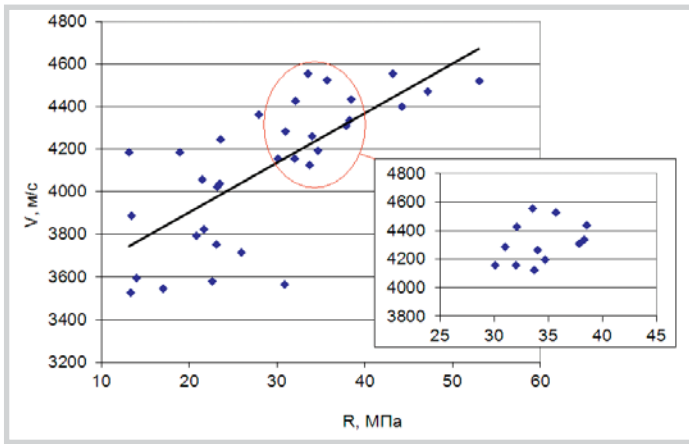


Рис. 1. Зависимость между прочностью бетона и скоростью ультразвуковых волн

логарифмической и пр.) коэффициент корреляции был менее указанного. Если бы диапазон исследуемой прочности бетона был меньше, например от 30 до 40 МПа (область, выделенная красным цветом), то совокупность результатов измерений превратилась в «облако», представленное в правой части рис. 1. Данное облако точек характеризуется отсутствием связи между измеряемым и искомым параметрами, что подтверждается максимальным коэффициентом корреляции 0,36. Иными словами, градуировочную зависимость здесь не построить.

Также необходимо отметить, что на рядовых объектах количество участков измерения прочности для построения градуировочной зависимости сопоставимо с общим количеством измеряемых участков. В данном случае прочность бетона может быть определена по результатам только прямых измерений, а в градуировочной зависимости и использовании косвенных методов контроля уже не будет смысла.

Таким образом, без нарушения требований действующих норм для определения прочности бетона при обследовании в любом случае необходимо в том или ином объеме использовать прямые неразрушающие, либо разрушающие методы контроля [2]. Учитывая это, а также обозначенные выше проблемы, далее более подробно рассмотрим прямые методы контроля.

К данной группе по ГОСТ 22690-88 относится три метода:

1. Метод отрыва;
2. Метод отрыва со скалыванием;
3. Метод скалывания ребра.

Метод отрыва

Метод отрыва основан на измерении максимального усилия, необходимого для отрыва фрагмента бетонной конструкции. Отрывающая нагрузка прилагается к ровной поверхности испытываемой конструкции за счет приклеивания стального диска (рис. 2), имеющего тягу для соединения с прибором. Для приклеивания могут использоваться различные клеи на эпоксидной основе. В ГОСТ 22690-88 реко-

мендуются клеи ЭД20 и ЭД16 с цементным наполнителем. На сегодняшний день могут применяться современные двухкомпонентные клеи, производство которых хорошо налажено (РОХИРОЛ, «Контакт», «Момент» и др.). В отечественной литературе по испытанию бетона [5, 6] методика ис-

пытания предполагает приклеивание диска к участку испытания без дополнительных мероприятий по ограничению зоны отрыва. В таких условиях площадь отрыва является непостоянной и должна определяться после каждого испытания. В зарубежной практике перед испытанием участок отрыва ограничивается бороздой, создаваемой кольцевыми сверлами (коронками). В данном случае площадь отрыва постоянна и известна, что увеличивает точность измерений.

После отрыва фрагмента и определения усилия определяется прочность бетона на растяжение (R_{bt}), по которой с помощью пересчета по эмпирической зависимости может быть определена прочность на сжатие (R). Для перевода можно воспользоваться выражением, указанным в пособии [7]:

$$R_{bt} = 0,5\sqrt{R^2}$$

Для метода отрыва могут применяться различные приборы, используемые и для метода отрыва со скалыванием, такие как ПОС-50МГ4, ОНИКС-ОС, ПИБ, ДУНА (рис. 2), а также старые аналоги: ГПНВ-5, ГПНС-5. Для проведения испытания необходимо наличие захватного устройства, соответствующего тяге, расположенной на диске.

В России метод отрыва не нашел широкого распространения. Об этом свидетельствует и отсутствие серийно выпускаемых приборов, приспособленных для крепления к дискам, а так-



Рис. 2. Прибор для метода отрыва с диском для приклеивания к бетону

же самих дисков. В нормативных документах отсутствует зависимость для перехода от усилия вырыва к прочности на сжатие. В новом ГОСТ 18105-2010, а также предшествующем ГОСТ Р 53231-2008 метод отрыва не включен в перечень прямых методов неразрушающего контроля и вообще не упоминается. Причиной этому, по всей видимости, является ограниченный температурный диапазон применения метода, что связано с продолжительностью твердения и (или) невозможностью использования эпоксидных клеев при низкой температуре воздуха. Большая часть России расположена в более холодных климатических зонах, чем страны Европы, поэтому данный метод, широко применяемый в европейских странах, в нашей стране не используется. Другим отрицательным фактором является необходимость сверления борозды, что дополнительно снижает производительность контроля.

Метод отрыва со скалыванием

Данный метод имеет много общего с описанным выше методом отрыва. Основным отличием является способ крепления к бетону. Для приложения отрывающего усилия используются лепестковые анкеры различных размеров. При обследовании конструкций анкеры закладываются в шпур, пробуренный на участке измерения. Так же, как и при методе отрыва, измеряется разрушающее усилие (P). Переход к прочности бетона на сжатие осуществляется по указанной в ГОСТ 22690 зависимости:

$$R = m_1 \cdot m_2 \cdot P$$

где m_1 – коэффициент, учитывающий максимальный размер крупного заполнителя, m_2 – коэффициент перехода к прочности на сжатие, зависящий от вида бетона и условий твердения.

В нашей стране данный метод нашел, пожалуй, самое широкое распространение благодаря своей универсальности (см. табл.1), относительной простоте крепления к бетону, возможности испытания практически на любом участке конструкции. Основными ограничениями для его применения



Рис. 3. Испытание бетона методом отрыва со скалыванием

Преимущества	Метод		
	Отрыв	Отрыв со скалыванием	Скалывание ребра
Определение прочности бетонов классом более В60	-	+	-
Возможность установки на неровную поверхность бетона (неровности более 5 мм)	-	+	-
Возможность установки на плоский участок конструкции (без наличия ребра)	+	+	-
Отсутствие потребности в источнике электроснабжения для установки	+	-	+
Быстрое время установки	-	+	+
Работа при низких температурах воздуха	-	+	+
Наличие в современных стандартах	-	+	+

Табл. 2. Сравнительные характеристики прямых методов неразрушающего контроля.

* Без сверления борозды, ограничивающей участок отрыва.

являются густое армирование бетона и толщина испытываемой конструкции, которая должна быть больше, чем удвоенная длина анкера. Для выполнения испытаний могут использоваться приборы, указанные выше.

Помимо более простого и быстрого крепления к бетону конструкции по сравнению с методом отрыва, не требуется обязательное наличие ровной поверхности. Главным условием является необходимость того, чтобы кривизна поверхности была достаточной для установки прибора на тягу анкера. В качестве примера на рис. 3 представлен прибор ПОС-МГ4, установленный на деструктированную поверхность устоя гидротехнического сооружения.

Метод скалывания ребра

Последним прямым методом неразрушающего контроля является модификация метода отрыва – метод скалывания ребра. Основное отличие заключается в том, что прочность бетона определяют по усилию (P), необходимому для скалывания участка конструкции, расположенному на внешнем ребре. В нашей стране долгое время выпускались приборы типа ГПНС-4 и ПОС-МГ4 Скол, конструкция которых предполагала обязательное наличие двух рядом расположенных внешних углов конструкции. Захваты прибора подобно струбцине крепились на испытываемый элемент, после чего через захватывающее устройство прилагалось усилие к одному из ребер конструкции. Таким образом, испытание можно было проводить только на линейных элементах (колонны, ригели) или в проемах на краях плоских элементов (стены, перекрытия). Несколько лет назад была разработана конструкция прибора, которая позволяет устанавливать его на испытываемый элемент с наличием только одного внешнего ребра. Закрепление осуществляется к одной из поверхностей испытываемого элемента при помощи анкера с дюбелем. Данное изобретение не-

сколько расширило диапазон применения прибора, но одновременно с этим уничтожило основное преимущество метода скалывания, которое заключалось в отсутствии необходимости сверления и потребности в источнике электроэнергии.

Прочность бетона на сжатие при использовании метода скалывания ребра определяется по нормированной зависимости:

$$R = 0,058 \cdot m \cdot (30P + P^2),$$

где *m* – коэффициент, учитывающий крупность заполнителя.

Для наглядности сравнения характеристики прямых методов контроля представлены в таблице 2.

По данным, приведенным в таблице, видно, что наибольшим числом преимуществ характеризуется метод отрыва со скалыванием.

Однако, несмотря на возможность применения данного метода по указанным норм без построения частной градуировочной зависимости, у многих специалистов возникает вопрос о точности получаемых результатов и соответствии их прочности бетона, определяемой методом испытания образцов. Для исследования этого вопроса, а также сопоставления результатов измерений, полученных прямым методом с результатами измерений косвенными методами, проведен эксперимент, описанный далее.

Результаты сравнения методов

В лаборатории «Обследование и испытание зданий и сооружений» ФГБОУ ВПО «СПбГПУ» были проведены исследования при использовании различных методов контроля. В качестве объекта исследования использован фрагмент бетонной стены, выпиленный алмазным инструментом. Габариты бетонного образца 2,0 x 1,0 x 0,3 м. Армирование выполнено двумя сетками арматуры диаметром 16 мм, расположенной с шагом 100 мм с величиной защитного слоя 15...60 мм. В ис-

следуемом образце применен тяжелый бетон на заполнителе из гранитного щебня фракции 20-40.

Для определения прочности бетона использован базовый разрушающий метод контроля. Из образца с помощью установки алмазного сверления выбурены 11 кернов различной длины диаметром 80 мм. Из кернов изготовлены 29 образцов – цилиндров, удовлетворяющих по своим размерам требованиям ГОСТ 28570-90. По результатам испытания образцов на сжатие выявлено, что среднее значение прочности бетона составило 49,0 МПа. Распределение значений прочности подчиняется нормальному закону (рис. 4). При этом прочность исследуемого бетона имеет высокую неоднородность с коэффициентом вариации 15,6 % и СКО равным 7,6 МПа.

Для неразрушающего контроля применены методы отрыва, отрыва со скалыванием, упругого отскока и удтодами контроля использовались градуировочные зависимости, имеющиеся в паспортах приборов, или заложенные в них.

На рис. 5. представлен процесс измерения методом отрыва. Результаты измерений всеми методами представлены в таблице 3.

По данным, представленным в таблице, можно сделать следующие выводы:

- среднее значение прочности, полученной испытанием на сжатие и прямыми методами неразрушающего контроля, различается не более чем на 5 %;
- по результатам шести испытаний методом отрыва со скалыванием разброс прочности характеризуется низким значением коэффициента вариации 4,8 %;
- результаты, полученные всеми косвенными методами контроля, завышают прочность на 40–60 %. Одним из факторов, приведших к данному завышению, является карбонизация бетона, глубина которой на исследуемой поверхности образца составила 7 мм.

№ п/п	Метод контроля (прибор)	Количество измерений, n	Среднее значение прочности, Rm, МПа	Коэффициент вариации, V, %
1	Испытание на сжатие в прессе (ПГМ-1000 МГ4)	29	49,0	15,6
2	Метод отрыва со скалыванием (ПОС-50 МГ4)	6	51,1	4,8
3	Метод отрыва (DYNA)	3	49,5	-
4	Метод ударного импульса (Silver Schmidt)	30	68,4	7,8
5	Метод ударного импульса (ИПС-МГ4)	7 (105)*	78,2	5,2
6	Метод упругого отскока (Beton Condrol)	30	67,8	7,27

Таблица 3. Результаты измерения прочности различными методами.

* Семь участков по 15 измерений на каждом.

Выводы

1. Мнимая простота и высокая производительность косвенных методов неразрушающего контроля теряется при выполнении требований построения градуировочной зависимости и учета (устранении) влияния факторов, искажающих результат. Без выполнения этих условий данные методы при обследовании конструкций можно применять только для качественной оценки прочности по принципу «больше – меньше».

2. Результаты измерений прочности базовым методом разрушающего контроля путем сжатия отбираемых образцов также могут сопровождаться большим разбросом, вызванным как неоднородностью бетона, так и другими факторами.

3. Учитывая повышенную трудоемкость разрушающего метода и подтвержденную достоверность результатов, получаемых прямыми методами неразрушающего контроля, при обследовании рекомендуется применять последние.

4. Среди прямых методов неразрушающего контроля оптимальным по большинству параметров является метод отрыва со скалыванием.

5. Среди прямых методов неразрушающего контроля оптимальным по большинству параметров является метод отрыва со скалыванием.

**А. В. Улыбин, к. т. н.,
начальник отдела «Обследование зданий и сооружений»,
С. Д. Федотов, главный инженер
Д. С. Тарасова, инженер
(ПНИПКУ «Венчур»,
Санкт-Петербург)**

Список литературы:

1. Штенгель В. Г. О корректном применении НК в обследованиях железобетонных конструкций длительно эксплуатирующихся сооружений // В мире НК. 2009. №3. С. 56–62.
2. Улыбин А. В. О выборе методов контроля прочности бетона построенных сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2011. №4(22). С. 10–15
3. Джонс Р., Фэкоару И. Неразрушающие методы испытаний бетонов. Пер. с румынск. М., Стройиздат, 1974. 292 с.
4. Штенгель В. Г. Общие проблемы технического обследования неметаллических строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2010. №7(17). С. 4–9.
5. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий. М. : ЦНИИПРОМЗДАНИЙ, 1997. 179 с.
6. Лужин О. В. Обследование и испытание зданий и сооружений / О. В. Лужин и др. М. : Стройиздат, 1987. 264 с.
7. Строительные конструкции: учебное пособие / Р. Л. Маилян, Д. Р. Маилян, Ю. А. Веселов. Изд. 4-е. Ростов н/Д : Феникс, 2010. 875 с.

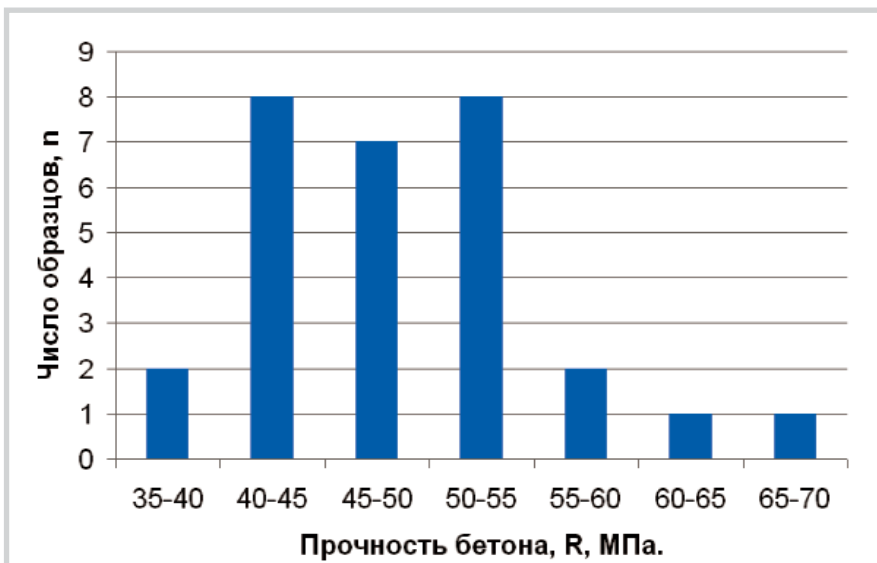


Рис. 4. Распределение значений прочности по результатам испытаний на сжатие



Рис. 5. Измерение прочности методом отрыва