
Оценка прочности бетона в конструкциях при их возведении и эксплуатации



**Коршунов
Дмитрий
Андреевич**

К. т. н., лауреат премий СМ СССР, автор более 200 публикаций и 10 изобретений, участник разработки 20 ГОСТ.

Оговорим с самого начала, что речь идет здесь об оценке прочности бетона на сжатие не в массивных конструкциях, а в несущих конструкциях зданий и других сооружений (кроме гидротехнических), толщиной, как правило, не более 1 м.

Обычно прочность бетона определяют и контролируют в процессе возведения конструкций (изготовления конструкционных изделий) по результатам испытания путем разрушения образцов, отформованных из используемой в производстве бетонной смеси, в соответствии с ГОСТ 10180 [7]. В практике нередки случаи, когда такие контрольные образцы отсутствуют, например, при необходимости:

- прогнозирования несущей способности здания при его реконструкции с увеличением нагрузки;
- приемки конструкций в условиях нарушения правил производства работ, включая производственный контроль прочности бетона по ГОСТ 18105 [9];
- расследования причин разрушения (аварии) конструкции.

Для таких случаев стандартизовано несколько возможных вариантов испытаний для определения прочности R_i на отдельном участке конструкции. Размер такого участка принимают соизмеримым с размерами поперечного сечения линейной конструкции (балка, колонна) или примерно 30×30 см на поверхности конструкций типа плита (перекрытие, стена, пилон). На этом участке бетон должен быть свободен от дефектов (признаки недоуплотнения или расслоения смеси) и повреждений (силовые трещины, деструкция поверхностного слоя бетона).

Проведение испытаний

Прежде всего, нужно назвать наиболее привычное испытание *отобранных из конструкции образцов* по ГОСТ 28570 [11] — обычно это цилиндрические керны, технология извлечения которых достаточно хорошо отработана. Такие испытания весьма наглядны, однако весьма трудоемки и приводят к определенному повреждению конструкции. Поэтому уже давно активно используются альтернативные способы более оперативных испытаний. Так, простукивая конструкцию обычным слесарным молотком, квалифицированный специалист может отличить «хороший» бетон (по звонкому звуку) от «плохого» (звук глухой), но обычно такой вывод оказывается субъективным и явно недостаточным. На вооружении современного эксперта имеется две группы более объективных испытаний.

Местное разрушение

Такие испытания основаны на определении прочности бетона по усилию F , кН, необходимого для местного, в небольшом объеме, разрушения [1]. Требованиями ГОСТ 22690 регламентируется применение двух таких способов [10]. Прежде всего, это способ *отрыва со скалыванием*, который предусматривает вырыв части бетона конической формы вместе с закрепленным в нем анкером одного из пяти типоразмеров.

Однако следует отметить, что недавно опубликованы сведения [2] о выявлении кардинального несоответствия действительности стандартизованных значений коэффициента пропорциональности для современных бетонов при использовании коротких анкеров. Это несоответствие представляется на первый взгляд непонятным, а информация о методике проведенного исследования, к сожалению, отсутствует. Так что пока (до научного подтверждения названного заявления об ошибке стандарта) не следовало бы использовать короткие анкеры.

Таким образом, для бетона прочностью 5–50 МПа при толщине вырыва ($48 \pm 2,4$) мм согласно стандарту опытное значение прочности может быть представлено в виде:

$$R_{\text{obs}} = m_1 m_2 F, \quad (1)$$

где: $m_1 = 1$ при крупности заполнителя до 50 мм и $m_1 = 1,1$ — сверх 50 мм; $m_2 = 1$ для бетона естественного твердения и $m_2 = 1,2$ для бетона после тепловой обработки (обычно в изделиях).

На участке конструкции допускается выполнять одно испытание.

Применяют также испытание путем *скалывания* части образованного перпендикулярными плоскостями ребра конструкции на участке толщиной (20 ± 2) мм и шириной $(30 \pm 0,5)$ мм при направлении скалывающей силы под углом $(72 \pm 1)^\circ$ к контактной поверхности. Способ используют при прочности бетона 10–70 МПа. В этом случае:

$$R_{\text{obs}} = 0,058 m_1 (30F + F^2), \quad (2)$$

где $m_1 = 1$ при крупности заполнителя до 20 мм; $m_1 = 1,05$ при крупности 20–30 мм и $m_1 = 1,1$ при крупности 30–40 мм.

На участке необходимо выполнять не менее двух испытаний и усреднять их результаты.

Дополнительно к требованиям стандарта следует иметь в виду, что полученные по (1) и (2) результаты заметно зависят от напряженного состояния бетона в месте его разрушения. Уровень напряжения σ определяют расчетом конструкции на действие реальной нагрузки. В таком случае на самом деле прочность бетона $R_1 = m_\sigma R_{\text{obs}}$, где значения коэффициента m_σ следует принимать в зависимости от отношения σ/R_{obs} :

σ/R_{obs}	m_σ
0	1,00
0,1	0,90
0,2	0,85
0,3	0,82
0,4	0,85
0,5	0,90
0,6	0,95
0,7	0,1

Принято считать, что результаты этих испытаний достаточно близки к действительной прочности бетона в местах их выполнения. Однако вследствие заметной трудоемкости количество таких испытаний практически бывает невелико. В то же время, как правило, необходимо получать информацию о прочности на достаточно большом для статистического анализа количестве участков. Для этих целей на практике наиболее часто используют два способа неразрушающего определения прочности бетона, имеющих весьма давнюю историю.

Испытания без разрушения

Ультразвуковые испытания регламентированы ГОСТ 17624 [8] для бетона прочностью 10–40 МПа с использованием давно освоенных в серийном производстве измерительных приборов. В этом случае о прочности бетона судят по скорости прохождения ультразвуковых колебаний в бетоне между излучающим и приемным преобразователями. На практике используют также поверхностное прозвучивание на постоянной базе длиной не менее 120 мм при сухом точечном контакте преобразователей с бетоном [3].

Наряду с этим ГОСТ 22690 предусматривает возможность применения ряда механических способов испытаний, большинство которых ориентировано на использование кустарно изготовленных приборов [10]. В то же время уже давно установлено [4], что наиболее удобно использовать способ упругого отскока, реализуемый пружинным склерометром. Сейчас у нас зачастую используют серийные зарубежные приборы, реализующие этот способ и получившие достаточно широкое применение во многих европейских странах. В этом случае речь идет об определении прочности бетона в интервале 5–50 МПа.

Оба эти способа НК весьма оперативны, что позволяет выполнить испытания на большом числе участков и на каждом из них продублировать измерения косвенного параметра P . Однако они позволяют определять прочность бетона только в его поверхностном слое. На практике случается, что этот слой под воздействием внешних факторов претерпел некоторые изменения. Соответствующий (положительный или отрицательный) эффект названных воздействий на несущую способность конструкции зависит от ее массивности. Поэтому в ряде случаев такой поверхностный слой бетона на участках испытаний целесообразно удалять.

При использовании неразрушающих испытаний можно рекомендовать:

- выполнить на каждом участке не менее пяти измерений экспериментального параметра P ;
- отбросить тот из полученных результатов, который наиболее отличается от среднего значения;
- усреднить оставшиеся результаты измерений;
- считать полученное таким образом значение параметра P_i характеристикой прочности бетона R_i на этом участке.

Нужно подчеркнуть, что на зависимости R_i от исследуемых при НК параметров влияет значительное число факторов [5]. Многочисленные попытки установить «универсальную» зависимость для некоторого «стандартного» бетона не привели к положительным результатам. Поэтому стандарты предусматривают обязательное экспериментальное получение параметров такой зависимости для бетона, близкого к испытываемому по основным характеристикам, а затем уточнение их опытным путем. Нужно констатировать, что практика некоторых изготовителей приборов, которые закладывают такую «универсальную» зависимость в программу автоматической обработки результатов измерений, входит

в противоречие с требованиями стандартов на методы испытаний. На это следовало бы обратить внимание органам Госстандарта, разрешающим использование таких приборов. Таким образом, поскольку состав и состояние оцениваемого бетона, как правило, неизвестны, необходимо устанавливать градуировочную зависимость для конкретной оцениваемой совокупности конструкций. Поскольку прочность бетона в ней может изменяться лишь в ограниченных пределах, эту зависимость можно принять линейной и определять ее характеристики таким образом:

- 1) измерить значения $P_i = 1 \dots n$ на всех n участках исследуемой совокупности конструкций;
- 2) по результатам этих испытаний выбрать три участка с наименьшими и три с наибольшими значениями P и для каждой из этих двух групп участков вычислить средние значения P_{m1} и P_{m2} ;
- 3) на этих шести участках способом, основанным на разрушении бетона (по ГОСТ 22690 или ГОСТ 28570), определить прочность бетона. Для каждой из двух названных групп участков вычислить средние значения прочности P_{m1} и P_{m2} ;
- 4) искомую зависимость принять в виде $R_i = AP_i + B$, для которой вычисляются $A = (R_{m1} - R_{m2}) / (P_{m1} - P_{m2})$ и $B = R_{m1} - AP_{m1} = R_{m2} - AP_{m2}$.

Известная автору практика представления результатов испытаний бетона свидетельствует об игнорировании или непонимании в отдельных испытательных лабораториях вероятностного существа основной характеристики прочности бетона — ее класса. Поэтому необходимо напомнить, что класс бетона B выражает гарантированное с вероятностью 95% значение его прочности при сжатии, соответствующее результатам испытания образцов эталонных формы и размеров — кубов с длиной ребра 150 мм. Нужно напомнить, что правила приемки бетона по прочности согласно ГОСТ 18105 предписывают обязательный учет ее изменчивости. При этом необходимо использовать значение коэффициента вариации, усредненное по результатам испытания не менее 30 последовательно изготовленных партий продукции. В противном случае средняя прочность бетона партии должна удовлетворять условию $R_m \geq R_m = 1,4 B_{\text{норм}}$.

При проектировании конструкции назначается проектный класс бетона как одно из нормированных значений унифицированного ряда. В рассматриваемом же здесь случае речь идет об определении дейст-

вительного уровня класса B_f с последующим определением значения R_b расчетного сопротивления согласно указаниям норм проектирования.

Оценка прочности бетона

Впервые общие правила выполнения такой работы были сформулированы четверть века назад в руководстве по определению и оценке прочности бетона [6]. С тех пор многие положения этого документа в достаточной мере устарели.

Представляется нужным подчеркнуть, что оценку прочности бетона следует поручать специалистам, имеющим достаточную инженерную осведомленность в области возведения и работы конструкций из бетона, опыт обследования строительных объектов, а также условия, необходимые для выполнения испытаний бетона. Обычно речь идет о соответственно лицензированных организациях. В общем случае оценку прочности бетона нужно выполнять согласно техническому заданию по рабочему плану, который должен конкретизировать объект оценки; количество и размещение мест испытаний, а также способы их выполнения; правила обращения с результатами испытаний и определения значения действительного класса бетона.

При рассмотрении объекта оценки может идти речь об отдельной конструкции небольшого объема или о совокупности конструкций, последовательно возведенных в сходных технологических условиях. В последнем случае предполагают, что изменчивость прочности бетона может иметь лишь случайный характер.

При определении количества и размещения мест испытаний следует иметь в виду, что определение прочности путем разрушения извлеченных из конструкции образцов или бетона в конструкции является более достоверным, но и более дорогим. В то же время значительно более простые неразрушающие испытания могут привести к существенным погрешностям. То есть возникает потребность оптимального выбора между стоимостью работы и достоверностью полученного результата.

Прочность бетона в однородной совокупности конструкций должна быть определена на статистической основе. При этом может быть рекомендован следующий порядок проведения, испытаний и обработки полученных результатов:

- 1) на исследуемых конструкциях равномерно размещают не менее $n = 15$ участков испытаний, на каждом из которых одним из упомянутых способов определяют единичное значение прочности бетона R_i ;

- 2) для массива этих опытных данных вычисляют среднее значение прочности $R_m = \sum_{i=1}^n R_i / n$, ее среднеквадратичное отклонение $S_{obs} = [\sum_{i=1}^n (R_i - R_m)^2 / (n - 1)]^{1/2}$ и коэффициент вариации $V_{obs} = S_{obs} / R_m$;
- 3) дополнительно полезно проверить возможность учета отдельного (наибольшего или наименьшего) значения прочности R_{ex} . Если $|R_{ex} - R_m| / S_{obs} > 2$, то этот результат следует исключить и откорректировать первоначально полученные в п. 2 значения характеристик;
- 4) в зависимости от полученного значения V_{obs} представляется целесообразным одно из следующих решений:
- а) в случае $V_{obs} < 0,06$ следует принять $V = 0,06$;
 - б) если $V_{obs} > 0,15$, полезно проверить симметричность распределения прочности, для чего массив экспериментальных значений $R_{i=1...n}$ разделяют на две группы и для каждой из них выполняют вычисления, приведенные в таблице. При выполнении решающего условия распределение прочности можно считать симметричным. В противном случае S_{obs} по п. 2 нужно заменить на S_j ;

Таблица

Характеристика	Группа значений R_i относительно среднего значения R_m	
	левая $R_i < R_m$	правая $R_i < R_m$
Объем группы	l	$n-l$
Дисперсия группы	$S_l^2 = \sum 2(R_i - R_m) / (2l - 1)$	$S_r^2 = \sum^{(n-l)} 2(R_i - R_m) / [2l - 1]$
Решающее условие	$0,8 \leq S_l^2 / S_r^2 \leq 1,2$	

- в) при $V_{obs} > 0,2$ рекомендуется проанализировать возможную неоднородность распределения прочности с учетом характера ее гистограммы: наличие в ней двух (очень редко — нескольких) максимумов свидетельствует о статистической неоднородности совокупности, и тогда ее следует разделить на новые совокупности с учетом результатов анализа сведений об условиях создания первоначально объединенных конструкций и выполнить оценку каждой из полученных новых совокупностей;
- 5) с использованием откорректированных в случае необходимости значений R_m и V вычисляют действительное значение класса бетона: $B_r = 1,05 (1 - t_a V) R_m$, где t_a — коэффициент Стьюдента.

Отметим, что оценка прочности бетона в отдельной конструкции (в частности участок плиты или стены, колонна, балка и т. п.) небольшого объема (например, 10–20 м³) может быть выполнена в упрощенном порядке:

- а) при помощи неразрушающих испытаний не менее чем из пяти равномерно расположенных на конструкции участков определяют участок с ожидаемой минимальной прочностью бетона;
- б) на этом участке способом разрушения бетона (по ГОСТ 22690 или ГОСТ 28570) определяют прочность R_{\min} ;
- в) действительное значение класса бетона вычисляют по формуле $B_r = 0,95 R_{\min}$.

В заключение отмечу, что было бы полезным собрать и обобщить мнения научных работников и практиков, которые специализируются в рассматриваемой области. Не исключена потребность проведения дополнительных исследований по согласованным специалистами методикам. На этой основе было бы целесообразно разработать на базе ГОСТ 17624 и ГОСТ 22690 межгосударственный стандарт, упорядочивающий оценку прочности бетона в конструкциях.

Литература

1. Белый Г. И., Гордиенко Е. Г., Гордиенко Е. В. Некоторые особенности использования средств и методов НК при обследовании бетонных и железобетонных конструкций. — В мире НК. 2003. № 3 (21). С. 28–31.
2. Коревицкая М. Г., Тухтаев Б. Х. Об ошибке ГОСТ 22690–88 при определении прочности бетона методом отрыва со скалыванием. — Бетон и железобетон. 2003. № 6. С. 32.
3. Вайнблат Д. М. Совершенствование техники ультразвукового контроля качества бетона. — Там же. 1986. № 5. С. 10–11.
4. Коршунов Д. А. и др. Сравнительные испытания механических приборов для определения прочности бетона. — Там же. С. 20–21.
5. Джонс Р., Фэкзоару И. Неразрушающие методы испытаний бетонов/Пер. с румынск. — М.: Стройиздат, 1974. — 292 с.
6. Руководство по определению и оценке прочности бетона в конструкциях зданий и сооружений/НИИСК и НИИЖБ при участии ИТВ (Польша). — М.: Стройиздат, 1979. — 31 с.
7. ГОСТ 10180–90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
8. ГОСТ 17624–87. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.
9. ГОСТ 18105–86. Бетоны. Правила контроля прочности.
10. ГОСТ 22690–88. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля.
11. ГОСТ 28570–90. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций.