Особенности применения новых приборов для НК прочности бетона

Авторский коллектив сотрудников ООО «СКБ Стройприбор», г. Челябинск

Гулунов Владимир Васильевич

Директор

Мотовилов Анатолий Валентинович

Главный метролог

Гершкович Григорий Борисович

Заместитель директора

В последние годы отмечается значительный рост производства и применения средств НК строительной продукции, что обусловлено расширением сферы их применения и постоянно растущими потребностями отрасли. Благодаря высокой производительности НК его преимущества становятся очевидными при обследовании зданий и сооружений, когда неизвестны характеристики бетона и арматуры, а объемы контроля значительны.

Для оценки состояния конструкций зданий и сооружений необходим всесторонний анализ факторов, влияющих на их эксплуатационные характеристики, — прочность бетона, защитный слой и диаметр арматуры, теплопроводность и влажность бетона, адгезия защитных и облицовочных покрытий, морозостойкость и водонепроницаемость бетона и др. В этом ряду контроль прочности бетона занимает особое место, поскольку при оценке состояния конструкции определяющим фактором является соответствие фактической прочности бетона проектным требованиям.

Для НК прочности бетона используются приборы, реализующие методы местных разрушений (отрыв со скалыванием, скалывание ребра, отрыв стальных дисков), ударного воздействия на бетон (ударный импульс, упругий отскок, пластическая деформация) и ультразвукового прозвучивания. При обследовании монолитных конструкций и больших массивов бетона применение ударно-импульсных и ультразвуковых приборов должно сочетаться с испытаниями бетона методами отбора образцов (кернов) [1], отрыва со скалыванием или скалывания ребра [2]

с определением коэффициента K_c совпадения градуировочных зависимостей.

Достоверность НК прочности бетона зависит от ряда факторов:

— наличия программы и методики проведения испытаний (выбор участков испытаний и их количества, учет состояния поверхности, возраста, условий твердения бетона);
— оптимального выбора метода (методов) контроля и приборов, обеспечивающих НК в соответствии с программой испытаний;
— правильного подхода к определению класса бетона с учетом изменчивости прочности бетона конструкции (группы конструкций) [3];
— уточнения градуировочных характеристик применяемых приборов и наличия метрологического обеспечения.

Правильность учета перечисленных факторов и дальнейшей оценки результатов НК зависят от квалификации персонала, осуществляющего контроль. Можно иметь качественные результаты испытаний бетона отдельных участков или конструкций, но при недостаточном объеме контроля определение коэффициента вариации прочности и, соответственно, класса бетона окажется ошибочным.

Наиболее сложными для контроля конструкций являются случаи, когда бетон подвергается воздействию агрессивных факторов: химических (соли, кислоты, масла и др.), термических (высокие температуры, замораживание в раннем возрасте либо переменное замораживание и оттаивание в водоненасыщенном состоянии), атмосферных (карбонизация поверхностного слоя). Эти факторы воздействуют, в первую очередь, на поверхностные слои бетона, в связи с чем при обследовании необходимо визуально, простукиванием либо смачиванием раствором фенолфталеина (случаи карбонизации бетона) выявить поверхностный слой с нарушенной структурой.

Подготовка бетона таких конструкций для испытаний неразрушающими методами заключается в удалении поверхностного слоя на участке контроля и зачистке поверхности наждачным камнем. Прочность бетона конструкций в этих случаях необходимо определять преимущественно приборами, основанными на методах местных разрушений, либо путем отбора образцов. При использовании же ударно-импульсных и ультразвуковых приборов контролируемая поверхность должна иметь шероховатость не более R_a 25, а градуировочные характеристики приборов уточнены в соответствии с Приложением 9 [2].

При выборе методов НК и приборов для проведения испытаний бетона пользователь должен знать их особенности и рекомендуемые области применения. Достаточно полно методы НК классифицированы Б. Г. Скрамтаевым и М. Ю. Лещинским [4, 5], в их работах даны рекомендации по выбору методов и средств НК в зависимости от вида контролируемого изделия и условий его эксплуатации.

С начала 1990-х гг. активно ведется разработка и производство приборов НК нового поколения с применением электроники и микропроцессорной техники, наращиваются их функциональные возможности; однако, методики контроля, разработанные авторами ГОСТ 22690, не претерпели существенных изменений и остаются основой развития средств НК в отрасли.

Особого внимания заслуживают методы, которые часто называют методами местных разрушений и которые обеспечивают большую точность по сравнению с другими методами НК:

- отрыва со скалыванием;
- отрыва стальных дисков;
- скалывания ребра.

Первый метод характеризуется наибольшей точностью, но и наибольшей трудоемкостью испытаний из-за необходимости подготовки шпуров для установки анкера. Недостатком является также невозможность его использования в густоармированных и тонкостенных конструкциях.

Второй метод может применяться в густоармированных конструкциях, когда метод отрыва со скалыванием, а нередко и метод скалывания ребра конструкции (с учетом его ограничений) не могут быть использованы. Он точен и менее трудоемок по сравнению с первым методом. К его недостаткам следует отнести необходимость наклеивания дисков за 3–24 часа до начала испытания (в зависимости от применяемого клея).

Третий метод используется, главным образом, для контроля линейных элементов (сваи, колонны, ригели, балки, перемычки и т. п.). В отличие от первых двух методов он не требует подготовительных работ. Однако при защитном слое менее 20 мм и повреждениях защитного слоя этот метод неприменим.

Вид типовых градуировочных зависимостей $R_{сж}$ от усилия P для методов местных разрушений приведен на рис. 1.

СКБ «Стройприбор» производит сертифицированные приборы типов ПОС-50МГ4, ПОС-30МГ4 «Скол» и ПОС-50МГ4 «Скол», обеспечивающие

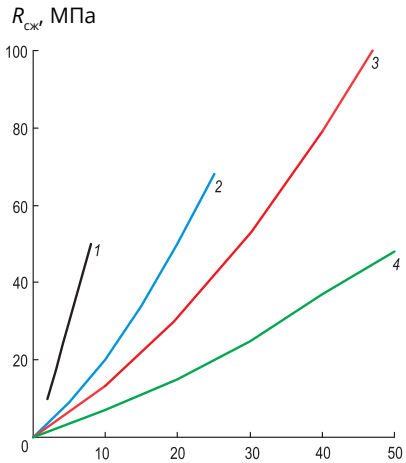

Рис. 1. Градуировочные зависимости для разных методов: *1* — отрыва (диаметр диска 60 мм); *2* — скалывания ребра (фрагмент до 20 мм); *3*, *4* — отрыва со скалыванием с анкерами типа II ∅ 16 × 35 мм и ∅ 24 × 48 мм соответственно

испытание бетона методами отрыва со скалыванием, скалывания ребра и отрыва стальных дисков, а также приборы типов ИПС-МГ4.01, ИПС-МГ4.03, реализующие метод ударного импульса, и прибор ПОС-2МГ4П, предназначенный для испытания ячеистых бетонов методом вырыва спирального анкера.

Приборы типа ПОС состоят из силовозбудителя и электронного блока и комплектуются анкерами типа II Ø 24 × 30 мм, 24 × 48 мм и Ø 16 × 35 мм с предельным усилием вырыва 30 кН (ПОС-30) и 50 кН (ПОС-50), что позволяет производить испытание бетона прочностью до 100 МПа. Погрешность определения усилия не более ± 2 %. Отличительной особенностью приборов являются электронный силоизмеритель, обеспечивающий индикацию текущего значения приложенной нагрузки с фиксацией максимального значения, индикацию скорости нагружения, и микрометрическое устройство для измерения величины проскальзывания анкера в процессе испытаний. Ввод исходных данных (вид и условия твердения бетона, типоразмер анкера) осуществляется с клавиатуры приборов, при этом обеспечивается выбор коэффициентов для автоматического вычисления прочности бетона по результатам нагружения (вырыва фрагмента бетона). Силовозбудители приборов типа ПОС имеют различное конструктивное исполнение, отличающееся устройством механизма нагружения и количеством опор.

Рис. 2

Прибор ПОС-50МГ4-Р (рис. 2) оснащен малогабаритным червячным редуктором, обеспечивающим равномерное нагружение анкера и малое усилие на рукояти.

Комплектуется устройством для испытаний методом скалывания ребра конструкций с гранью до 450 мм.

Прибор ПОС-50МГ4-2 (рис. 3) имеет две опоры, минимальные массогабаритные характеристики и может применяться для испытания бетона изделий цилиндрической формы, когда применение трехопорных приборов ограничено.

Рис. 3

Для получения качественных измерений методом отрыва со скалыванием отверстие для заложения анкера должно быть не ближе 70 мм от ближайшего арматурного стержня и не ближе 150 мм от края изделия, а величина проскальзывания анкера при вырыве должна контролироваться с погрешностью не более ± 0,1 мм и составлять не более 10 % глубины его заложения. Полученное по результатам испытаний усилие вырыва фрагмента бетона должно корректироваться умножением на коэффициент γ, учитывающий величину Δh проскальзывания анкера: $\gamma = h_н^2 / (h_н - h)^2$, где $h_н$ — длина анкера. Пренебрежение проскальзыванием анкера может приводить к дополнительной погрешности при определении прочности бетона до 20 % в сторону ее занижения. Испытания методом отрыва со скалыванием должны производиться в соответствии с рекомендациями [2, 6].

Испытания бетона методом отрыва стальных дисков могут производиться любым из приборов ПОС-30 (50) МГ4, либо адгезиметром типа ПСО-10МГ4 (рис. 4) с предельным усилием отрыва 10 кН. Метрологические характеристики приборов типа ПОС и ПСО обеспечиваются образцовыми динамометрами типа ДОРМ на 10, 30 и 50 кН.

Рис. 4

Определение глубины залегания арматуры и ее расположения

Рис. 5

в бетоне при подготовке к испытаниям методом отрыва со скалыванием должно производиться измерителем защитного слоя бетона, например ИПА-МГ4 (рис. 5), имеющим диапазон определения защитного слоя 3–100 мм в стержнях диаметром 3–40 мм с погрешностью до ± 7%.

Для контроля прочности ячеистых бетонов в диапазоне 0,5–8 МПа разработан прибор ПОС-2МГ4-П (рис. 6), основанный на методе вырыва спирального анкера. Прибор обеспечивает испытания бетона с предельным усилием вырыва 2 кН (погрешность до ± 3%). Установка анкера осуществляется специальным устройством, обеспечивающим постоянный шаг ввинчивания в тело бетона.

В отличие от методов местных разрушений, приборы, основанные на ударно-импульсном воздействии на бетон, имеют большую производительность, однако, контроль прочности бетона ведется в поверхностном слое толщиной 25–30 мм, что ограничивает их применение; в упомянутых выше случаях необходима зачистка поверхности контролируемых участков бетона или удаление поврежденного поверхностного слоя. Применение этих приборов для НК прочности и однородности бетона в возрасте до 100 суток не вызывает особых сложностей, если контролируемые поверхности образованы металлической опалубкой. НК прочности бетона на заводах ЖБИ и в строительных лабораториях, как правило, осуществляется после приведения градуировочных зависимостей приборов в соответствие с фактической прочностью бетона по результатам испытания контрольных партий кубов [7] в прессе.

Рис. 6

Аналогичные испытания прибора ИПС-МГ4.03 проводились в НТЦ «Качество», г. Николаев (Украина) на кубах из тяжелого бетона класса В25 (шесть серий по три куба).

По результатам испытаний был установлен коэффициент совпадения $K_c = 0{,}84$ используемой градуировочной зависимости (тяжелый бетон на граните, возраст 28 суток, ТВО). Фактическая прочность бетона в сериях составила 32,8–38,9 МПа и соответствовала заявленному классу бетона при коэффициенте вариации 13,5 %. Полученный коэффициент K_c был введен в программное устройство прибора, и испытания были продолжены на двух контрольных сериях образцов с целью проверки уточненной градуировочной зависимости. Прибор воспроизвел прочность бетона с погрешностью 1,2 и 3,1 % соответственно. Осмотр разрушенных кубов всех серий показал наличие в растворной части бетона многочисленных глинистых включений размером до 10–12 мм. Описанный случай является достаточно редким (при правильно выбранной градуировочной зависимости коэффициент K_c изменяется, как правило, в пределах 0,88–1,12) и объясняется применением при изготовлении бетона некачественного песка с большим содержанием глинистых включений.

Применение ударно-импульсных и ультразвуковых приборов на объектах строительства и при обследовании эксплуатируемых конструкций, когда нет возможности уточнить градуировочную зависимость испытанием кубов в прессе, сопряжено с существенными ошибками при определении прочности бетона.

Опыт ведущих специалистов по НК прочности бетона показывает, что в базовый комплект при проведении обследований должны входить приборы, основанные на разных методах контроля: отрыв со скалыванием (скалывание ребра), ударный импульс (упругий отскок, пластическая деформация), ультразвук, а также измерители защитного слоя и влажности бетона и оборудование для отбора образцов из конструкции.

Экспериментальные исследования, проводившиеся с целью установления корреляции косвенной характеристики приборов типа ИПС, откалиброванных на бетонах с гранитным щебнем, с прочностью бетона, изготовленного на других видах крупного заполнителя (гравий, граншлак, известняк, керамзит, речной песок), показали, что погрешность определения прочности бетона может достигать 27 % (керамзитобетон). Влияние возраста (до 100 суток) и условий твердения бетона не столь существенны и могут составлять 4–6 % измеряемого значения прочности. Контроль влажных поверхностей может приводить к занижению показаний приборов до 10–15 %.

Полученные результаты свидетельствуют, что НК прочности бетона приборами с универсальной градуировочной зависимостью может приводить к существенным ошибкам. Поэтому уточнение градуировочных зависимостей при изменении вида бетона (заполнителя) либо поставщика бетона (железобетонных изделий) является обязательным условием применения как приборов, основанных на ударно-импульсном воздействии на бетон, так и ультразвуковых приборов. Уточнение градуировочной зависимости необходимо производить путем параллельных испытаний бетонных кубов в прессе и калибруемым прибором либо с применением метода отрыва со скалыванием в соответствии с Приложением 9 [2].

Рис. 7

В СКБ «Стройприбор» разработаны новые измерители прочности бетона ИПС-МГ4.01 и ИПС-МГ4.03 (рис. 7, 8), являющиеся дальнейшим развитием базовой модели ИПС-МГ4, выпускавшейся с 1994 г. Приборы предназначены для оперативного контроля прочности бетона в диапазоне 3–100 МПа при изготовлении сборных железобетонных конструкций и при обследовании конструкций зданий и сооружений. В отличие от предыдущих модификаций и известных аналогов приборы оснащены дополнительными функциями: ввода коэффициента совпадения K_c для оперативного уточнения базовых градуировочных характеристик; маркировки измерений типом контролируемого изделия (балка, плита, ферма и т. д.); вычисления класса бетона с возможностью выбора коэффициента вариации прочности; исключения ошибочного промежуточного значения. Эти функции, а также выбор направления удара активируются пользователем с клавиатуры приборов в диалоговом режиме. Прибор

Рис. 8

ИПС-МГ4.03 имеет 44 базовые градуировочные зависимости, учитывающие вид контролируемого бетона (крупного заполнителя), возраст и условия твердения бетона. Погрешность определения прочности бетона составляет 5–8%. Чем больше исходных данных, характеризующих бетон, известно пользователю и, соответственно, введено перед началом испытаний, тем эта погрешность ниже.

Измерение прочности бетона осуществляется путем нанесения на контролируемом участке изделия серии до 15 ударов, после чего электронный блок по параметрам ударного импульса, поступающего от склерометра, оценивает твердость и упругопластические свойства материала, преобразует параметр импульса в прочность и вычисляет соответствующий класс бетона. Полученные результаты измерений и исходные данные, вводимые пользователем, автоматически архивируются, маркируются датой и временем измерения. Объем архивируемой информации — 1000 результатов измерений и 15000 промежуточных значений прочности.

Предусмотрена возможность ввода в программное устройство приборов характеристик индивидуальных градуировочных зависимостей, установленных пользователем (в приборах ИПС-МГ4.03 и ИПС-МГ4.01–20 и 9 соответственно). Ввод этих характеристик производится с клавиатуры прибора, при этом базовая зависимость корректируется по результатам параллельных испытаний бетонных образцов в прессе (либо методом отрыва со скалыванием) и прибором.

Корректировка базовой зависимости может производиться при количестве точек корректировки от 1 до 9. Координата каждой из точек индивидуальной градуировочной зависимости определяется коэффициентом совпадения $K_c = R_{Фi}/R_{Hi}$, где $R_{Фi}$ и R_{Hi} — средние значения прочности бетона, определяемые в *i*-й точке диапазона соответственно по ГОСТ 10180 (либо методом отрыва со скалыванием), и прибором по базовой градуировочной зависимости.

Приборы имеют режим передачи данных на ПК, обеспечивающий математическую и статистическую обработку результатов измерений, экспорт в Excel, печать в табличном виде с указанием вводимых пользователем исходных данных, даты и времени измерений.

Метрологические характеристики приборов обеспечиваются эквивалентными мерами, аттестованными Госстандартом РФ, воспроизводящими прочность бетона в трех точках диапазона.

Литература

1. ГОСТ 28570–90. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкции. — М.: Изд-во стандартов, 1990.

2. ГОСТ 22690–88. Бетоны. Определение прочности бетона методами неразрушающего контроля. — М.: Изд-во стандартов, 1988.

3. Клевцов В. А. Об определении изменчивости прочности бетона при испытании неразрушающими методами. — РААСН. Вестник отделения строительных наук. 2000. Вып. 3. С. 147.

4. Скрамтаев Б. Г., Лещинский М. Ю. Испытание прочности бетона. — М.: Стройиздат, 1964, с. 144–150.

5. Лещинский М. Ю. Испытание бетона. — М.: Стройиздат, 1980, с. 152–162.

6. Рекомендации. Определение прочности бетона в конструкциях и изделиях методом вырыва анкера (МИ2016-03). — М.: НИИЖБ-ГП ВНИИФТРИ, 2003.

7. ГОСТ 10180–90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. — М.: Изд-во стандартов, 1990.