Некоторые особенности использования средств и методов НК при обследовании бетонных и железобетонных конструкций

Белый Григорий Иванович

Зав. кафедрой металлических конструкций и испытаний сооружений СПбГАСУ, д. т. н., профессор, директор ЗАО «ЭРКОН», эксперт высшей квалификации по зданиям и сооружениям, соавтор учебника в трех томах «Металлические конструкции», разработчик ряда МУ и РД Госгортехнадзора РФ.

Гордиенко Евгений Григорьевич

Зав. кафедрой технологии конст – рукционных материалов и метрологии СПбГАСУ, к. т. н., доцент, специалист II уровня по визуальному и измерительному контролю.

Гордиенко Валерий Евгеньевич

Руководитель лаборатории НК и технической диагностики СПбГАСУ, к. т. н., доцент, специалист II уровня по УЗК.

Бетон и железобетон были и остаются одними из основных строительных композиционных материалов, которые используются при сооружении промышленных и гражданских зданий, мостов, тоннелей, взлетно-посадочных полос, гидротехнических и других сооружений. В технически развитых странах на одного жителя приходится в год более 1 м^3 бетона и железобетона, и хотя в России этот показатель почти втрое ниже, объем применения железобетонных конструкций очень высок [1]. Это требует разработки надежных способов и средств диагностического контроля, которые бы позволили дать объективную оценку состояния железобетонных конструкций и оценить их остаточный ресурс.

Условия затвердевания бетонной композиционной смеси, а также ее меняющийся состав, состоящий из различных видов вяжущих материалов, наполнителей, специальных добавок и воды, вносят существенные трудности в проведение контроля. Физико-механические свойства строительных изделий могут определяться как на образцах, вырезанных из изделий, так и на образцах, изготовленных по той же технологии, что

и контролируемая партия. Высокая надежность в первом случае может обеспечиваться только при большой выборке объектов контроля и стабильном процессе их изготовления. Однако такой контроль в современных условиях маловероятен. Объективность контроля во втором случае также стоит под вопросом, вследствие различных условий изготовления образцов-свидетелей и крупногабаритных конструкций. Для эксплуатируемых конструкций затруднительно смоделировать необходимые условия изготовления исследуемых образцов, а использовать разрушающие методы контроля зачастую не представляется возможным.

Поэтому повышение достоверности и надежности контроля может быть достигнуто за счет привлечения неразрушающих методов, которые обеспечивают высокую производительность контроля непосредственно в конструкциях и сооружениях. Такая постановка вопроса особенно актуальна при обследовании зданий и сооружений, когда неизвестны характеристики бетона и арматуры.

Надежность результатов НК строительных конструкций из бетона и железобетона в значительной степени зависит от возможностей применяемой аппаратуры и методик исследования. При определении прочности бетона можно использовать различные методы: отрыв со скалыванием, ударно-импульсный и ультразвуковой, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки.

Наиболее точным является метод отрыва со скалыванием, который применяется в особо ответственных случаях при обследовании железобетонных конструкций и сооружений. Этот метод позволяет контролировать прочность бетона на глубине до 50 мм, т. е. на глубине заделки анкера. Недостатком его является высокая трудоемкость и невозможность использования в густоармированных участках исследуемого объекта, что можно компенсировать методом скалывания ребра, обеспечивающим более высокую производительность.

Основными производителями сертифицированных приборов для реализации метода отрыва со скалыванием являются: СКБ «Стройприбор» (Челябинск), ВЗ «Эталон» (Москва) и «Контрос — Стройприбор» (Москва) [2]. НПП «Карат» выпускает прибор для испытания бетона методом отрыва со скалыванием Оникс-ОС. Это первый из приборов, проходящий сертификацию с утверждением типа и внесением в Госреестр.

СКБ «Стройприбор» с 2001 г. производит две современные модели: приборы ПОС-30МГ4 и ПОС-50МГ4, предназначенные для испытания

бетонов, имеющих прочность 5 ÷ 100 МПа (предельное усилие вырыва 30 и 50 кН соответственно). Приборы комплектуются анкерами типов II-48, Ø 24 мм и II-35, Ø 16 мм. Оригинальная конструкция прибора ПОС-30МГ4 «Скол» обеспечивает возможность испытания бетона методом отрыва со скалыванием или методом скалывания ребра. Время подготовки прибора к работе не более 5 мин. Прибор работает с анкером типа II-35, Ø 16 мм и предназначен для контроля бетона прочностью 5 ÷ 100 МПа. Приборы ПОС-50МГ4, — 30МГ4 и ПОС-30МГ4 «Скол» широко применяются для контроля прочности сборного и монолитного железобетона, а также для уточнения градуировочных характеристик ультразвуковых приборов и приборов, работающих по методам ударного импульса, упругого отскока и пластической деформации в соответствии с Приложением 9 [3]. Приборы имеют устройство контроля величины проскальзывания анкера и электронный силоизмеритель, снабжены микропроцессорным измерительным блоком, обеспечивающим контроль скорости нагружения, запоминание усилия отрыва и ввод с клавиатуры характеристик анкера и контролируемого бетона [4].

Измеритель прочности бетона ОНИКС-ОС НПП «Карат» применяется как при обследовании железобетонных конструкций и сооружений, так и для корректировки калибровочных коэффициентов ультразвуковых и ударно-импульсных приборов. Предельное усилие вырыва 50 кН, диапазон по прочности 5 ÷ 100 МПа. Он выполнен в виде микропроцессорного устройства и гидравлического пресса с пространственной самоустановкой оси вырыва и механизмом защиты от проскальзывания анкера, что позволило существенно улучшить метрологические и эксплуатационные характеристики. Микропроцессорное устройство обеспечивает полный контроль процессов нагружения и измерения в реальном времени Гидравлический пресс имеет, в сравнении с аналогами, наименьшие габариты и массу [3].

Метод отрыва широко применяется за рубежом для оценки прочности бетона в процессе эксплуатации [4]. Согласно стандартам BS 1881:207, ASTM C900, EN 12399, UNI 9536, 10157 на исследуемой поверхности бетона с помощью специальной фрезы вырезается круговая канавка на поверхность которой наклеивается отрывное устройство, с помощью которого вырывают подрезанную пробу, при этом сила вырыва нормируется. В соответствии со стандартами ISO 4624, NF P34501 / 301, EN 12618 и другими прочностные испытания реализуются посредством вырыва-

ния конуса. В этом случае после засверловки отверстия, определяющего высоту вырываемого конуса, вводится самораскрывающаяся фреза, которая определяет высоту вырываемого конуса. Затем, используя специальное устройство, вырывает конус с помощью разъемного кольца.

Для *ударно-импульсного метода* характерна высокая производительность при повышении достоверности измерений и автоматизации процесса контроля. Основное достоинство метода — слабое влияние состава бетона на результаты измерений. Недостатки — контроль прочности только в поверхностном слое, который не всегда характеризует глубинные слои из-за разной степени старения бетона и изменения структуры и свойств поверхностного слоя под воздействием внешней среды. Однако при контроле только что изготовленной конструкции, тонкостенного изделия, а также диагностирования состояния поверхностного слоя бетона этот недостаток не сказывается.

СКБ «Стройприбор» разработало два микропроцессорных прибора, реализующих этот метод: ИПС-МГЧ и ИПС-МГЧ+. Они предназначены для оперативного контроля прочности и однородности бетона, раствора и строительной керамики методом ударного импульса по ГОСТ 22690. Приборы имеют градуировочную зависимость, обеспечивающую определение прочности легких и тяжелых бетонов с прочностью от 3 до 100 МПа, с погрешностью не более 10%. Прибор ИПС-МГ4 производится с 1984 г. В 2000 г. разработан прибор ИПС-МГ4+, который в отличие от предшественника хранит в программном устройстве около 100 градуировочных зависимостей, учитывающих вид бетона, вид заполнителя, условия твердения и возраст бетона. Выбор градуировочных зависимостей производится в диалоговом режиме с клавиатуры прибора. В обоих приборах предусмотрен режим занесения в программное устройство индивидуальных градуировочных характеристик, установленных пользователем. В настоящее время в эксплуатации находятся более 1700 приборов типа ИПС [4, 6].

Отличительной особенностью прибора «Оникс-2.4» НПП «Карат» является определение прочности бетона одновременно по ударному импульсу и упругому отскоку, что позволяет расширить информационный массив, повысить достоверность результатов и сократить количество ударов. Диапазон измеряемой прочности 1 ÷ 30 или 5 ÷ 100 МПа выбирается через пункт меню «диапазон», обеспечивая возможность контроля широкого спектра материалов. Кроме контроля железобетон-

ных изделий прибор применим для контроля керамического и силикатного кирпича, штукатурки и изделий из композиционных материалов. Оригинальная конструкция датчика-склерометра имеет минимальную массу и очень удобна в использовании. Она позволяет пользователю работать одной рукой, выполнять измерения в труднодоступных местах с высокой точностью и интенсивностью нанесения ударов. В настоящее время в эксплуатации находится более 600 приборов серии «Оникс» [3].

Ультразвуковой метод позволяет оценивать прочность бетона, находить внутренние дефекты (пустоты, трещины), осуществлять технический контроль, определять геометрические параметры различных строительных конструкций. Работы по созданию аппаратуры для УЗК железобетона стали проводиться в нашей стране с 1970-х годов, однако, в отличие от ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений и металлоконструкций, в случае железобетонных конструкций наблюдается отставание, объясняемое недостаточностью современных средств измерения и методического обеспечения. Перенесение средств и методов УЗК металлов и сплавов на контроль бетона невозможно [5]. При этом для контроля металлических конструкций используются высокочастотные ультразвуковые колебания, а для железобетона — низкочастотные (из-за быстрого затуханием в нем высокочастотных колебаний).

В основу метода УЗК положена зависимость скорости распространения акустических волн от физико-механических свойств бетона. При появлении дефектов скорость распространения колебаний в бетоне уменьшается. Используя заранее определенные корреляционные зависимости, по значению скорости можно сказать о прочности, пористости и кажущейся прочности объекта. Для контроля бетонных и железобетонных конструкций широко используются методы сквозного и поверхностного прозвучивания. При сквозном прозвучивании можно оценить характеристику бетона и состояние конструктивного элемента в целом с учетом имеющихся дефектов, что позволяет оценить несущую способность контролируемого объекта. Этот метод является наиболее информативным при техническом обследовании строительных сооружений.

Заслуживает внимания разработанный и выпускаемый МНПО «Спектр» ультразвуковой дефектоскоп А 1220, который производится серийно и эксплуатируется в странах Восточной и Западной Европы [6]. Он предназначен для контроля толщины и поиска дефектов внутри конструкций из железобетона и подобных материалов при одностороннем доступе

к объекту контроля эхо-импульсным методом и позволяет осуществлять контроль бетона на глубину до 1 м. На глубинах до 500 мм позволяет обнаруживать пустотные каналы диаметром 12 мм [7]. Обеспечение предельных возможностей УЗК по критериям чувствительности и пространственного разрешения дефектов при одностороннем доступе можно реализовать ультразвуковым томографом А 1230 МНПО «Спектр». Томограф обеспечивает реконструкцию внутренней структуры бетонных и железобетонных конструкций и представляет результаты контроля в трехмерном виде. Чувствительность прибора достаточна для обнаружения в бетонах марки 400 с наибольшей крупностью заполнителя 20 мм пустот объемом ≈ 30 $см^3$ на глубинах до 300 мм или протяженных пустотных дефектов диаметром 15 ÷ 20 мм на глубинах до 500 мм [8].

При поверхностном прозвучивании железобетонных конструкций используются ультразвуковые приборы, которые отличает простота использования, высокая достоверность и точность измерений, а также высокая конструктивная надежность. Ультразвуковой тестер УК 1401 МНПО «Спектр», являющийся одним из наиболее широко применяемых приборов в России, позволяет контролировать прочность конструкций как в процессе их изготовления, так и в процессе эксплуатации; поиск поверхностных дефектов типа трещин и оценку их глубины; вести контроль созревания бетона при возведении зданий методом перемещаемой оснастки. С его помощью решена проблема оценки несущей способности железобетонных опор, основанной на измерениях скорости распространения ультразвука в теле стойки в продольном и поперечном направлениях [9]. Ультразвуковой универсальный прибор «Пульсар 1.0» НПП «Карат» обеспечивает работу как со смазкой, так и с сухим контактом при поверхностном, сквозном и угловом прозвучивании на произвольной базе. Он позволяет измерять скорость прохождения ультразвуковых колебаний, определять прочность бетона (тяжелого, легкого) производить поиск дефектов, а также оценивать пористость, трещиноватость и анизотропию композитных материалов. В программном обеспечении прибора предусмотрена возможность реализации режима «эхо-локации» (измерение толщины однородных материалов при одностороннем доступе).

Метод сквозного и поверхностного прозвучивания реализован в приборе «Бетон-32» ЗАО «Интротрест», предназначенном для контроля прочности строительных материалов в строящихся и эксплуатируемых

зданиях и сооружениях. В основу метода положено измерение времени распространения колебаний в контролируемом объекте и дальнейшая корреляция измерения с прочностными характеристиками данного материала. Ряд европейских и американских компаний выпускают аналогичные ультразвуковые приборы для сквозного и поверхностного прозвучивания по стандартной схеме с вязким акустическим контактом. Это фирма Krautkramer, Германия (USD-10 NF, USM-23 LM), фирма Starmans, Чехия (DIO-562 LF) и другие. Стоимость этих приборов выше стоимости отечественных, в то же время техническая информация об их реальных возможностях и примерах эффективного применения отсутствует [10, 11].

Для определения параметров армирования (расположение и направление арматуры, ее диаметр, толщина защитного слоя бетона) широко используется *магнитный метод*. Без такой информации нельзя рассчитать несущую способность конструкции, определить опасные участки, восстановить документацию и т. д.

Выпускаемые приборы ИПА-МГЧ (СКБ «Стройприбор») и «Поиск-2.3/2.4» (НПП «Карат») предназначены для контроля толщины защитного слоя бетона и расположения стержневой арматуры диаметром от 3 до 40 мм (ИПА-МГ4) и от 3 до 50 мм («Поиск-2.3») по ГОСТ 22904. Предусмотрена возможность определения диаметра арматурных стержней при известном защитном слое. Прибор «Поиск-2.3» имеет расширенный диапазон определения толщины защитного слоя и режим определения диаметра арматурных стержней при неизвестной толщине защитного слоя.

Для повышения производительности труда, получения достоверных данных и более надежного расчета остаточного ресурса необходимо сочетать различные методы и методики в едином комплексе. Так, например, проведение измерений высокопроизводительными приборами (ударно-импульсным прибором «Оникс-2.4» и ультразвуковым «Пульсар-1.0») сочетать с трудоемкими, но точными измерениями прибором «Оникс-ОС» для корректировки в процессе измерений их калибровочных коэффициентов. Однако наиболее достоверные результаты испытания бетона на прочность, особенно в монолитных конструкциях ответственного назначения, можно получить сочетанием неразрушающих и разрушающих методов контроля.

Методы НК обладают такими неоспоримыми преимуществами, как:

- получение экспресс-информации;
- снижение материальных и временных затрат при диагностировании;

- проведение исследований в труднодоступных, а также в опасных местах, где применение разрушающего контроля приведет к ослаблению конструкции.

В то же время методы НК зачастую не дают необходимой точности результатов; кроме того, существует ряд ограничений на использование приборов НК при обследовании крупногабаритных конструкций. Поэтому у испытателей появляется некоторая неуверенность в полученных значениях прочности. Особенно остро это проявляется тогда, когда отличия максимальных напряжений (которые могут возникать от действующих и прогнозируемых нагрузок) от расчетных сопротивлений бетона, составляют несколько процентов. При этом ставится под сомнение дальнейшая эксплуатация конструкции без усиления. В этих условиях незаменимыми являются разрушающие методы контроля. Пробы для разрушающего контроля в этом случае необходимо брать в зонах, наиболее приближенных к местам НК, и в количестве, позволяющем корректировать достоверность данных НК.

Сочетание НК с разрушающим применялось на ряде промышленных объектов фирмой «ЭРКОН» (Санкт-Петербург). Так, например, проводились испытания бетонного основания каре резервуарного парка и фундаментов емкостного оборудования на прибрежном складе нефтепродуктов ООО «Несте СПб». Отбор проб из железобетонных конструкций проводился с помощью станка «Hydrostress CH 6330», который позволяет выполнять выбуривание кернов диаметром 75 мм и длиной 200 ÷ 1500 мм и более в зависимости от применяемой насадки. Распиловка кернов позволяет получать образцы — цилиндры с необходимыми для испытаний соотношениями высота/диаметр. Применение комплекса методов и методик неразрушающего и разрушающего контроля позволило значительно уменьшить объем ремонтно-восстановительных работ и обоснованно выделить те элементы конструкций, которые нуждаются в усилении.

Литература

1. Звездов А. И. Бетон и железобетон — проблемы и решения. — Промышленное строительство. 2002. № 9. С. 4–6.

2. Рекомендации по определению прочности бетона в конструкциях методом вырыва анкера (МИ 2016–02). — М.: НИИЖБ — ГП ВНИИФТРИ. 2002. С. 12

3. ГОСТ 22690–88. Бетоны. Определение прочности бетона методами неразрушающего контроля.

4. Гулунов А. В. Методы и средства НК бетона и железобетонных изделий. — В мире НК. 2002. № 2 (16). С. 24–25.

5. Губайдуллин Г. А. Приборный комплекс оперативного контроля прочности бетона. — Там же. С. 21–22.

6. Средства измерений и испытаний строительной продукции, прошедшие сертификационные испытания. — Бюлл. строительной техники. 2001. № 6. С. 20–21

7. Троицкий В. А. Особенности неразрушающего контроля и диагностики строительных сооружений. — Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2002. № 2, С. 24–29.

8. Московенко И. Б. Низкочастотный акустический контроль физико-механических свойств строительных и огнеупорных изделий. — В мире НК. 2002. № 2 (16). С. 26–28.

9. Клевцов В. А., Коревицкая М. Г. Об организационно-технических проблемах НК прочности бетона. — Там же. С. 16–17.

10. Ковалев А. В., Самокрутов А. А., Шевалдыкин В. Г., Козлов В. Н. Аппаратные средства для контроля строительных конструкций из бетона и железобетона. — Контроль. Диагностика. 2000. № 9. С. 13–16.

11. Козлов В. Н., Шевалдыкин В. Г., Самокрутов А. А. Ультразвуковая дефектоскопия бетона эхо-методом: состояние и перспективы. — В мире НК. 2002. № 2 (16). С. 6–10.

12. Козлов В. Н., Подольский В. И., Самокрутов А. А., Шевалдыкин В. Г. Оценка состояния железобетонных опор контактной сети ультразвуковым прибором поверхностного прозвучивания. — В мире НК. 2000. № 1 (7). С. 46–47.

13. Штенгель В. Г. О методах и средствах НК для обследования эксплуатируемых железобетонных конструкций. — В мире НК. 2002. № 2 (16). С. 12–15.

14. Штенгель В. Г. О контроле технического состояния эксплуатируемых массивных железобетонных конструкций. — В мире НК. 2000. № 4 (10). С. 14–16.