

Изучать, не повреждая

Качество строительных материалов и сооружений обеспечивается благодаря соблюдению стандартов и технологий, а подтверждается с помощью контрольно-измерительного оборудования, средств неразрушающего контроля и технической диагностики. О проблемах применения такого инструментария и новейших разработках идет речь в данной статье.

НК в строительстве

В последнее время активно развиваются вероятностные методы определения остаточного ресурса строительных конструкций с помощью современных способов неразрушающего контроля (НК). При оценке технических и эксплуатационных характеристик материалов и конструкций находят применение практически все известные физические методы неразрушающего контроля (акустические и ультразвуковые, электромагнитные и радиационные, оптические и тепловые, магнитные и капиллярные) и приборы электрического контроля. Выбор метода определяется конкретными задачами и накопленным опытом использования таких методов и приборов.

Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД) с са-

мого начала своего существования ежегодно проводит научно-технические мероприятия (выставки, конференции, семинары, круглые столы), организует обучение и аттестацию персонала. Кроме того, РОНКТД выпускает справочники и техническую литературу, описывающую уровень развития и состояние средств неразрушающего контроля и методов технической диагностики, методики и практический опыт их применения в разных сферах промышленности, в том числе в строительной индустрии.

Неразрушающий контроль (Nondestructive testing, NDT) – это определение свойств, параметров, надежности объекта такими способами, реализация которых не приводит к потере его пригодности к эксплуатации. НК подобен медицинской диагностике: в нем ис-

В.В. Ключев,
академик РАН

Б.В. Артемьев,
профессор,
доктор технических наук

Н.Р. Кузелев,
доктор технических наук

В.И. Матвеев,
кандидат технических наук

Б.В. Туробов,
кандидат технических наук
ЗАО «НИИИИ МНПО
“СПЕКТР”

пользуются примерно те же методы и оборудование (только более мощное). День ото дня НК все активнее применяют в разных отраслях промышленности. Неразрушающий контроль особенно актуален при высокой степени износа основных производственных фондов, в том числе оборудования потенциально опасных объектов.

Существует и *разрушающий контроль*. Например, точно измерить прочность на разрыв какого-либо объекта удастся только с помощью разрушающей нагрузки, после чего этот объект становится не пригодным к эксплуатации. При этом обычно проверяют лишь несколько объектов из партии, определяя, не нарушалась ли технология изготовления данной партии, что, в свою очередь, могло повлиять на параметры объектов. Понятно, такой контроль обходится гораздо дороже НК и не столь надежен (из-за выборочности проверки).

В промышленном и гражданском строительстве применяют как неразрушающие (не повреждающие бетон или металл), так и частично повреждающие поверхность бетона методы контроля. В последнем случае после испытания поверхность объекта должна быть восстановлена.

Применение неразрушающего контроля в сфере строительства необходимо как на стадии строительства зданий и сооружений, так и в процессе их эксплуатации. НК, выполненный на стадии возведения объекта, гарантирует его длительную безопасную эксплуатацию. Неразрушающие методы позволяют оценивать плотность грунтового основания, качество и прочность бетонного фундамента и кирпичной кладки, правильность конфигурации и качество сварных сое-

динений арматурного каркаса и т.п.

Не менее важно использовать неразрушающий контроль и при эксплуатации зданий и сооружений. Многие здания, мосты и другие объекты, изготовленные из бетона, металла и железобетона, необходимо периодически проверять на соответствие их структуры и прочности эксплуатационным требованиям. Это особенно значимо в районах с высокой сейсмической активностью, а также при определении целостности структуры сооружения после его длительной эксплуатации или сильного незапланированного воздействия (взрыв, пожар, затопление и т.п.).

Отсутствие контроля или его некачественное выполнение может привести к авариям, крушениям, экологическим катастрофам и человеческим жертвам.

Задачи и методы

Проверка исходных материалов и элементов конструкций – более простая задача, чем проведение НК на стадиях строительства и эксплуатации зданий и сооружений. Это обусловлено возможностью организации поэтапного мониторинга всех параметров продукции при ее производстве и при входном контроле, осуществляемом потребителями.

Например, известный российский производитель СКБ Стройприбор поставляет специализированные приборы для строителей и строительных лабораторий – измерители прочности, теплопроводности и влажности строительных материалов, адгезии и прочности сцепления, защитного слоя бетона, силы натяжения арматуры и напряжений в арматуре, приборы

Неразрушающий контроль – это определение свойств, параметров, надежности объекта такими способами, реализация которых не приводит к потере его пригодности к эксплуатации

контроля над другими параметрами арматуры железобетонных конструкций, плотнометры грунтов, измерители температуры и микроклимата в помещениях и многое другое. Большинство этих приборов внесены в качестве средств измерений в Госреестры не только РФ, но и Казахстана и Беларуси.

Достоин упоминания и прибор Profoscope швейцарской компании Proceq. Он имеет функцию визуализации стержней арматуры в режиме реального времени, что позволяет пользователю видеть их расположение в толще бетона.

Диапазон свойств, которые могут оцениваться при неразрушающем или частично разрушающем контроле, очень широк. Он включает в себя прочность и твердость бетона, целостность его структуры, качество изготовления, наличие пустот, трещин или расслоений, наличие и расположение арматуры в железобетоне, качество ее сварки и пр.

К наиболее распространенным сферам применения НК в промышленном и гражданском строительстве относятся:

- проверка качества сборочных единиц и монолитных конструкций из бетона и железобетона;

Основные задачи диагностирования строительных объектов и оптимальные методы НК

Методы НК	Параметры объектов											
	Прочность объекта	Модуль упругости материала	Толщина материала	Глубина трещин	Ширина трещин	Распределение трещин	Развитие трещин	Раковины/пустоты	Расслоения	Положение арматуры	Размеры арматуры	Коррозия арматуры
Механические	x											
Ультразвуковые	x	x	x	x				x	x	x		
Георадарные								x	x	x		
Тепловые						x		x	x			
Радиографические			x					x		x	x	x
Акустозмиссионные							x					
Магнитные										x	x	x
Вихретоковые										x	x	x
Электропотенциальный												x
Визуальный					x	x						

- входной контроль поступающих материалов и изделий;
- пооперационный контроль в процессе изготовления конструкций;
- проверка механических напряжений;
- определение мест расположения арматуры в железобетонных изделиях, ее диаметра и глубины залегания;
- обнаружение трещин, пустот, непроработанных зон в бетоне и определение их размеров;
- мониторинг изменения эксплуатационных свойств бетонных и железобетонных конструкций;

- проверка текущего состояния сооружения или конструкции после незапланированной перегрузки, пожара, затопления, урагана и пр.;
- обследование строительных конструкций при страховании или изменении формы собственности.

Серьезное внимание уделяется определению твердости и состава материалов. По значениям твердости можно определять пределы прочности материалов на разрыв и остаточные ресурсы деталей, контролировать стабильность режимов термической и механической обработки и многое другое.

Классические методы измерения твердости (Бринелля, Роквелла, Виккерса, Шора) по-прежнему успешно используются, но большее распространение получили динамический и ультразвуковой методы. **Динамический метод** основан на определении того, как соотносятся скорости индентора (твердосплавного шарика) до и после удара о поверхность контролируемого изделия. **Ультразвуковой метод** состоит в определении частот свободных колебаний индентора (акустического резонатора с алмазной пирамидкой Виккерса), находящегося в контакте с изделием под воздей-

ствием постоянного усилия. Часто оба метода конструктивно объединяют в портативном приборе МЕТ-УД со сменными датчиками. Высокую точность измерений обеспечивает прямая передача твердомеру шкалы твердости от государственного эталона РФ (с помощью эталонных мер твердости).

С высокой точностью

Лабораторные, мобильные и портативные анализаторы химического состава материалов для сортировки металлов “на местах” и в лаборатории поставляет компания “Синеркон”. Модель PMI-MASTER ASR обеспечивает определение химических элементов различных сплавов, из которых выполнены не только мелкие детали (простые и сложные по форме), но и крупные конструкции. При оценке состава и, прежде всего, марок сплавов наибольшее распространение получил рентгено-флуоресцентный метод (стандарт ASTM B568/ISO 3497).

Спектрометр “Спектроскан Макс-G” определяет содержание химических элементов в веществах, находящихся в твердом, порошкообразном или растворенном состояниях, нанесенных на поверхности либо осажденных на фильтры. Спектрометры “умеют” хорошо разделять спектральные линии, а значит, могут точно анализировать сложные многокомпонентные вещества по категориям качества.

Широко используется и эмиссионный спектрометр “Аргон-5СФ”, позволяющий анализировать всю номенклатуру стали, чугуна и цветных сплавов. При этом чувствительность спектрометра дает возможность измерять

примеси, количество которых составляет 0,002%.

В последнее время получили развитие бесконтактные дистанционные методы контроля формы и размеров. Многие организации успешно используют электронно-оптические методы обмера (поверхности) объектов разных форм и размеров. Применение электронных тахеометров обеспечивает, по сравнению с традиционными методами, значительное повышение точности, скорости и безопасности измерений.

Компания “Геостройизыскания” предлагает роботизированный тахеометр Imaging Station, позволяющий с высокой точностью дистанционно (на расстоянии 150–2000 м) измерять размеры крупных сооружений. Обмеры выполняются с помощью двух встроенных цифровых фотокамер.

Лазерный радар бельгийской компании Nikon Metrology NV используется в бесконтактных мобильных измерительных системах контроля геометрии и настройки крупногабаритных изделий. Основное новшество устройства связано с применением методов определения расстояний до любых поверхностей с точностью 10 мкм + 2,5 мкм/м.

Значительное развитие при экспертизе промышленной безопасности получил метод акустической эмиссии. Его применяют при обследовании сосудов высокого давления и трубопроводов, корпусов самолетов, объектов из металлов и композиционных материалов, куполообразных сооружений, наземных хранилищ, мостов, при определении усталостных характеристик материалов и т.п.

Системы комплексного диагностического мониторинга, в том числе новое семейство акустико-

эмиссионной аппаратуры с имитаторами сигналов, поставляет компания “Интерюнис”, одна из ведущих в данной области. Следует отметить “Лель /A-Line 32D (DDM)/” – многоканальную модульную систему сбора и обработки акустико-эмиссионной информации с последовательным высокоскоростным цифровым каналом передачи данных. Она разработана с использованием передовых технологий микроэлектроники и цифровой передачи данных. Уникальность системы подтверждена патентом RU 44390.

Активно применяется в строительной практике радиографический контроль важнейших узлов, сварных соединений и конструкций. Метод характеризуется высокой чувствительностью и надежностью. Прежде возникали некоторые сложности из-за применения рентгеновской пленки, которую требовалось проявлять, расшифровывать и хранить, но на смену ей приходят новые технологии “Фосфоматик”. Они позволяют многократно использовать фосфорные пластины и задействовать системы цифровой радиографии, в которых изображения сразу же появляются на экране ноутбука; анализировать их можно непосредственно на месте проведения работ.

Получают распространение и плоские цифровые детекторы серии Y. Panel XRD компании YXLON International GmbH, при использовании которых не нужна химическая обработка, как в традиционной пленочной технологии. Плоскопанельные детекторы выпускаются в двух конфигурациях: низкоэнергетические служат, например, для контроля углепластиковых компонентов, а высокоэнергетические (до 450 кВ) – для контроля толстостенных сварных швов.

В одной из модификаций комплекса цифровой радиографии “Градиент” компании “Юнитест-Рентген” используются флуоресцентные запоминающие пластины. Они могут работать как с рентгеновскими, так и радионуклидными источниками.

В последнее время на рынке рентгеновской аппаратуры появляется все больше моделей портативных рентгеновских аппаратов (производители – “Флэш Электроникс”, “Рентгенсервис”, YXLON и др.), что позволяет существенно расширить возможности соответствующих методов. Особенно полезны портативные устройства в полевых условиях, при использовании в рентгеновских кроулерах (для дефектоскопии трубопроводов) и других труднодоступных местах.

Экономя время и усилия

В практике неразрушающего контроля чаще других применяется ультразвуковой (акустический) метод. Например, российская компания “АКС” разработала целую линейку современных ультразвуковых приборов.

Модель A1550 IntroVisor представляет собой универсальный портативный УЗ-дефектоскоп с цифровой фокусировкой антенной решетки и томографической обработкой данных, служащий для контроля изделий из металлов и пластмасс. Прибор имеет три основных режима работы. В режиме **Томограф** используются 16-элементные антенные решетки, а томограммы формируются в масштабе реального времени в виде понятных образов сечения объекта с указанием координат обнаруженных дефектов. В режиме **Дефекто-**

скоп применяются типовые наклонные и прямые преобразователи, обеспечивающие с помощью унифицированных методик обнаружение и оценку дефектов. А в режиме **Настройка** пользователи могут выбрать и установить необходимые параметры мониторинга с учетом встроенной базы материалов и преобразователей. Технология ультразвуковых фазированных антенных решеток (ФАР) рекомендовала себя как передовое средство неразрушающего контроля.

Заслуживают внимания и другие приборы этой компании. В частности, A1040 MIRA – это УЗ-томограф с сухим точечным контактом с поверхностью объекта, служащий для визуализации внутренней структуры железобетона на глубине до 2 м. УК1401М – определитель прочности бетона по скорости или времени прохождения ультразвука. A2075 SoNet – автоматизированный комплекс контроля трубопроводов с наружной стороны, позволяющий выявлять и регистрировать трещины, расслоения, каверны, язвенную коррозию и другие опасные дефекты.

Развивается и направление электромагнитно-акустической толщинометрии. Прибор A1270 позволяет измерять толщину изделий из стали и алюминиевых сплавов без применения контактной жидкости, в том числе через покрытие или воздушный зазор.

Новая модификация системы Acoustic Eye предназначена для неразрушающего контроля внутреннего состояния труб теплообменников, парогенераторов и других промышленных объектов, имеющих трубы небольшого диаметра. Принцип работы системы заключается в возбуждении акустической

В практике неразрушающего контроля больше всего распространен ультразвуковой (акустический) метод

волны в трубе и приеме отраженного сигнала от внутренних дефектов (коррозии, трещин, сквозных отверстий, блокировки сечения трубы, внутренней деформации и т.п.). Преимущества Acoustic Eye состоят в том, что не требуется вводить датчик внутрь трубы и можно за несколько секунд проверить трубы любой конфигурации, выполненные как из металлов, так и из композитных материалов. Один датчик обеспечивает контроль труб разных диаметров – меняется лишь адаптер на его конце (в комплект поставки входит набор адаптеров).

Интенсивно развивается направление автоматизации ультразвукового, индукционного, магнитного и других видов контроля. Применение портативных роботосканеров позволяет проводить диагностику крупных объектов (резервуаров, котлов, труб, стен и т.п.).

Современные приборы поиска подземных коммуникаций, трассоискатели нового поколения и прецизионные локаторы кабелей и трубопроводов (металлических и неметаллических), без которых невозможны прокладка и ремонт инженерных коммуникаций и сооружений, также получили существенное развитие. Локаатор Utility-Scan™ LT компании Gssi с антенной 400 МГц является типичным георадаром, обеспечивающим по-

иск любых труб и кабелей на глубине до 4 м. Георадарные технологии находят широкое применение при диагностике железобетонных конструкций, составляя конкуренцию ультразвуковым приборам. Gssi демонстрирует на выставках бетоноскоп серии StructureScan Mini, работающий в диапазоне 1600–2600 МГц и позволяющий обнаруживать арматуру, каналы и пустоты на глубине до 50 см с высоким пространственным разрешением.

С целью раннего обнаружения коронных разрядов и электрической дуги в энергооборудовании применяют ультрафиолетовые камеры, обеспечивающие регистрацию слабых УФ-излучений в светлое время суток с высоким показателем отношения «сигнал/фон». Камеры укомплектованы счетчиком УФ-событий и индикатором интенсивности коронного разряда.

Огромную роль в сбережении энергоресурсов играют приборы, учитывающие расход электроэнер-

гии, газа, теплоносителей, горячей и холодной воды. Тепловые пункты оснащаются современными теплосчетчиками и расходомерами, позволяющими постоянно учитывать и регулировать энергопотребление, что приводит к значительной экономии энергоресурсов. Некоторые из приборов являются комплексными. Например, вычислитель количества энергоносителей ВКТ-8 компании «Теплоком» дает возможность организовать учет и контроль параметров основных энергоносителей (воды, пара, газа, электроэнергии). В последнее время большое внимание уделяется разработке и внедрению энергосберегающих светильников на основе светодиодных и люминесцентных ламп.

Диагностика зданий и сооружений, особенно их теплоизоляции, успешно производится дистанционно – с помощью тепловизионной техники. Температура поверхности может многое «рассказать» о структурных элементах здания, его инженерном оборудовании, си-

стемах отопления, вентиляции, кондиционирования и электрооборудовании. Скрытые от глаз проблемы становятся очевидными при рассмотрении объектов через инфракрасный объектив. Утечка теплого воздуха, скопление влаги, закупоривание труб, конструктивные детали за стенами и перегрев электрических цепей – все это можно обнаружить и задокументировать с помощью тепловизоров. Такие приборы идеальны для моментальной локализации места, нуждающегося в ремонте. А повторные измерения температуры объектов помогают определить, насколько успешным оказался ремонт.

Тепловизионная диагностика позволяет сэкономить массу времени и усилий, необходимых для обнаружения имеющихся и потенциальных проблем, которые могут поставить под угрозу характеристики зданий, обусловить его несоответствие нормам и правилам строительства, здравоохранения и безопасности.

Литература:

1. НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. Эйнав И., Артемьев Б., Азизова Е., Азизова А., учебное пособие для студентов высших учебных заведений (строительная отрасль) / РОНКТД. Москва, 2012.
2. Туробов Б. В. Визуальный и измерительный контроль. М.: Спектр, 2011. 224 с.
3. АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ/ Иванов В. И., Бигус Г. А., Власов И. Э., Клюев В. В., РОНКТД. Москва, 2011.
4. Артемьев Б. В., Буклей А. А. Радиационный контроль. М.: Спектр, 2011. 192 с.
5. Алешин Н. П., Бобров В. Т., Ланге Ю. В., Щербинский В. Г. Ультразвуковой контроль. М.: Спектр, 2011. 224 с.
6. Глазков Ю. А. Капиллярный контроль. М.: Спектр, 2011. 144 с.
7. Евлампиев А. И., Попов Е. Д., Сажин С. Г., Сумкин П. С. Течейскание. М.: Спектр, 2011. 208с.
8. Шелихов Г. С., Глазков Ю. А. Магнитопорошковый контроль. М.: Спектр, 2011. 184 с.
9. ТЕПЛОЙ КОНТРОЛЬ. Будадин О. Н., Вавилов В. П., Абрамова Е. В. РОНКТД. Москва, 2011.
10. ВИБРОДИАГНОСТИКА. Зусман Г. В., Барков А. В. РОНКТД. Москва, 2011.
11. РАДИОВОЛНОВОЙ КОНТРОЛЬ. Матвеев В. И., РОНКТД. Москва, 2011.
12. NONDESTRUCTIVE TESTING. Klyuev V. V. handbook: in 8 volumes / ed. by V. V. Klyuev. Moscow, 2009.