

## НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*Модератор: Венгринович В.Л., Институт прикладной физики НАН Беларуси*

04.03.2016 в рамках форума «Территория NDT» проходил круглый стол «Неразрушающий контроль в строительстве», на котором были заслушаны 8 сообщений. На заседании присутствовали более 30-и специалистов. Традиционно считалось, что в строительстве НК не играет такой же роли, как в промышленности. Однако в последнее время это мнение существенно меняется в связи с большими объемами строительства и необходимостью повышения его качества из-за появления новых материалов, методов соединения деталей и технологий. Об этом свидетельствует расширение списка конференций и специальных секций на эту тему, широкое развитие средств мониторинга конструкций и прогнозирования их остаточного ресурса. Рассмотрим кратко результаты докладов и их обсуждений на круглом столе.

В докладе д.т.н. В.Г. Шевалдыкина «Ультразвуковая томография (УТ) бетона» изложены принципы нового метода изучения бетона путем реконструкции его внутренней структуры по результатам сканирования ультразвуковыми преобразователями методом ФР. Цели, преследуемые разработками по УТ, распространяются на контроль конструкций с большими объемами бетона: мосты, тоннели, градирни, аэродромы, перекрытия мостов, колонны, ригели, и др. Основные задачи состоят в следующем: визуализация внутренней структуры, измерение толщины конструкции, оценка диаметра арматуры и ее состояния, обнаружение полостей в каналах с силовой арматурой, поиски диэлектрических каналов, обнаружение задонных полостей. Условие применения: односторонний доступ к объекту. Особенности УЗ контроля бетона: диапазон частот 20-150 кГц, размеры дефектов и расстояния до них соизмеримы с длиной волны, нестабильный акустический контакт, акустический шум бетона. Пространственная корреляция структурного шума может быть даже отрицательной при определенных расстояниях между точками приема, но радиус корреляции примерно равен половине длины поперечной волны. Принцип сканирования комбинационно-синтезированная апертура (C-SAFT). Преимущество C-SAFT перед SAFT – в  $q$  раз большее отношение C/Ш.

Разработано около десятка преобразователей 25-200Кгц с сухим точечным контактом. Есть также 44 и 36-элементные AP (4×11 и 6×6), продольные волны 100 кГц, жидкостный контакт (рис. 1). Получаемые томограммы - В, С и D типа.

Показано, что в современных условиях эхотомография – наиболее информативный способ дефектоскопии бетона. Минимальные размеры обнаруживаемых полостей ограничены крупностью заполнителя. Возможности обнаружения: в бетоне М400 на глубинах до 500 мм, сфера диаметром 30 мм; цилиндр диаметром 15 мм.

В докладе д.т.н., профессора Клименова В.А. (Томский ГАТУ и Томский НИ политехнический университет) рассмотрены методы НК при разработке новых материалов и конструкций, при экспертизе и обследовании зданий и сооружений. По существу, - это обзорная работа, основанная на огромном опыте докладчика в этой области. В том числе рассмотрены: новые легкие бетоны (пенобетоны); стеклокомпозиты (арматура); углекомпозиты (арматура, лента, ламели). А также бетонные конструкции с неметаллической арматурой; клееные деревянные конструкции с углеродными прослойками, сварные конструкции и возможность замены сварных соединений арматуры на соединительные обжимные втулки. В связи с появлением новых материалов и конструкций возникают новые проблемы их НК, в том числе, нетрадиционными методами. Среди последних подробно описаны:

- компьютерная томография;
- трансмиссионная рентгеновская томография с конической геометрией пучка позволяет исследовать объекты и материалы с разрешением 100 мкм и выше;
- интеллектуальная обработка данных томограмм с характеристикой внутренней структуры объекта;

- Цифровая рентгенография, контроль соединений арматуры;
- Контроль соединительных втулочных соединений неразрушающим методом, регистрация данных с помощью Remote RadEye 200
- УЗ Томография с определением толщины конструкции и расположения арматуры;
- Контроль теплотехнических и акустических характеристик зданий;
- Определение воздухопроницаемости ограждающих конструкций;
- Измерения индекса изоляции воздушного и ударного шума;
- Измерение горизонтальных и вертикальных ускорений и перемещений отдельных точек фундамента при циклическом динамическом воздействии пьезоэлектрическими акселерометрами.

Практическое применение всех рассмотренных методов иллюстрировано конкретными примерами.

Большой интерес вызвал доклад проф. Ю. Шрайбера (ФРГ), в котором рассмотрен уникальный случай исследования усталостной деградации больших объемов металла реактора крекинга нефти на Мозырском нефтеперерабатывающем заводе (Беларусь) с помощью неразрушающего метода акустической эмиссии и последующего металлографического и магнито-шумового методов исследования отдельных деталей реактора. При этом использовался новый фрактальный анализ магнитного шума, дающий информацию об усталостной деградации металла. Все использованные методы контроля независимо подтвердили наличие недопустимых изменений металла, не позволяющими его дальнейшую эксплуатацию.

Доклад проф. В. Венгриновича (Беларусь) посвящен анализу новых методов НК в строительстве, рассмотренных на международной конференции «НК в строительстве», проходившей в Берлине 3-5 сентября 2015 года. Указано, что широкое распространение получили различные эхо-методы, состоящие в анализе колебательных спектров эхо-сигналов, в результате ударного воздействия на конструкцию. Эти методы автоматизируются с целью стабилизации ударного воздействия и анализа сигналов отклика. Также широкое распространение получили методы ультразвуковой томографии, получившие развитие, главным образом, за счет аппаратуры российской компании «Акустические контрольные системы». Также следует отметить применение большой номенклатуры радаров (Ground Penetration Radar, GPR), работающих в различных частотных диапазонах, от акустического до микроволнового. Наиболее современные радарные системы предоставляют на выходе информацию в виде 3D изображений и используются для обследования глубоких дорожных покрытий и железо-бетонных изделий. Большое внимание уделено мониторингу строительных конструкций и сооружений, датчикам, системам передачи данных и методам обработки. Представлены также методы обследования свайных конструкций, вантовых конструкций, мостов, высотных зданий, деревянных конструкций. Методы акустической эмиссии, УЗК, микроволновая дефектоскопия и эхо-метод занимают ведущее место в НК в строительстве.

Проблема «Прогнозирования прочности бетона в процессе твердения при помощи метода акустической эмиссии» изложена в одноименном докладе В.А. Барата (ООО «Интерюнис-ИТ», Москва). Анализируются возможности современных, в том числе, разрушающих методов: -ударного импульса, упругого отскока, пластической деформации, отрыва со скалыванием, скалыванием ребра, УЗК. Показано, что большие перспективы имеет акустическая эмиссия (АЭ) – пассивный метод контроля, который представляет собой явление генерации волн напряжений, вызванных внезапной перестройкой в структуре материала. Применяется для: получения информации о структуре бетона, получение информации о свойствах бетона, определения механизмов зарождения трещин, анализа цементной смеси на стадии твердения. Для большинства составов все III стадии твердения можно наблюдать в первые сутки. Следовательно примерное время прогнозирования - 24 часа. Измерения проводятся для самой конструкции, а не для контрольного образца; В докладе Выделены информативные параметры акустико-эмиссионных данных,

коррелирующие с финальной прочностью бетона; выведена предварительная эмпирическая модель, позволяющая прогнозировать прочность бетона.

В докладе проф. М.Б.Бакирова и В.А.Муранова «Управление ресурсными характеристиками зданий и сооружений АЭС на основе многопараметрического on-line мониторинга фактической нагруженности» излагается опыт Центра Материаловедения и Ресурса (ООО «НСУЦ «ЦМиР») показано, что оценка технического состояния строительных конструкций очень важна для обеспечения безопасной эксплуатации АЭС на сверх проектном сроке эксплуатации (более 30 лет). Разработан новый методический подход оценки остаточного ресурса. Он состоит в проведении расчётного анализа с целью определения наиболее нагруженных зон, проведении лазерного сканирования с целью получения фактических геометрических размеров (изнутри и снаружи); проведении тепловизионного контроля совместно с лазерным сканированием с целью обнаружения дефектов по всей площади строительных конструкций; проведении on-line мониторинга строительных конструкций с целью получения данных о термосиловой нагруженности строительных конструкций; верификации расчетной модели и выполнении поверочных расчётов с учётом результатов проведённого обследования, оценки остаточного ресурса строительных конструкций.

Данная методика была одобрена экспертами МАГАТЭ и вошла в качестве рекомендаций в руководящий документ МАГАТЭ по управлению старением железобетонных конструкций: NP-T-3.5 «Ageing Management of Concrete Structures in Nuclear Power Plants», 2016.

В совместном докладе международной группы авторов из РФ (Бакиров М.Б.), США, Австрии, Венгрии, Канады, Финляндии «Управление старением бетонных структур на атомных ядерных станциях (NPP)» описаны основные усовершенствования нового документа (NP-T-3.5) и приведены новые производственные данные по обеспечению целостности бетонных структур во время различных фаз создания NPP: проектирование, производство, эксплуатация (включая долговременную), продление ресурса и вывод из эксплуатации. Подробности в трудах конференции: SMiRT-23, Manchester, United Kingdom - August 10-14, 2015, Division VIII. AGEING MANAGEMENT OF CONCRETE STRUCTURES IN NUCLEAR POWER PLANTS. J.Moore<sup>1</sup>, J.Tcherner<sup>2</sup>, D.Naus<sup>3</sup>, M.Bakirov<sup>4</sup>, J.Puttonen<sup>5</sup>, I.Móga<sup>6</sup>

*Отчет предоставил: Венгринович Валерий Львович, , Институт прикладной физики НАН Беларуси*