



Some Applications in Bulgaria of Ultrasonic Methods for NDT of Building Structures

Dimitar DIMOV¹, Ted DONCHEV², Konstantin VELINOV¹

¹University of Architecture and Civil Engineering, Sofia, Bulgaria,
e-mails: dimg.dimov@gmail.com, kvelinov@eurocode2.bg

² Kingston University, London, UK, e-mail: T.Donchev@kingston.ac.uk

Abstract

The present article is devoted to the ultrasonic and acoustic non-destructive methods used in our country for investigating the quality of execution and the condition of different elements and structures. These methods are recognized as the most comprehensive, numerous and most diverse. Along with well-known and constantly improving "velocity pulse" and "vibration" methods, some contemporary and specific methods and techniques practically applied by the authors in recent years in Bulgaria have been presented.

Keywords: Construction structures, Ultrasonic methods of NDT: Velocity pulse, Vibration, AE, Transient dynamic response, Crosshole sonic logging test.

Някои приложения в България на ултразвукови методи за изпитване на строителни конструкции

Димитър ДИМОВ, Тед ДОНЧЕВ, Константин ВЕЛИНОВ

Посвещава се на 100 годишнината от рождението на нашия учител и всепризнат специалист в областта на изпитванията на строителните конструкции проф. д-р инж. Тодор Марков

1. Въведение

Използването у нас на ултразвукови методи за безразрушителен контрол (БК) на строителните конструкции датира още от създаването на първите специализирани лаборатории за изпитване на строителни конструкции през 50-те години на 20-ти век. Такива лаборатории са обзаведени с техника и специалисти първоначално към Строителния факултет на Висшия инженерно-строителен институт (сегашия УАСГ), към Научно-изследователския строителен институт (НИСИ), към ЦНИРДП „Енергопроект“ и др. Най-голям принос в създаването на тези лаборатории имат проф. Стоян Колев, основоположник на дисциплината „Изпитване на строителните конструкции“ (изд. 1958г.) и особено проф. д-р инж. Тодор Марков (1918-2007г.), който популяризира и доразви познанията в тази област на съвременно ниво и обучи много наши и чужди специалисти и докторанти. Със значителен принос за развитието на опитните изследвания и в частност на ултразвуковия БК е и ст.н.с. Ист. Л. Петров от НИСИ, уточнил главните влияния върху еднородността на бетона при ултразвуковите му безразрушителни изпитвания. Принос имат и редица други специалисти и учени работили след тях, вкл. и авторите на настоящата статия, доразвили познанията и реализирали значителен брой практически приложения на ултразвуковата диагностика на бетонни, стоманобетонни и стоманени елементи и конструкции – чрез прилагане на

по-нови съвременни и комплексни методи; при нормални климатични и високи температури и др. въздействия.

2. Кратък преглед на използваните у нас ултразвукови методи

Ултразвуковите методи за безразрушителни изпитвания са основани на използването на механичните трептения и свързаните с тях различни ефекти като: резонанс, скорост на разпространение, звуково излъчване и др. Например:

- При удар с твърд предмет по изпитван елемент в него възникват механични трептения с честотен спектър, зависещ както от еластичните свойства на материала, така и от формата на елемента;
- Свойствата на материала определят затихването на процеса на трептене;
- Пукнатините и разрушенията в елементите водят до изменение на звуковия им спектър и др.

Така железничарите с удари по релсите или по колелата откриват евентуални дефекти в тях или отслабване на съединенията, а сътрудници на специализирани строителни лаборатории с помощта на обикновен чук могат да направят изводи за степента на втвърдяване на бетона след декофриране. Този в повечето случаи субективен анализ се явява прототип на точните инструментални методи за безразрушителни изпитвания, като: резонансен, импулсен, вибрационен и други подобни ултразвукови методи [1]. В строителството дълго време у нас са използвани предимно импулсния и отчасти вибрационния методи, а през последните години и някои по-съвременни и специализирани методи, като: „акустическа емисия“ (АЕ), „краткотрайно динамично отражение“ и „звуково сондиране“.

2.1 Импулсен ултразвуков метод

Това е един от най-разпространените методи за диагностика и БК на свойствата на строителните материали и на качеството на изпълнение на конструкциите, особено на бетонните и стоманобетонните. При него се измерва пряко времето или скоростта на разпространение на ултразвукови импулси в масата на изпитваните метали или бетони. Чрез установената скорост на прозвучване пряко могат да се получат еднородността и деформационните модули на съответните материали в конструкциите, а косвено – и техните якости.

Освен това, ако при разпространяването си в изпитвания елемент ултразвуковите вълни срещнат дефект от рода на пукнатина, въздушна празнина (каверна) или друго непълтно включение, те се отразяват от него. Запълнените с въздух пукнатини, независимо от широчината си, не пропускат през себе си звукова енергия. Тогава част от ултразвуковите импулси ги заобикалят, като се движат по траектории позволяващи да се преминават за най-кратко време, т.е. с възможно най-висока скорост. Това дава възможност да се определят, чрез прости графични изображения и допълнителни геометрични изчисления, местоположението, формата и размерите на недостъпни за визуална външна оценка дефекти и пукнатини.

2.2 Реверберационен метод на дефектоскопия

Основава се на регистриране на времето за пълно затихване на импулса на еластичната вълна в обема на образеца или конструкцията при определена база на измерване. Времето измерено от момента на приемане на първата пристигнала вълна до момента, съответстващ на пълно затихване на импулса на еластичната вълна в обема на материала, определя ефекта на „реверберация“. Очевидно е, че наличието на развиващи се и трайни дефекти ще се отрази на характера на процеса на реверберация на еластичния

импулс – ще измени времето на реверберация (отразяване) и формата на обвивната крива на вълновата картина на затихващите трептения. Например, в бетон с плътна монолитна структура реверберационният процес се характеризира с максимални амплитуди в началния фронт (челото) и експоненциално намаляваща „обвивна“ крива, докато в бетон с обемни макродефекти – има слабо изразено ниво в началото, а максималните амплитуди се получават на известно разстояние, поради което „обвивната“ крива има вретенообразна форма

2.3 Метод на акустическа емисия (АЕ)

АЕ е процес на възникване и разпространение на вълни на напрежение на акустически сигнали, освобождаващи се при локално динамично изменение на вътрешната структура на материала (развиващ се дефект). За разлика от т.нар. „активни методи“ (импулсен, резонансен), методът АЕ е „пасивен“. Той е основан на взаимодействието на дефекта на дадена структура с енергетичното поле на напреженията. Дефектът представлява източник на АЕ. Регистрираният брой на импулсите „ N “ се явява един от най-важните и сравнително лесни за регистриране параметри на АЕ. Активността на АЕ (N/sec) характеризира скоростта на разрушаване на обекта и е:

- Неактивна: ако при нарастване на натоварването общият брой на импулсите N се увеличава незначително (източникът на АЕ не е опасен);
- Активна: ако при увеличаване на натоварването общият брой на импулсите N се увеличава линейно (източникът на АЕ трябва да се наблюдава);
- Високоактивна: ако при нарастване на натоварването общият брой на импулсите N нараства експоненциално (бързо развитие на дефекта – прекратяване на натоварването).

Различието във времената на пристигане на сигналите на АЕ може да се използва за оценка на локализирането на източника на АЕ, т.е. на развиващия се дефект.

2.4 Метод на „краткотрайно динамично отражение“

Методът на „краткотрайно динамично отражение“ (Transient Dynamic Response) е естествено развитие на „вибрационния метод“ (метод на устойчиво състояние на вибрация), разработен и приложен за пръв път през 1966 год. от *J. Paquet* [1]. Той е най-простият разпространен за изпитване на цялостта (интегритета) на набивни и сондажни (изливни) пилоти. Създаденият за целта *TDR-2 Pile Analyser* на английската фирма *Testconsult Ltd* за оценяване на цялостта на пилоти измерва едновременно силата на удара върху пилота, както и произтичащата скорост на отражение. Това позволява тялото на пилота да се проучи в двете направления x и y , т.е. в дълбочина и в напречно сечение. Техниката позволява също измерените данни да бъдат изобразени в графики на отразената честота и на отразеното време. TDR методът за окачествяване на пилоти е способен да анализира акустичните аномалии, съответстващи на:

- нивото на върха на пилота;
- намалявания на сечението;
- зони с лошо качество на бетона;
- пукнатини и др. дефекти.

2.5 Метод на „звуково напречно прозвучаване“

Звуковото прозвучаване на подробни напречни сечения (Crosshole Sonic logging test) се използва за изпълнявани на място фундаращи елементи, като: изливни (сондажни) пилоти, шлицови стени, кесони и др. [1]. Прозвучаването се състои в измерване на улразвуковия сигнал между две тръби бетонирани в изследвания

фундамент. Двете сонди – предавател и приемник, са свързани към главния модул чрез съответни кабели. Тръбите се пълнят с вода, играеща роля на преходна среда. Сондите се спускат на дъното на тръбите, след което се изтеглят синхронно през водещата лебедка. Системата излъчва сигнал на всеки 20mm. Сигналят преминава през водата, през тръбата, през изследвания бетон и отново през тръбата и водата до приемника. Приетият сигнал се изобразява на времева скала така че първият пристигнал сигнал (First Arrival Time) лесно се локализира. С издърпването на сондите се изработват серия от сигнали изграждащи обща картина с названието „звук профил“.

3. По-важни приложения на разгледаните ултразвукови методи

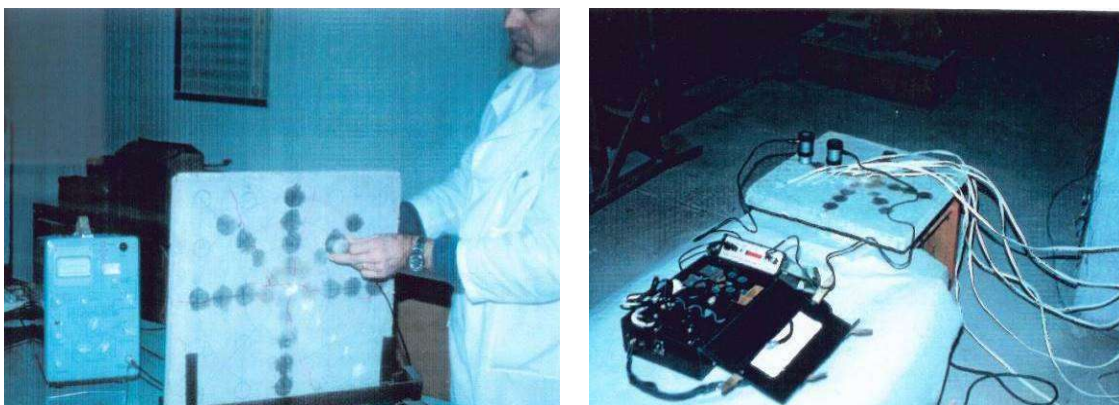
3.1 Начален период

Първите практически приложения на импулсния ултразвуков метод на конкретни строителни обекти у нас са реализирани още през 60-те години от Г. Байлиев от ЦНИРДП „Енергопроект“ – за оценка на еднородността на бетона в язовирни стени и хидротехнически съоръжения.

По-късно, през втората половина на 70-те и началото на 80-те години Т. Марков, Г. Байлиев и Д. Димов изследват проявени пукнатини от „екзотермия“ в новостроящите се фундаменти на парогенераторите на АЕЦ „Козлодуй“. При тогавашното ниво на техниката е измервано пряко само времето за прозвучаване на отделни конструктивни елементи при фиксирани акустически бази с разполагаемите ултразвукови бетоноскопи тип УКБ-1М, произведени в тогавашния СССР (фиг. 3.1).

3.2 Период на развитие

В началото на 90-те години са направени и първите опити у нас за прилагане на импулсния ултразвуков метод при проучване на конструкции подложени на високи технологични и пожарни температури. Отначало тестовете са лабораторни. Т. Дончев и Д. Димов [2, 3, 4] изследват бетонни пробни тела и малки изделия (ст.б. плочи и панели). След нагряване до високи температури (от 20°C до 800°C) и охлаждане те са изпитвани комплексно и е определяно изменението на якостта на бетона чрез твърдостта, вкл. механично разрушаване, и чрез прозвучаване [2, 4].



Фиг. 3.1 и 3.2. Прозвучавания на плочни ст.б. елементи след високотемпературни въздействия, провеждани в лабораторията по изпитване на строителни конструкции на ВИАС (сега УАСГ)

Подобни опити са проведени и за установяване на влиянието на неравномерното нагряване на плочни елементи върху резултатите от съответни ултразвукови изпитвания на бетона [3] – вж. фиг. 3.1 и 3.2. На този етап са използвани вече и портативни

ултразвукови апарати с дигитално отчитане на времето за прозвучаване, като модела UNIPAN 543 закупен от „ОМЕЛ“ ООД (фиг. 3.2)

Резултатите от тези лабораторни тестове са проверени на три реални обекта.

При първият от тях: Комин на ТЕЦ „ВИДАХИМ“ в гр. Видин, през лятото на 1996г. е изследвано влиянието на променливите технологични температури върху якостта и състоянието на бетона на стоманобетонната тръба в участъци с нарушена отвътре топлоизолация (вж. фиг. 3.3, 3.4 и 3.5).

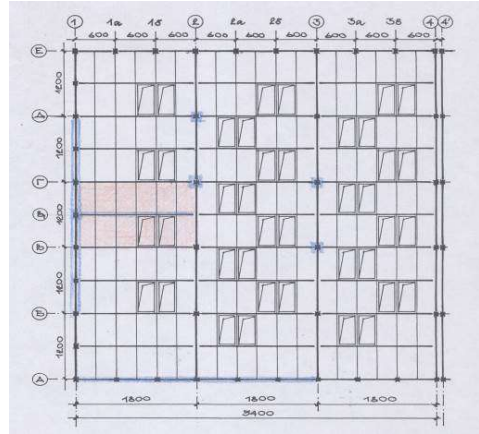
В другите два обекта: Жилищна сграда на ул. „Кр. Попов“ в гр. София (фиг. 3.6 и 3.7) и Склад за суровини на фирма „Белана“ в гр. Белово (фиг. 3.7 и 3..8) са изследвани комплексно, вкл. и с ултразвуковия метод, остатъчните якости на бетона в различните ст.б. елементи след настъпилите пожари съответно през пролетта на 1997г. и през м. октомври 1998г. Резултатите от тях са публикувани в материалите на НК „Дефектоскопия’99“ [5].



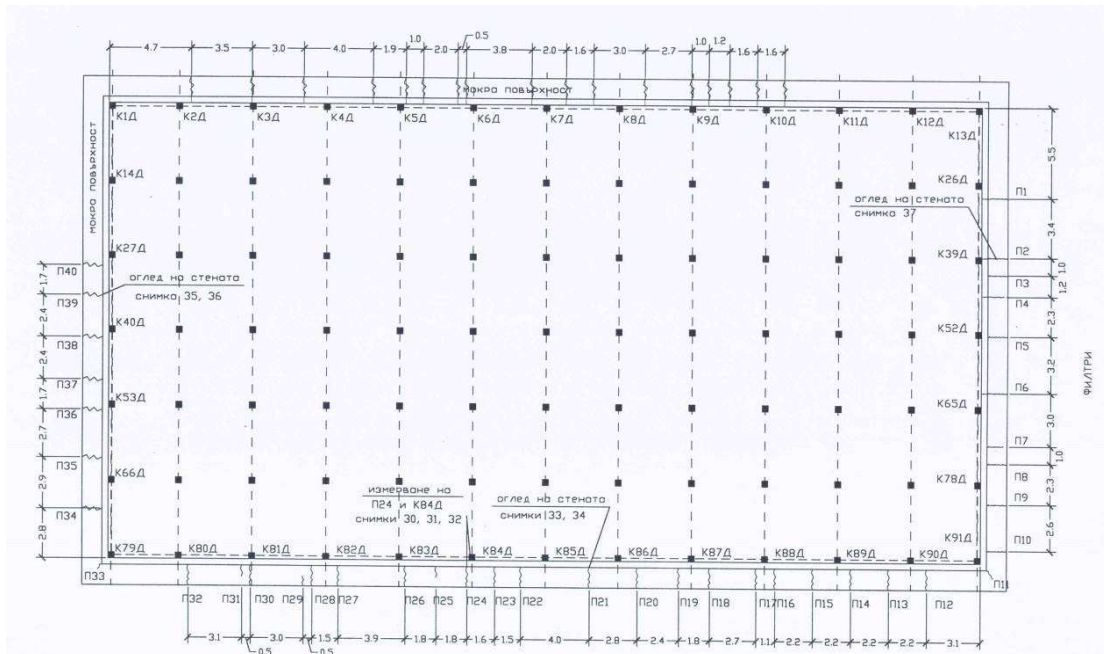
Фиг. 3.3, 3.4 и 3.5. Поглед отвън с фрагмент на комина на ТЕЦ „Видахим“ и момент от проведената ултразвукова диагностика на ст.б. тяло в участък с нарушена топлоизолация



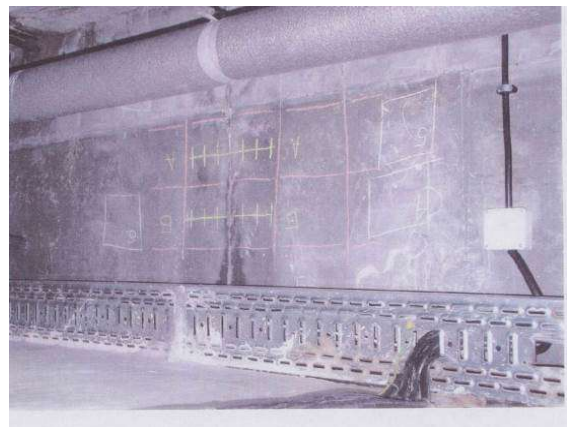
Фиг. 3.6 и 3.7. Поглед към част от конструкцията на жилищната сграда на ул. Крум Попов след пожара през пролетта на 1997г. и към една от прозвучаваните ст.б. колони



Фиг. 3.8 и 3.9 Общ вид на склада за суровини на фирма Белана след пожара през м. 10.1998г. и план-схема с означение на най-засегнатите от пожара конструктивни елементи



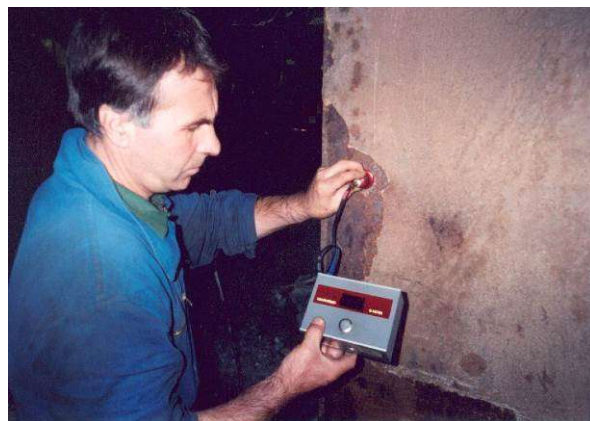
Фиг. 3.10. Конструктивна схема на открития плувен басейн на АЕЦ „Козлодуй“ в гр. Козлодуй



Фиг. 3.11 и 3.12 Фрагмент на изследваната зона с пукнатини и поглед отблизо (дясно) с маркираните бази за измерване на дълбочината им чрез ултразвуково прозвучаване

През 2002 г. Д. Димов прилага успешно комплексен БК и ултразвукова диагностика за изясняване на причините за поява на пукнатини в ст.б. конструкция на открит плувен басейн в гр. Козлодуй като провежда измерване с ултразвук и на дълбочината им [1] (вж. фиг. 3.10 до 3.12).

Същата година, заедно със сътрудниците на лабораторията по ИСК при УАСГ и неговия колега Ат. Георгиев, той извършва ултразвукова диагностика на състоянието и деформационните характеристики на значителен брой ст.б. елементи (плочи и греди), както и на дебелините и степента на корозия на стоманените елементи от колоните на „Ротондата“ на предгаровия площад на Централна гара София, във връзка с провеждащата се тогава мащабна реконструкция на предгаровия площад. При тези измервания са използвани портативния ултразвуков апарат *UNIPAN 543* (фиг. 3.13) и ултразвуковия дебелиномер *DM1* на *Krautkramer* (фиг. 3.14)



Фиг. 3.13 и 3.14 Ултразвукова диагностика на бетона в гредите и на степента на корозия (нетната дебелина) на стоманените части от колоните на „Ротондата“ пред Централна гара София

3.3 Период на утвърждаване

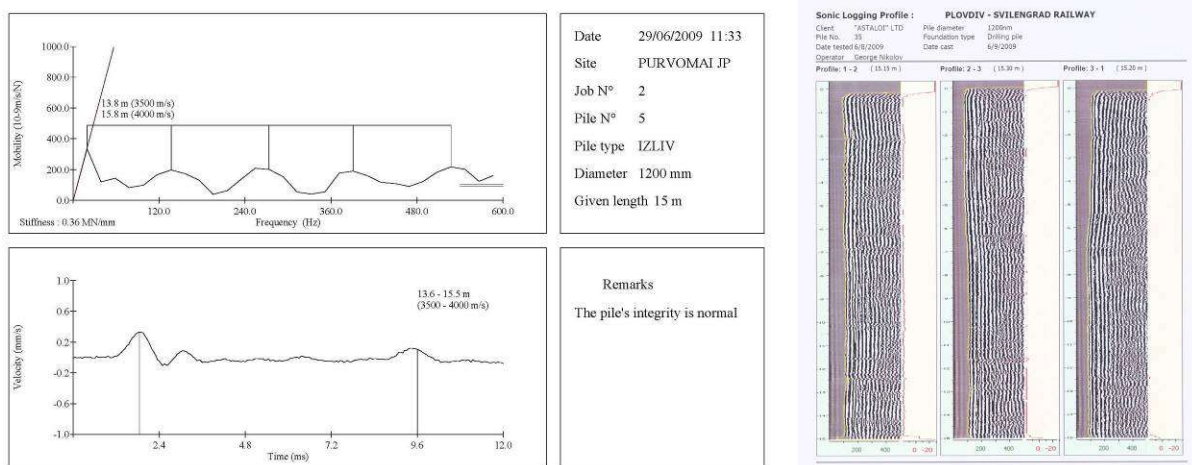
Този период започна с асоциирането на страната ни към ЕС и продължава и понастоящем. Характеризира се предимно със зараждането на осъзнат стремеж от страна на инвеститори и строители към използването въобще на методите за безразрушителен контрол (БК) на строителните конструкции. Този стремеж в началото е диктуван по-скоро от крайна необходимост, поради навлизането на по-строги изисквания за качество и наличието на съществени видими дефекти в съществуващи и новоизпълнявани конструкции и елементи. С течение на времето ползата от превантивното използване на тези методи става все по-осезаема и приемлива и сега вече все по-често, повече от участниците в инвестиционния процес се възползват от техните възможности и ги приемат като осъзната необходимост. За това до голяма степен съдейства създаването и навлизането в практиката на нови по-съвременни апарати и методи за БК и в частност за ултразвуков контрол в строителството.

Пример за това е проведения през 2009г. от Д. Димов и Вл. Костов комплексен БК на интегритета и качеството на изпълнение на изливните пилоти с диаметър 1200mm и дължини по 15 и 18m на новостроящия се ж.п. мост над р. „Мечка“ на км 203⁺⁷⁴⁴ на обект: Електрификация на жп. Линия Пловдив – Свиленград, обновяване на Коридор IV и IX, Фаза II: Първомай-Свиленград (фиг. 3.15 и 3.16).



Фиг. 3.15 и 3.16 Общ вид на изпълнените пилоти за стълб Р1 и момент от комбинираното изпитване на интегритета им по двата метода – с „TDR 2“ и „Ultrasonic Cross hole Testing“ (на заден план)

За контрола са комбинирани два от съвременните за целта методи и съответните им техники – „кратковременно динамично отражение“ (TDR 2) и „звуково напречно сондиране“ (Ultrasonic Cross hole Testing). С получените чрез тях „акустически графики,“ и „звукови профили“ (фиг. 3.17 и 3.18) се извърши т.нар. „ранно“ окачествяване на изпълнените пилоти на съоръжението, което позволи всички негови опори да бъдат своевременно изпълнени с гаранция за надеждността, качеството и срочното изграждане на целия строеж.



Фиг. 3.17 и 3.18 Акустически графики (ляво) и звукови профили, получени по двата метода

През 2011г. Д. Димов със сътрудниците на лабораторията по ИСК при УАСГ доразвива и подобрява достоверността на TDR метода при БК на изливните ст.б. пилоти за укрепяване на общия изкоп на обект: Жилищна сграда в УПИ VIII-15, кв.172, м. „Западно направление етап метростанция Б-7“, гр. София. На всички пилоти той провежда предварително двустранно прозвучаване за определяне на действителния деформационен модул на бетона, необходим след това за установяване на интегритета им (фиг. 3.19 и 3.20).

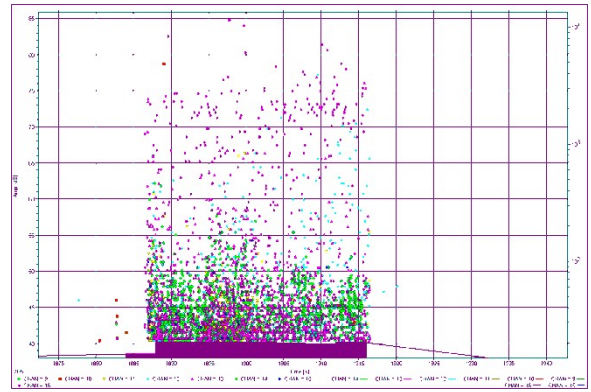
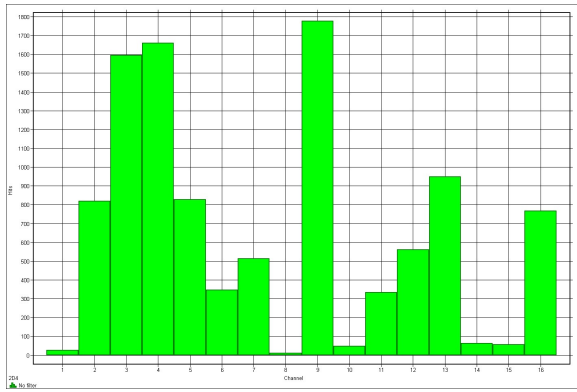


Фиг. 3.19 и 3.20 Моменти от проведените ултразвукови изследвания: на скоростта в бетона (ляво) и на интегритета на пилотите (дясно)

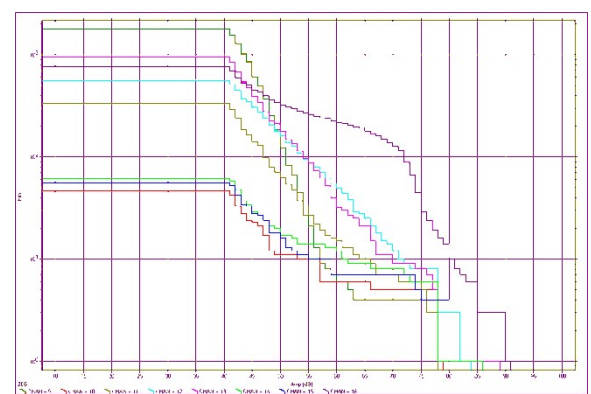
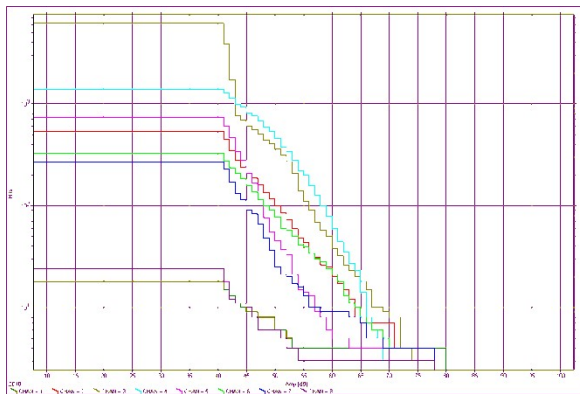
Друг съвременен метод използван през последното десетилетие у нас за БК на строителни конструкции и съоръжения е акустическата емисия (АЕ). Прилагат го П. Овчаров и Б. Андреев от ТУ Варна при изследване на състоянието на стоманени корпуси на смесители и реактори в химическата промишленост и котли на ТЕЦ, както и за установяване на евентуални дефекти в съществуващи стари стоманени мостове, във връзка с модернизацията на ж.п. линия в участъците Септември – Пазарджик (2011г.); Пазарджик – Стамболийски (2011г. – фиг. 3.21 и 3.22) и Стамболийски – Пловдив (2012г.). Чрез получените по този метод графики и диаграми за броя на сигналите, амплитудите и времето (от фиг. 3.23 до 3.26) са диагностицирани в експлоатационен режим нитовите и заваръчни съединения за неизправности (отслабвания и пукнатини) и евентуално наличие на „умора“ в метала на носещите елементи и конструкции.



Фиг. 3.21 и 3.22 Моменти от проведените изследвания с АЕ на стоманените ж.п. мостове на km 135⁺⁰⁴⁰ преди г. Стамболийски (ляво) и на km 154⁺⁰⁰⁴ в гр. Пловдив (дясно)



Фиг. 3.23 и 3.24 Диаграми “Hits/Chanel” и “Amp/Time” от изпитването с АЕ на ж.п. мост на км 135⁺⁰⁴⁰



Фиг. 3.25 и 3.26 Диаграми “Hits/Amp” за средното и пропорното сечение от изпитването с АЕ на стоманения ж.п. мост на км 135⁺⁰⁴⁰

Наред с новите методи, продължава да се използва и внедрява по-широко и времевия ултразвуков метод, с неговите направления за определяне на якостно-деформационните свойства на бетона, за наличието на вътрешни дефекти и за установяване на параметрите на проявени пукнатини.



Фиг. 3.27 и 3.28 Ултразвуково прозвучаване за окачествяване на монтажни бетонни канавки ЕКТ 200/50 (ляво) и перонни елементи ПЕМ 76 (дясно)

Така например, в лабораторията по ИСК на УАСГ Д. Димов и неговите сътрудници чрез прозвучаване окачествяват бетона на типово произвеждани по нова технология „випропресоване“ бетонни ж.п. канавки ЕКТ 200/50 (2014г.) и перонни елементи ПЕМ 76 (2015г.), нужни за модернизацията на ж.п. участък Септември – Пазарджик от трансевропейската ж.п. мрежа (фиг. 3.27 и 3.28). Освен портативния ултразвуков апарат UNIPAN 543, лабораторията се снабдява и с по-нов ултразвуков апарат на NAMICON, с допълнителни електронни функции, които улесняват работата и повишават сигурността на измерванията (вж. фиг. 3.27 и фиг. 3.32).

Същият метод е използван от екипа и за окачествяване на набивни ст.б. пилоти в ТЕЦ Марица изток (2009г.) и на ст.б. монтажни столици от сглобяемите покривни конструкции на хипермаркетите БИЛЛА в много градове на страната (фиг. 3.29 и 3.30)



Фиг. 3.29 и 3.30 Ултразвуково прозвучаване за окачествяване на набивни ст.б. пилоти (ляво) и на ст.б. столици от сглобяемите покривни конструкции на магазините БИЛЛА (дясно)

Екипът използва метода и в другото му направление – за диагностика на проявени пукнатини: в плочите на кота $-4^{51}m$ и във фундамента на плоча на Бизнес сграда „Мегапарк София“ (2012г.) и в безфуговата хибридна дисперсно армирана индустриална настилка на Склад за готова продукция на ЛИДЛ Кабиле (2016г.)



Фиг. 3.31 и 3.32 Ултразвукова диагностика на проявени пукнатини в плочите на Мегапарк София (ляво) и в индустриалната безфугова настилка на ЛИДЛ Кабиле (дясно)

За времето от 2010г. до 2017г., отначало Д. Димов и сътрудниците от Лабораторията по ИСК при УАСГ – Ив. Иванов, С. Димитров и Г. Цонев, а по-късно и колегите му Ат. Георгиев и К. Велинов провеждат безразрушителни изпитвания за оценка на състоянието на близо 47бр. съществуващи ст.б. и стоманени ж.п. мостове, надлези и подлези и над 60бр. водостоци, разположени в 9бр. ж.п. отсечки на участъците: ж.п. възел София; (Централна гара – гара Казичене и гара Биримирци – гара Подуяне разпределителна); междугарията Елин Пелин – Ихтиман, Ихтиман – Септември, Септември – Пазарджик, Пазарджик – Стамболийски, Стамболийски – Пловдив, Харманли – Свиленград и Свиленград – Турската и Гръцката граници, които направления се явяват част от трансевропейската ж.п. мрежа. При обследването на всички тях са прилагани специално подбрани методи и техники за БК, независимо от многообразието и различията на обследваните съоръжения по вид, възраст, местоположение, материали и начини на изграждане, които позволиха тяхното актуално техническо състояние да бъде установено достоверно и обосновано в съответствие с действащите у нас хармонизирани БДС EN стандарти. Един от основните за целта методи беше именно импулсния ултразвуков метод (фиг. 3.33 до 3.36 и [6]), който е използван както за прозвучаване на обследваните на място елементи и конструкции (фиг. 3.33 и 3.34), така и за прозвучаване на изрязвани от тях пробни бетонни тела (фиг. 3.35 и 3.36).



Фиг. 3.33 и 3.34 Моменти от проведените ултразвукови изследвания на еднородността и якостно-деформационните характеристики на бетона в ст.б. колони на Пътен надлез Стамболийски (2017г.)



Фиг. 3.35 и 3.36 Моменти от ултразвукови изследвания на изрязани бетонни пробни тела

Подобни изследвания в този разширен състав, екипът е провеждал за диагностика и окачествяване на значителен брой ст.б. колони и стени на редица новостроящи се обекти, като „Цех за сладкарски и захарни изделия в НПЗ Х. Димитър в гр. София“ през 2014г. (фиг. 3.37 и 3.38); „Фабрика за производство на ламинирани табли и пластмасови съдове в гр. Шумен“ през 2017г. (фиг. 3.39 и 3.40) и др.



Фиг. 3.37 и 3.38 Моменти от провеждани ултразвукови изследвания за окачествяване на ст.б. стени в новостроящ се цех за захарни изделия в гр. София (2014г.)

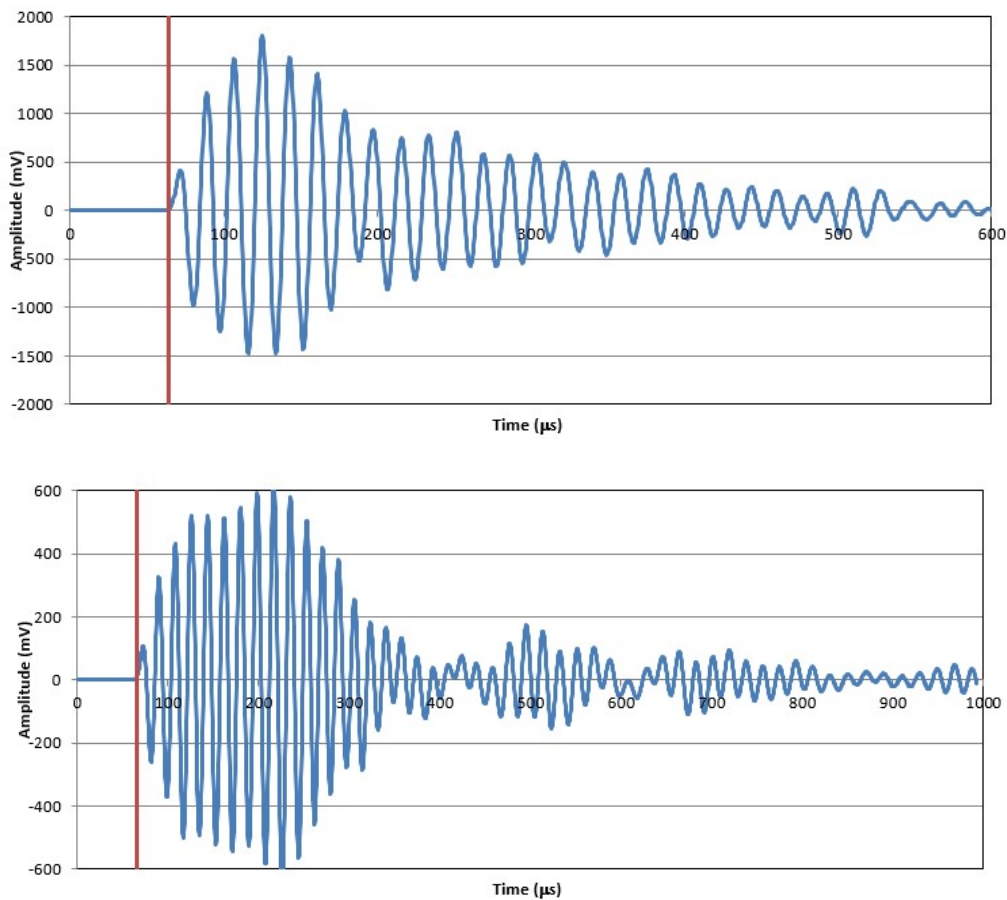


Фиг. 3.39 и 3.40 Моменти от провеждани ултразвукови изследвания за окачествяване на ст.б. колони в новострояща се фабрика за пластмасови съдове в гр. Шумен (2017г.)

През настоящата 2018г., след снабдяване на лабораторията с един от най-съвременните модели на ултразвуков апарат, К. Велинов проведе комплексна ултразвукова диагностика на изрязани сондажни ядки (фиг. 3.41) и на ст.б.стени и колони с налични повърхностни дефекти (фиг. 3.42) на 8 етажна сграда в гр. София. Резултатите от тази диагностика, във вид на стойности за времето и скоростта на прозвучаване, както и записите на процесите на затихване (ревеберации – фиг. 3.43 и 3.44), позволиха да се предложат адекватни мерки за тяхното възстановяване и осигуряване на надеждността и дълготрайността на конструкциите.



Фиг. 3.41 и 3.42 Ултразвукова диагностика на сондажни ядки и на монолитна шайба с повърхностни дефекти на 8 етажна сграда в гр. София (2018г.)



Фиг. 3.43 и 3.44 Графики на затихване на ултразвуков импулс в Ш12 на 8 етаж в места без и с наличие на повърхностни дефекти

4. Изводи

4.1. Ултразвуковите методи за БК и диагностика на строителни материали, елементи и конструкции, макар и по-бавно отколкото в машиностроенето и металознанието, навлизат все по-широко и по-трайно в практиката у нас.

4.2. Главни причини за това са от една страна все по-добре осъзнаващата се необходимост и полза от прилагането въобще на безразрушителните методи за контрол с тяхната превантивност и безспорни предимства, а от друга – бързото развитие и

усъвършенстване през последните години на разнообразните ултразвукови апарати, някои позволяващи дори в реално време да се следи индикацията и изменението на измерваните величини, параметри и/или дефекти.

4.3. Наред с традиционния импулсен ултразвуков метод с неговите разновидности, които постоянно се разнообразяват и подобряват, напоследък в България все по-често се прилагат в строителството и другите по-нови и съвременни методи, като акустическа емисия, кратковременно динамично отражение, звуково сондиране и др.

Литература

1. Димов Д. Безразрушителни изпитвания на строителни конструкции, София, „Дайрект Сървисиз“ ООД, 2011.
2. Димов Д., Т. Дончев. Приложение на ултразвуковия метод за определяне на якостта на бетони след високотемпературни въздействия, Сб. IX Национална конференция с международно участие „Дефектоскопия '94“, 25-27.05.1994, София, стр. 68-73.
3. Димов Д., Т. Дончев. Влияние на неравномерното нагряване върху резултатите от ултразвукови изпитвания на бетона, Сб. X Национална конференция с международно участие „Дефектоскопия '95“, Созопол, 25-27.05.1995, стр. 235-238.
4. Dimov D., T. Donchev. Peculiarity of the Ultrasonic Method for determination of the Residual Strength of Concrete after high-temperature influence, Vol. 2-nd RILEM International Conference on Diagnosis of Concrete Structures, October, 1996, Strbske Pleso, Slovakia.
5. Димов Д., Т. Дончев, П. Божкова. Безразрушителен контрол при оценка на факторите на влияния на реални пожарни въздействия върху стоманобетонни конструкции, Сб. XII Национална конференция с международно участие „Дефектоскопия '99“, Созопол, юни 1999, стр. 237-241.
6. Димов Д., Методически особености и техника при обследване на съществуващи ж.п. мостове, Международна юбилейна научна конференция „75 години УАСГ“, София, 1-3 ноември 2017г.