



Получена: 14.03.2019 г.

Приета: 05.04.2019 г.

РАЗВИТИЕ НА БЕЗРАЗРУШИТЕЛНИТЕ МЕТОДИ ЗА КОНТРОЛ НА КОНСТРУКЦИИ НА СГРАДИ И МОСТОВЕ В БЪЛГАРИЯ

Д. Димов¹

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 (1918 – 2007)

Ключови думи: безразрушителен контрол (БК) на конструкции и мостове, развитие на методи и техника

РЕЗЮМЕ

В статията е представена ролята на водещи личности и институции в България за развитието на методите и техниката за изпитване на конструкциите на сгради и мостове чрез прилагане на безразрушителни методи в строителството.

Специално внимание е обърнато върху последните развития и приноси за установяване на системен контрол на качеството на конструкциите с прилагане на подходящи методи за безразрушителен контрол (БК). Извършен е критичен анализ на факторите, допринесли за навлизането и утвърждаването през последното столетие у нас на методите и техниките за БК, и са направени изводи за условията и перспективите за бъдещото им развитие.

1. Въведение

Ролята на безразрушителния контрол в строителството става все по-популярна и значима. В наши дни е невъзможно да си представим строителната индустрия и поддържането на съществуващите конструкции без съответния конструктивен контрол. Ускореното развитие на тези методи и техники през последното столетие е резултат предим-

¹ Димитър Димов, проф. д-р инж., кат. „Масивни конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: dimg.dimov@gmail.com

но на интензивното навлизане на нови материали, способности и техники. Успоредно с бурното развитие на електрониката, физиката и другите области на човешките знания, водещи към внедряване на интелигентни методи и техники, развитието на БК и неговото приложение е резултат на историческите усилия на хиляди предани изследователи, чиито приноси би трябвало да се познават.

Използването у нас на безразрушителния контрол за сгради и мостове датира още от създаването на първите специализирани лаборатории за изпитване на строителни конструкции през 50-те години на ХХ век. Преди това при приемане на обектите са били извършвани само някои частични изпитвания на мостове и специални съоръжения, като резервоари и кули.



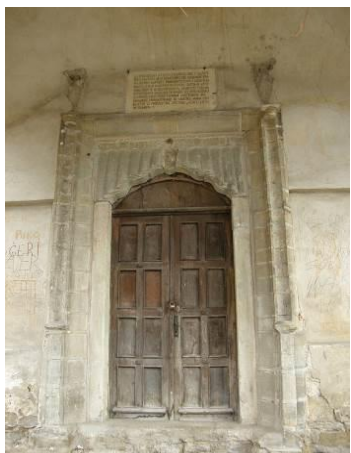
Фиг. 1 и 2. Графичен портрет на Уста Колю Фичето и сегашен вид на моста му при гр. Бяла

Нашият гениален майстор-строител Колю Фичето (1800 – 1881 г.), вж. фиг. 1, за да изрази нагледно проектите на по-значителните си съоръжения, като например моста над р. Янтра при гр. Бяла (1865 – 1867 г.), вж. фиг. 2, предварително е изпълнявал моделите им от восък и пръчици. Тези модели безспорно са му служели и като първични ориентири, за да прецени разпределенията на усилията в конструкциите и правилно да подбере и уточни макар и по чувство техните размери.

Негов е и първият опит за устройване на „мониторинг“ за регистриране на нежелани премествания по много прост, но ефективен начин. На една от десетките построени от него църкви в средата на ХІХ век – църквата „Св. Константин и Елена“ в гр. В. Търново, вж. фиг. 3 и 4, той вгражда от двете страни на входната врата, вж. фиг. 5, въртящи се кръгли дървени колони, чието свободно завъртане около централно поставените метални шипове, вж. фиг. 6, би било затруднено и/или блокирано при евентуални неравномерни слягания.



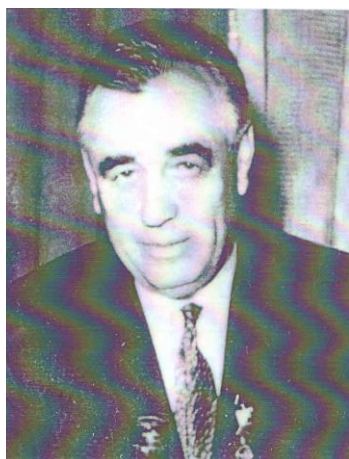
Фиг. 3 и 4. Поглед от с-и (ляво) и откъм ул. „Ген. Гурко“ (дясно) към църквата „Св. Константин и Елена“ в гр. В. Търново



Фиг. 5 и 6. Фрагмент на входната врата (ляво) и детайл на леглото и връзката с каменната стена на липсващите вече въртящи се колони

2. Личности с приноси за развитието на БК в строителството

Едва през втората половина на XX век в България са обзаведени с техника и специалисти лаборатории за изпитване на строителни конструкции и модели, първоначално към Строителния факултет на Висшия инженерно-строителен институт (сегашния УАСГ), към Научноизследователския строителен институт (НИСИ), към ЦНИРДП „Енергопроект“ и др. Най-голям принос в създаването на тези лаборатории имат проф. Стоян Колев (1905 – 1971 г.), основоположник на дисциплината „Изпитване на строителните конструкции“ и особено проф. д-р инж. Тодор Марков (1918 – 2007 г.), който популяризира и доразви познанията в тази област на съвременно ниво и обучи много наши и чужди специалисти и докторанти.



Фиг. 7 и 8. Стоян Колев като студент през 1925 г. и като професор във ВИСИ през 1963 г.

В периода 1924 – 1929 г. Стоян Колев следва Строително инженерство във Виенската политехника. След завършването ѝ отначало работи като строителен предприемач, а от 1937 г. започва работа в „Станцията за изпитване на материалите“, която в 1948 г. е преименувана в „Централен изпитвателен институт“ (ЦИИН), а в 1954 г. – в „Научноизследователски строителен институт“ (НИСИ). Като водещ специалист в изпитванията още през учебната 1944/45 г. е поканен да чете лекции по „Строителни материали“ в Държавната политехника. Доц. Ст. Колев е първият директор на ЦИИН, а след това и на НИСИ. През 1953 г. той е удостоен с Димитровска награда за „Изследване на свойствата и приложението на траса в строителството, създаване на нови бетони и разтвори и азбесто-битумни изолации“. През 1957 г. под негова редакция излиза първият Годишник на НИСИ, който слага началото на развитието на една правилна научноизследователска работа в строителството.

През 1958 г. Ст. Колев става професор, вж. фиг. 8, и още същата година по негова идея се въвежда дисциплината „Изпитване на строителните конструкции“. Той написва първия учебник за нея. Това направление в катедра „Масивни конструкции“ към СФ на Инженерно-строителния институт (ИСИ) се превръща в основно изпитвателно звено за оценка на качеството на изпълнение на редица нови съоръжения в България. Той е един от учредителите на „Българското дружество по земна механика и фундиране“ през 1948 г. и дългогодишен председател на секция „Строителство“ на създадените през 1949 г. Научно-технически съюзи (НТС). Написал е 4 бр. книги: по „Строителни материали“, „Изолации в строителството“, „Изпитване на строителни конструкции“ и „Плоски покриви“, първата от които е издавана четири пъти – през 1946, 1956, 1963 и 1968 г. През 1965 г. участва в разработването на „Норми за проектиране на топлоизолации в сгради“.

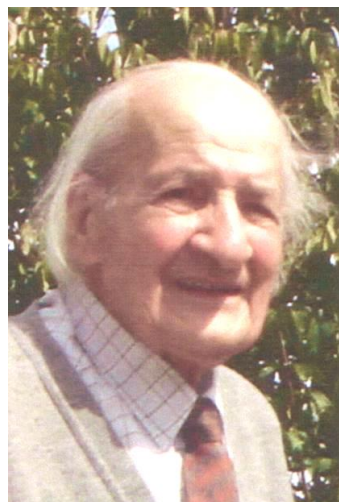
На 14.06.2018 г. се навършиха 100 години от рождението на проф. д-р инж. Тодор Марков, дългогодишен преподавател в катедра „Масивни конструкции“ при СФ на ВИАС и УАСГ. Мнозина от нас все още си спомнят за него с голямо уважение и респект към неговата личност и професионализъм в опитните и безразрушителните изследвания.



Фиг. 9 и 10. Проф. д-р инж. Тодор Марков през 1976 и 1986 г.

Проф. Т. Марков завършва отдела по строително инженерство на Държавната Политехника в София през 1948 г. Работил е като строителен инженер през 1949/50 г. в ЦАПО (наречено по-късно „Главпроект“). От 1950 г. работи в катедра „Статика на строителните конструкции и мостове“ (впосл. кат. „Масивни конструкции“) на ИСИ (имену-

ван по-късно ВИСИ, след това ВИАС, а понастоящем УАСГ), като асистент до 1954 г., доцент – до 1964 г. и като професор – до 1987 г., в края на който период е бил и ръководител на катедрата. Преподавал е „Строителни материали“, „Стоманобетонни конструкции и мостове“ и най-дълго време „Изпитване и моделиране на строителни конструкции“. Написал е 5 бр. учебници: два по Изпитване на строителни конструкции и съоръжения; един по Експериментална механика (на испански) и два по Строително дело (общ курс за геодезисти). Освен това има над 145 доклада, вж. фиг. 9, и публикации по тематиката на учебниците в научно-технически специализирани списания, сборници на трудове от конференции и конгреси, състояли се у нас и в чужбина: Германия, Белгия, Румъния, Унгария, Куба и др. Освен преки учебни занятия (водене на лекции и упражнения), той е бил ръководител на 18 аспиранти, от които 9 българи, 3 вьетнамци, 4 кубинци, 1 поляк и 1 малиец, които са защитили успешно докторантури. Членувал е в Научно-техническите съюзи и в Съюза на учените у нас, в RILEM и в IABSE, като е работил в три международни строителни експертни комисии. Почетен член е на ННТД по Дефектоскопия в България и на Израелското дружество по безразрушителни изпитвания на материали. Основател е и е дългогодишен ръководител на Лабораторията за изпитване на строителни конструкции във ВИАС.



Фиг. 11 и 12. Проф. Т. Марков през 1989 (изпитване на трамваен мост) и 2006 г.

Той е и един от радетелите на научноизследователската дейност на ВИАС, като е бил 12 години зам. ръководител и ръководител на научноизследователски сектор (НИС). Освен това той взема пряко участие в строителството чрез изготвяне на над 400 експертизи, рецензии и изпитвания на нови строежи, вж. фиг. 11, и на по-значителните строителни аварии и неблагоприятия. За тази си дейност проф. Марков е много известен у нас и в чужбина, и е неколккратно награждаван с медали и ордени.

Със значителен принос за развитието на опитните изследвания остават и техните колеги от НИСИ – ст.н.с. I ст. В. Петков, подобрил практическата методика за определяне на якостта на бетона чрез повърхностната му твърдост с апарата на Франк-Бауман (1955 г.) и на ст.н.с. I ст. Л. Петров, 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 авторът на настоящата статия [1], както и Assoc. Prof. Dr. Eng. T. Donchev от Kingston University UK, 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.

3. По-важни методи и приложения за БК на сгради и мостове

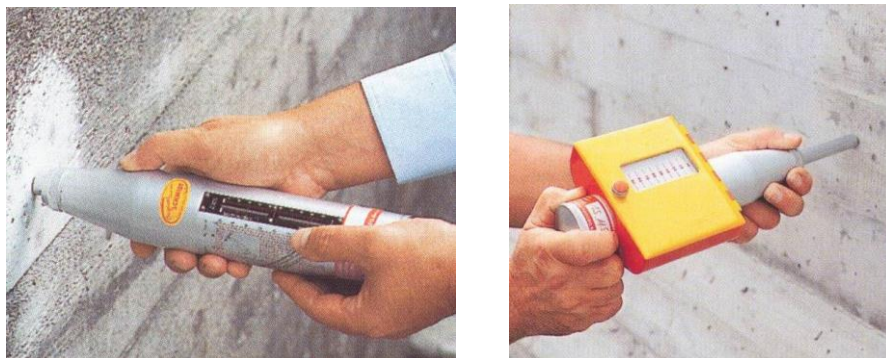
3.1. Начален период



Фиг. 13, 14 и 15. Твърдомери „HPS“ (ляво-горе и дясно), Кремиковец и Полди (средата)

Първоначално в средата на миналия век при БК на съществуващи стари и ново-строящи се конструкции на сгради и мостове у нас са използвани предимно механични твърдомерни уреди, работещи на принципа на пластичния отпечатък: за бетонните и стоманобетонните – еталонният чук на Физдел и твърдомерите „Франк-Бауман“ и „Кремиковец“, вж. фиг. 13, а за металните конструкции – твърдомерът на „Полди“, вж. фиг. 14, и този на „Франк-Бауман“ или „HPS“, вж. фиг. 15.

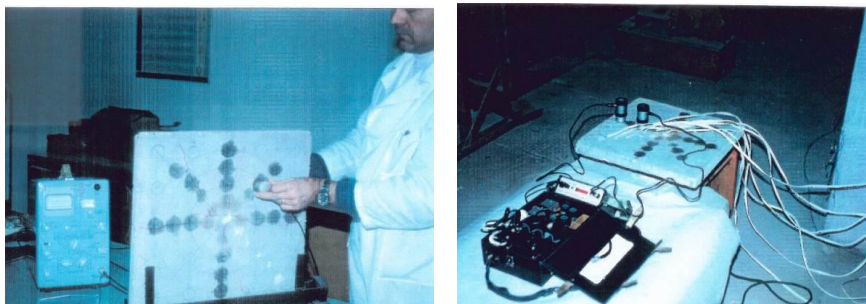
През 60-те и 70-те години на ХХ век навлиза в употреба и широко разпространеният вече в много страни твърдомерен чук на „Шмидт“ за бетонни и ст.б. конструкции, който работи на принципа на еластичния отскок. Тогава са използвани първите му модели – отначало тип N, вж. фиг. 16, а по-късно и тип NR, вж. фиг. 17.



Фиг. 16 и 17. Твърдомери на „Шмидт“ тип N (ляво) и тип NR (дясно)

През този период в България навлиза и импулсният ултразвуков метод. Първите му практически приложения на конкретни строителни обекти 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 на XX век, 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, вж. фиг. 18.



Фиг. 18 и 19. Прозвучаване на плочни ст.б. елементи след високотемпературни въздействия, провеждани в Лабораторията по изпитване на строителни конструкции на ВИАС

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 °С до 800 °С) и охлаждане те са изпитвани комплексно и е определяно изменението на якостта на бетона чрез твърдостта, вкл. механично разрушаване, и чрез прозвучаване [2, 4]. 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. 18. На този етап са използвани вече и портативни ултразвукови апарати с дигитално отчитане на времето за прозвучаване, като модела UNIPAN 543, вж. фиг. 19. 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 1996 г. е изследвано влиянието на променливите технологични температури върху якостта и състоянието на бетона на стоманобетонната тръба в участъци с нарушена отвътре топлоизолация, вж. фиг. 20 и 21).

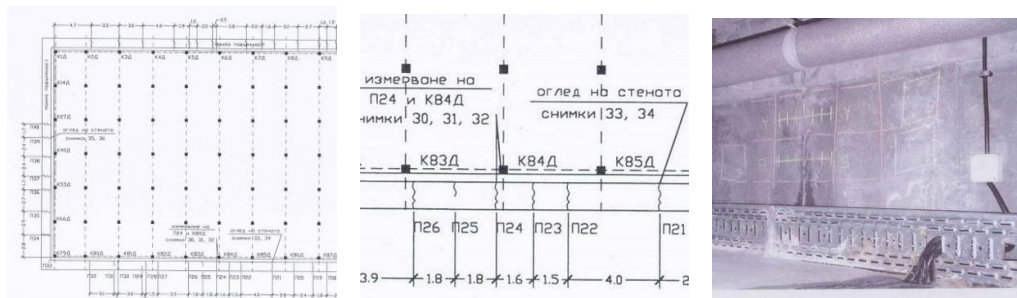


Фиг. 20, 21, 22 и 23. Ултразвуков БК на комина на ТЕЦ „Видахим“ (ляво) през 1996 г., на ст.б. колони и покривни конструкции след възникнали пожари в сграда на ул. Кр. Попов в София (средата) през 1997 г. и в склада за суровини на фирма „Белана“ през 1998 г. (дясно)

В другите два обекта: Жилищна сграда на ул. „Кр. Попов“ в гр. София, вж. фиг. 22, и Склад за суровини на фирма „Белана“ в гр. Белово, вж. фиг. 23, са изследвани комплексно, вкл. и с ултразвуковия метод, остатъчните якости на бетона в различните ст.б. елементи след настъпилите пожари съответно през пролетта на 1997 г. и през м. октомври 1998 г.

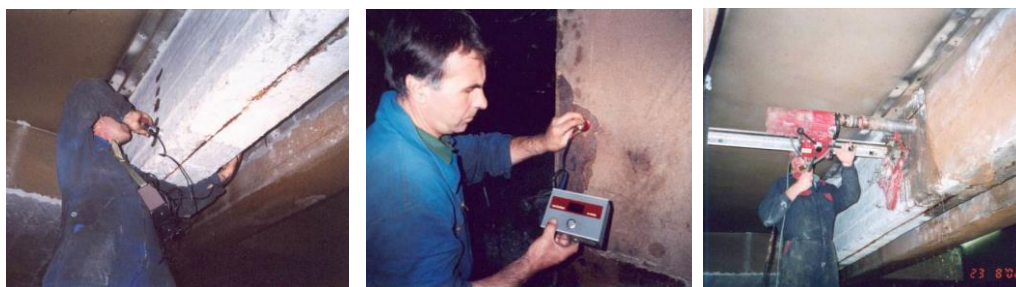
Резултатите от тях са публикувани в материалите на НК „Дефектоскопия ’99“ [5].

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 прави измерване с ултразвук и на дълбочината им [1] (вж. фиг. 24 до 26).



Фиг. 24, 25 и 26. Конструктивна схема и фрагменти на изследваните пукнатини на плувния басейн на АЕЦ „Козлодуй“, с маркирани бази за измерване с ултразвук на дълбочината им

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 портативният ултразвуков апарат *UNIPAN 543*, вж. фиг. 27, и ултразвуковият дебеломер *DM1* на *Krautkramer*, вж. фиг. 28.



Фиг. 27, 28 и 29. Ултразвукова диагностика на бетона в гредите и на степента на корозия на стоманените колони на „Ротондата“ пред Централна гара София

През същия период се развива и утвърждава практиката за използване на комплексни методи за БК при изпитване на бетони и диагностика на армировки в готови стоманобетонни елементи и конструкции: чрез лабораторни изпитвания на изрязани пробни бетонни тела (сондажни ядки) от самите тях, чрез повърхностната твърдост с чу-

ка на Шмидт и с електромагнитни апарати, вж. фиг. 29 до 32. Така са окачествявани конструкции на десетки сгради и мостове.



Фиг. 30, 31 и 32. Изпитване на изрязани сондажни ядки (ляво) и диагностики на армировки с Profometer 5 на Proceq (срета) и с Ferroscaan на Hilti Corporation (дясно)

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. В началото той 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. С течение на времето ползата от превантивното използване на тези методи става все по-осезаема и приемлива и сега все по-често, повече участници 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 уреди и методи за БК [6].

Широко започна да се прилага „колориметричният метод“ за оценка на дълбочината на неутрализация на бетона, вж. фиг. 33, както и превантивният контрол за вероятността за корозия на армировката чрез измерване на разликата в електрическите потенциали на бетона и армировката, вж. фиг. 34. За оглед на труднодостъпните части на конструкциите започнаха да се прилагат бороскопи, ендоскопи и видеоскопи *Iplex MXR* на *Olympus*, вж. фиг. 35, а за БК на стоманени елементи и конструкции – електронните твърдомери на *Proceq*, вж. фиг. 36.



Фиг. 33 и 34. Определяне на дълбочината на неутрализация на бетона по „колориметричен“ метод (ляво) и на потенциала за корозия на армировката с CANIN+ (дясно)



Фиг. 35 и 36. Дистанционна диагностика на лагери на плочест мост (ляво) и БК на стоманен мост в гр. Пловдив с електронен твърдомер за метали EQUOTIP на фирма Proseq (дясно)

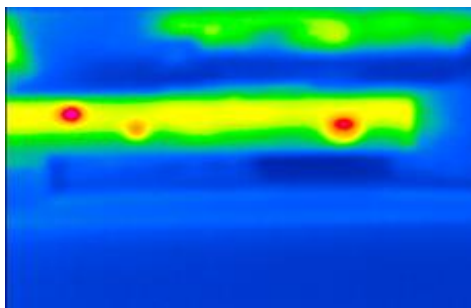
През този период в строителството се утвърди прилагането и на радиометричния метод. През есента на 2013 г. екипът на „Контрол“ ООД Хасково, под ръководството на инж. Р. Димитров, проведе радиографичен контрол на връзките „стоманена колона-напрегнати ст.б. столици“ на обект: Склад за промишлени стоки на „Макском“ ООД край гр. Пловдив при много трудни технологични условия, вж. фиг. 37 – 39, напречно пресичане на сегментни анкери и напрягащи въжета [7].



Фиг. 37, 38 и 39. Момент от провеждане на контрола и радиографски картини на анкерните болтове и напрягащите въжета в областта на връзката „стоманена колона – напрегната ст.б. столица“ в склад на „Макском“ ООД край гр. Пловдив

Утвърди се и практиката за прилагане на „термовизията“ като основен метод за оценка на качеството на стенни и покривни топло- и хидроизолации, на подови отопления, различни други инсталации и за окачествяване на системи за конструктивно усилване със съвременни FRP материали.

По тази връзка, през 2014 и 2015 г. в Kingston University, London, UK, Т. Donchev и Д. Димов провеждат серии от експерименти, с които доказват ефективността на термокамерите и в това направление, вж. фиг. 40 и 41.

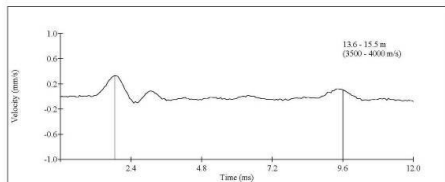
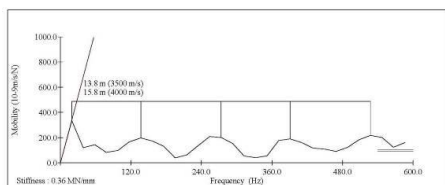


Фиг. 40 и 41. Общ вид и термографска картина на „невидимите“ дефекти на усилване на гредата с ламинат от CFRP материали (експерименти на Т. Donchev и Д. Димов)

В началото на този период навлязоха и нови ултразвукови методи. Пример за това е проведеният през 2009 г. от Д. Димов и Вл. Костов комплексен БК на интегритета и качеството на изпълнение на изливните пилоти с диаметър 1200 mm и дължини по 15 и 18 m на новостроящия се жп мост над р. „Мечка“ на km 203⁺⁷⁴⁴ на обект: Електрификация на жп линия Пловдив – Свиленград, обновяване на Коридор IV и IX, фаза II: Първомай – Свиленград, вж. фиг. 42.

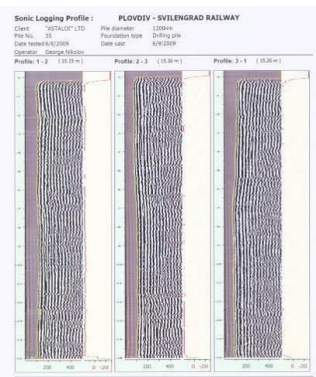


Фиг. 42 и 43. Общ вид на изпълнените пилоти за стълб P1 и момент от комбинираното изпитване на интегритета им по двата метода – с „TDR 2“ и „Ultrasonic Cross hole Testing“ (на заден план)



Date 29/06/2009 11:33
 Site PURVOMAI JP
 Job № 2
 Pile № 5
 Pile type IZLIV
 Diameter 1200 mm
 Given length 15 m

Remarks
 The pile's integrity is normal



Фиг. 44 и 45. Акустически графики (ляво) и звукови профили, получени по двата метода

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“, вж. фиг. 44 и 45, 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.

През 2011 г. Д. Димов със сътрудниците на лабораторията по ИСК при УАСГ до-развива 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 и скоростта на разпространение на ултразвука в бетона, вж. фиг. 46, необходими след това за установяване на интегритета им, вж. фиг. 47.

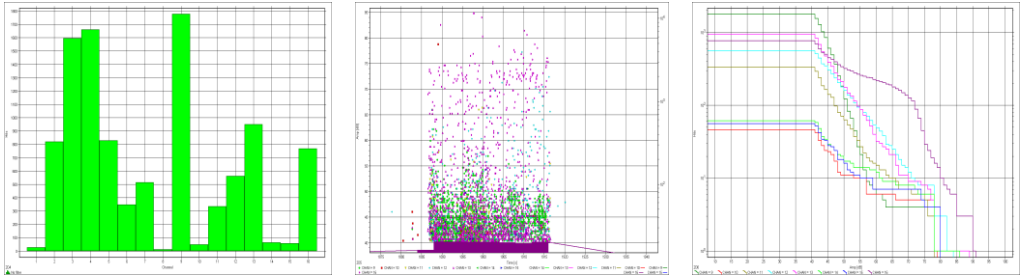


Фиг. 46 и 47. Моменти от проведените ултразвукови изследвания: на скоростта в бетона (ляво) и на интегритета на пилотите (дясно)

Друг съвременен метод, използван през последното десетилетие у нас за БК на строителни конструкции и съоръжения, е акустическата емисия (АЕ) [8]. 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 жп линия в участъците Септември – Пазарджик (2011 г.); Пазарджик – Стамболийски (2011 г., вж. фиг. 48 и 49, и Стамболийски – Пловдив (2012 г.).



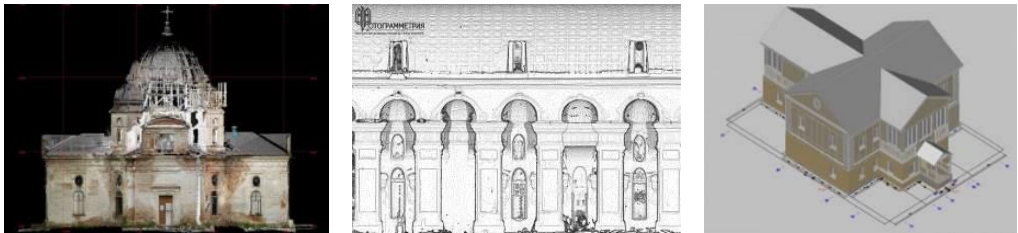
Фиг. 48 и 49. Моменти от проведените изследвания с АЕ на стоманените жп мостове на km 135⁺⁰⁴⁰ преди г. Стамболийски (ляво) и на km 154⁺⁰⁰⁴ в гр. Пловдив (дясно)



Фиг. 50, 51 и 52. Диаграми “Hits/Chanel”, “Amp/Time” и “Hits/Amp” за средното сечение от изпитването с АЕ на стоманения жп мост на km 135⁺⁰⁴⁰

Чрез получените по този метод графики и диаграми за броя на сигналите, амплитудите и времето (от фиг. 50 до 52) са диагностицирани в експлоатационен режим нитованите и заварени съединения за неизправности (отслабвания и пукнатини) и евентуално наличие на „умора“ в метала на много мостови конструкции.

През периода се разви и усъвършенства и използването на фотограметрични и дистанционни методи (ФДМ). В [9] инж. Н. Здравчева анализира с примери практически неограничените възможности на фотограметричните методи за дистанционно изследване на сгради, в т.ч. изготвяне на ортофотопланове на фасади, разрези, разгъвки, чертежи и 3D изображения – модели, вж. фиг. от 53 до 55.



Фиг. 53, 54 и 55. Примери за ортофотоплан на фасада; разгъвка и 3D модел на сгради



Фиг. 56 и 57. Ултразвуково прозвучаване за окъчествяване на монтажни бетонни канавки ЕКТ 200/50 (ляво) и перонни елементи ПЕМ 76 (дясно)

Наред с новите методи, продължава да се използва и внедрява по-широко и времевият 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. В лабораторията по ИСК на УАСГ Д. Димов и неговите сътрудници чрез прозвучаване окачествяват бетона на типове произведени по нова технология „вибропресоване“ бетонни жп канавки ЕКТ 200/50 (2014 г.) и перонни елементи ПЕМ 76 (2015 г.), нужни за модернизацията на жп участък Септември – Пазарджик от трансевропейската жп мрежа, вж. фиг. 56 и 57. Освен с 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. 56 и фиг. 61.

Същият метод е използван от екипа и за окачествяване на набивни ст.б. пилоти в ТЕЦ Марица изток (2009 г.) и на ст.б. монтажни столици от сглобяемите покривни конструкции на хипермаркетите БИЛЛА в много градове на страната, вж. фиг. 58 и 59.



Фиг. 58 и 59. 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 плочата на кота -4^{51} m и във фундаментната плоча на Бизнес сграда „Мегапарк София“ (2012 г. – фиг. 60), както и в безфуговата хибридна дисперсно армирана настилка на Склад за готова продукция на ЛИДЛ Кабиле (2016 г. – фиг. 61).



Фиг. 60 и 61. Ултразвукова диагностика на проявени пукнатини в плочите на Мегапарк София (ляво) и в индустриалната безфугова настилка на ЛИДЛ Кабиле (дясно)

За времето от 2010 г. до 2017 г., 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 при оценка на състоянието на близо 47 бр. съществуващи ст.б. и стоманени жп мостове, надлези и подлези и над 60 бр. водостоци, разположени в 9 бр. жп отсечки на участъците: жп възел София; 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 жп мрежа. При обследването на всички тях са прилагани специално подбрани методи и техники за БК, 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 импулсният ултразвуков метод, вж. фиг. 62 до 65 и [8]), който е използван както за прозвучаване на обследваните на място елементи и конструкции, вж. фиг. 62 и 63, така и за прозвучаване на изрязвани от тях пробни бетонни тела, вж. фиг. 64 и 65.



Фиг. 62 и 63. Моменти от проведените ултразвукови изследвания на еднородността и якостно-деформационните характеристики на бетона в ст.б. колони на пътен надлез Стамболийски (2017 г.)



Фиг. 64 и 65. Ултразвукови изследвания на изрязани бетонни пробни тела

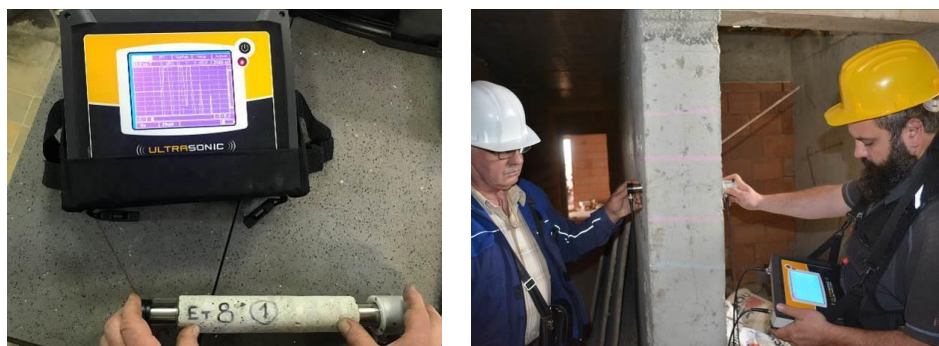
Подобни изследвания в този разширен състав екипът е провеждал за диагностика и окачествяване на значителен брой ст.б. колони и стени на редица новостроящи се обекти, като „Цех за сладкарски и захарни изделия в НПЗ Х. Димитър в гр. София“ през 2014 г., вж. фиг. 66 и 67; „Фабрика за производство на ламинирани табли и пластмасови съдове в гр. Шумен“ през 2017 г., вж. фиг. 68, 69 и др.



Фиг. 66 и 67. Ултразвукови изследвания за окачествяване на ст.б. стени в новостроящ се цех за захарни изделия в гр. София (2014 г.)



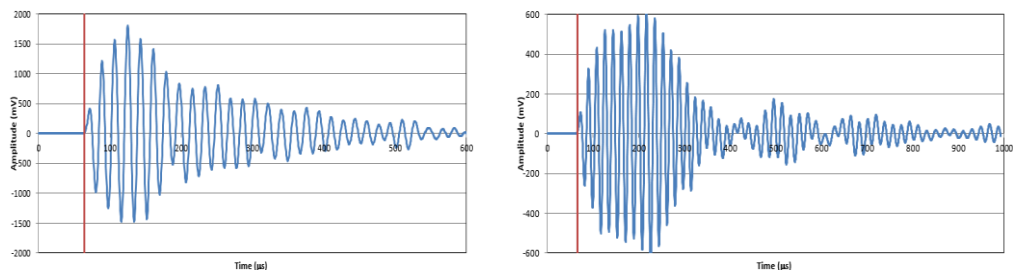
Фиг. 68 и 69. Ултразвукови изследвания за окачествяване на ст.б. колони в новострояща се фабрика за пластмасови съдове в гр. Шумен (2017 г.)



Фиг. 70 и 71. Ултразвукова диагностика на сондажни ядки и на монолитна шайба с повърхностни дефекти на 8-етажна сграда в гр. София (2018 г.)

През 2018 г., след снабдяване на лабораторията с един от най-съвременните модели на ултразвуков апарат, К. Велинов и Ив. Иванов проведоха комплексна ултразвукова диагностика на изрязани сондажни ядки, вж. фиг. 70 и на ст.б. стени и колони с налични повърхностни дефекти, вж. фиг. 71, на 8-етажна сграда в гр. София. Резултатите от тази диагностика, във вид на стойности за времето и скоростта на прозвучаване, както и за-

писите на процесите на затихване (реверберации – фиг. 72 и 73), позволиха да се предложат адекватни мерки за тяхното възстановяване и осигуряване на надеждността и дълготрайността на конструкциите.



Фиг. 72 и 73. Графики на затихване на ултразвуков сигнал в Ш12 на 8 ет. в места без и с наличие на повърхностни дефекти

4. Изводи

- 4.1. Още в периода на Българското Възраждане стремежът на изявените строители за създаване на по-здрави и трайни строежи е довел до прилагане на прости, но ефективни прийоми за определяне на здравината и поведението на конструкциите.
- 4.2. Трайното навлизане и развитие на методите за БК на строителни конструкции в България, датиращо от средата на миналия век заедно с въвеждането на висше техническото образование у нас, е плод на непрекъснатото усъвършенстване на методите и уредите за контрол, както и на усилията и приносите на значителен брой наши технически специалисти и учени.
- 4.3. Понастоящем преобладаваща част от методите за БК са насочени към установяване на многообразните свойства на различни композитни материали (бетон, стоманобетон, зидарии, изолационни и защитни покрития) със стремеж за визуализиране на предмета (обекта) на изследване, чрез използване на огромните възможности на цифровото моделиране (сканиране, томографски изображения и пр.).
- 4.4. Визуализирането на проучваните параметри на обектите повишава още повече изключително важната роля на методите за БК, които при правилно и своевременно използване в процеса на стопанисване и управление на конструкциите могат многократно да снижат разходите за тяхното поддържане.

ЛИТЕРАТУРА

1. Димов, Д. Безразрушителни изпитвания на строителни конструкции. София, „Дайрект Сървисиз“ ООД, 2011.
2. Димов, Д., Дончев, Т. 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., Дончев, Т. 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., Donchev, T. 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., Дончев, Т., Божкова, П. 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. Състояние на безразрушителния контрол на строителните конструкции в България. Научни известия на НТСМ (ISSN 1310-3946), година XX, брой 1(130), юни 2012.

7. Димов, Д., Георгиев, Ат., Димитров, Р. Приложение на радиографията за установяване на състоянието на напрегащи въжета в предварително напрегнати стоманобетонни столици на складова сграда. Научни известия на НТСМ (ISSN 1310-3946), година XXII, брой 1(140), юни 2014.

8. Димов, Д. Методически особености и техника при обследване на съществуващи жп мостове. // Годишник на УАСГ, 2018, 51(3): 125-138.

9. Здравчева, Н. Фотограметрични методи за изследване на строителни конструкции. Сборник доклади от Конференция с международно участие MATTEX 2018, Шу „Епископ Константи Преславски“, 25-27 октомври 2018.

DEVELOPMENT OF NDT METHODS FOR CONTROL OF BUILDING AND BRIDGE STRUCTURES IN BULGARIA

D. Dimov¹

Keywords: NDT control of structures & bridges, development of methods: persons, techniques and applications

ABSTRACT

The paper analyses the role of leading people and institutions in Bulgaria for development of methods and techniques for experimental testing of building and bridge structures and corresponding application of NDT methods in civil engineering. Special attention is paid to the latest developments and contributions and to the establishing of systems for structural quality control with corresponding opportunities for NDT applications.

Critical analysis of factors governing the development and application in Bulgaria of NDT techniques and methods during the last centuries and corresponding conclusions regarding the condition and perspectives for future development of such techniques are offered.

¹ Dimitar Dimov, Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnski Blvd., Sofia 1046, e-mail: dimg.dimov@gmail.com