



About the Applied Methodology for Non-destructive Testing in Certifying the Technical Condition of Steel Towers for Antenna Systems

Dimiter DIMOV

University of Architecture and Civil Engineering, Sofia, Bulgaria,
e-mail: dimg.dimov@gmail.com

Abstract

The article presents the applied methods and the used diagnostic technique in conducting the inspections of several existing steel towers for antenna systems used for the needs of aviation – non-directional beacons and Doppler meteorological radars.

Special attention is paid not only to the scope and methodological features of the studies and analyzes, but also to the selection and complex application along with the traditional and some modern specialized techniques for non-destructive testing of building materials – concrete, reinforcement and structural steels.

Keywords: steel towers for antenna systems, inspection, methodology and technique

Относно приложена методика за безразрушителен контрол при освидетелстване на техническото състояние на стоманени кули за антенни системи

Димитър ДИМОВ

1. Въведение

Едно от най-важните и необходими качества на опитните изследвания, в т.ч. на обследванията и изпитванията, е тяхната достоверност и истинност. Поради голямото разнообразие на изследваните конструкции и съоръжения, непостоянството на окръжаващата среда, естественото разсейване на свойствата на материалите в тях и пр., тази достоверност се явява функция на много на брой и различни фактори.

Влиянието на тези различия върху достоверността на резултатите от изследванията може да бъде сведено до минимум само чрез оптимално уеднаквяване на техническите средства и начините за извършване на обследванията и изпитванията, независимо от мястото и времето.

Такава система (съвкупност) от общи правила, закономерности и зависимости, които трябва да се спазват с оглед най-целесъобразното провеждане на дадено обследване и/или изпитване и които до голяма степен ще гарантират достоверността на опитните резултати, е прието да се наричат методически особености. Практически те представляват резултат от систематизирането, обобщаването и анализа на множество извършени обследвания и изпитвания, поради което позволяват да се получат най-достоверни и сравними помежду си и с теоретичните изчисления резултати.

Методическите особености са водещи при съставянето на работната програма на всяко съвременно строително-конструктивно изпитване. Благодарение на тях обобщаването, анализите и направените изводи могат да служат като основа за по-

нататъшното подобряване и усъвършенстване на методите за изчисляване на конструкциите и за правилното им обследване и изпитване.

В настоящата статия се разглеждат възприетите и приложени методи и техники [7, 8, 9, 10] при обследването на 14бр. стоманени кули на ненасочени приводни радиостанции (NDB) и доплерови метеорологични радиолокатори (ДМРЛ), проведени във връзка с оценка на състоянието и изясняване на условията и възможностите за реализиране на предстоящата модернизация на тези важни за въздухоплаването у нас системи, използвани от Ръководство на въздушното движение (РВД).

Комплексното прилагане на специално подобрите методи и техники, независимо от многообразието и различията по вид, възраст, местоположение, материали и начини на изграждане на обследваните съоръжения, позволиха тяхното актуално техническо състояние да бъде установено достоверно и обосновано в съответствие с действащите у нас хармонизирани БДС EN стандарти [1, 2, 3, 4, 5, 6].

2. Общи сведения за обследваните стоманени кули

2.1. Стоманени кули на NDB системи

Обследваните ненасочени приводни радиостанции (Non-directional (radio) beacon – NDB системи), построени през втората половина на 60-те и началото на 70-те години на миналия век и разположени по на 20-тина км от основните граждански летища у нас, са два вида:

Антенната система на **първия вид** радиостанции (NDB “BOZ”, “GNA”, “DWN”, “BU” и ДПРС22 „Бургас“) се състои от по 2 или 3 бр. успоредни проводници (вibratorи), опънати между върховете на 2 бр. носещи конструкции (метални решетъчни кули), с височини по 30м, отстоящи на разстояние 80м една от друга (фотос 2.1). Отсечката между двете кули е разположена симетрично, перпендикулярно на направлението на оста на съответната летищна писта. Конструкциите на кулите са пространствени прътови ферми с форма на пресечени пирамиди с размери на основата от около 200/200см (GNA) до 240/240см (BOZ), а на върха от 50/50см до 60/60см (BOZ), с височини по около 30м.



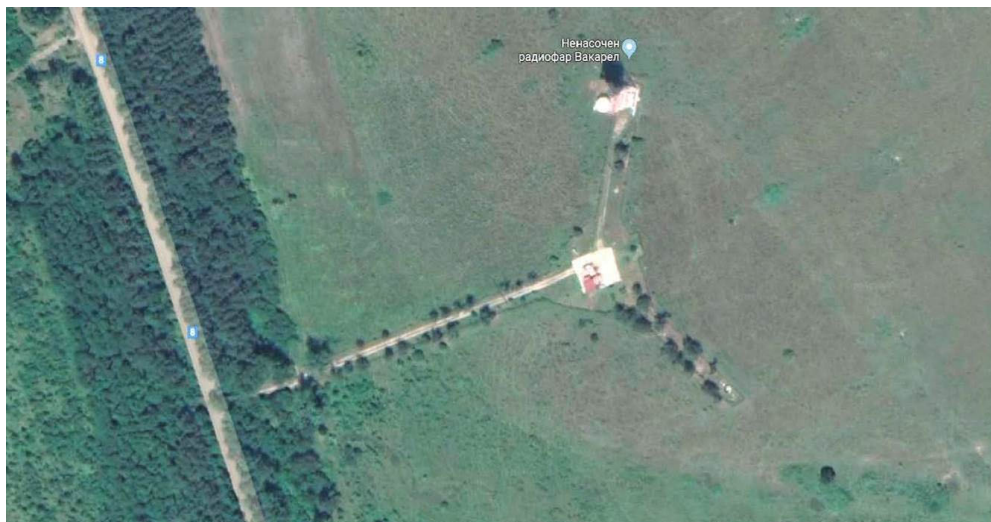
Фотос 2.1. Поглед от запад към двете метални кули на NDB “BOZ”

Съставени са от равнораменни L-профили: вертикали, хоризонтални и едностранно наклонени диагонали, еднотипни за съответните нива на всяка от страните. Връзките на диагоналните и хоризонталните пръти с вертикалните на NDB “BOZ” са с болтове, а на всички останали със заварки, докато между отделните (с дължини по около 6м) секции на вертикалните пръти на всички кули – с болтове. Опорната хоризонтална рамка на

всяка от кулите е също свързана чрез анкерни болтове към съответния бетонен фундамент.

През периода на досегашната експлоатация на радиостанциите няма данни за извършени обследвания и/или основни ремонти на металните решетъчни кули. За повече от тях липсват и проекти. Запазени са само копия на работните чертежи на стоманените кули на NDB “GNA” – РП за обект: Антенно устройство ДПРС за летище Г. Оряховица, изготвени от ИПП „ПРОНО“ МНО през 1971 г.

Вторият вид антени, каквато е на NDB “WAK”, се състоят от 3 чифта проводници (вibratorи), опънати между върховете на три метални тръбни кули, с височини по около 31м, разположени в трите края (трите върха) на равностранен триъгълник, отстоящи от центъра му по на около 40 м (фотос 2.2).



Фотос 2.2. Поглед отгоре към имота, в който е разположена NDB “WAK”

Конструкцията и на трите кули представляват тръбни метални мачти с различни по тип и размери тръбни секции и височина на всяка от тях. Северната мачта №1 е конструирана в долната си част от спирално заварена тръба, след това над средата – с безшевна тръба с конусовидно намаляващ диаметър, по-горната част отново със спирално заварена тръба и накрая с безшевна цилиндрична тръба. Размерите им също са различни, като в меродавните най-долни части диаметрите на трите мачти: северна №1, ю-и №2 и ю-з №3 са съответно по 330mm, 300 и 300mm, а височините им респективно 31,0m; 30,4m и 30,6m. Всяка от мачтите е укрепена с по 3 обтегача по на две нива в противоположни на антените посоки. Спираловидните заваръчни шевове на тръбните секции са изпълнени при заводски условия, докато връзките между отделните тръбни секции са изпълнявани на място ръчно с хоризонтални заваръчни шевове, външно по периферията на тръбите, като са използвани и вертикални накладки от армировъчна стомана. Централните фундаменти на мачтите и анкерните фундаменти на обтяжките са изпълнени от монолитен бетон.

От досегашната експлоатация няма данни за извършени обследвания и/или основни ремонти на металните тръбни кули (мачти). Запазено е копие на Технико-икономическото задание за изготвяне на Работен проект за „Антенна система за радиофар – Вакарел“, изготвено от Асоциация „Съобщения“ към Комбинат „Радио и телевизия“ София, РСП „Радио и телевизия“ през 1987 г. Работен проект обаче няма.

2.2. Стоманени кули за ДМРЛ

Носещите конструкции на тези антенни системи представляват пространствени решетъчни стоманени ферми с основа квадрат, с успоредни вертикални колони, хоризонтални и диагонални пръти. Те са също два вида: тръбни – на ДМРЛ „София“ и от горещо валцовани стоманени профили – на ДМРЛ „Варна“.

Радиолокаторната кула на ДМРЛ „София“ (фотос 2.3) е с размери в план 7,00/7,00m и височина 32,00m. Носещата ѝ конструкция представлява стоманена пространствена ферма, състояща се от 4 бр. колони с кутиеобразно сечение 200/200mm, хоризонтални и диагонални пръти с правоъгълно и кръгло тръбно сечение. Формирана е от 8 бр. еднотипни, с височини по 4,00m секции. Всички елементи на основната носеща решетъчна конструкция са изпълнени от студено огънатата ламарина от стомана S235J2 по БДС EN 10025-2, еквивалентна на ВСтЗпс по БДС 2592-71.



Фотос 2.3. Общ вид от юг към носещата конструкция и антенните системи на ДМРЛ София

Връзките между отделните елементи са с болтове, а оформянето на тръбите на отделните елементи и техните фланцеви плочи и укрепващи ребра – със заводски заваръчни шевове.

Металната носеща конструкция на радиолокаторната кула на ДМРЛ „Варна“ е разположена на покрива на техническата сграда, като стъпването ѝ е реализирано на кота +7,25m върху 4 бр. ст.б. колони, вградени в скелета на стоманобетонната конструкция (фотос 2.4). Основата на кулата е квадрат, оформен между 4-те стоманени колони, със страна 4,85m. Решетъчната структура на кулата се развива от коти +7,25 до кота +13,50.



Фотос 2.4. Поглед отблизо към металната носеща конструкция и антенните системи на ДМРЛ „Варна“

Главните елементи на кулата са от горещо валцувани стоманени профили. Колоните и диагоналите ѝ са съставени от по 2 бр. L-профила, а за хоризонталните платформи са ползвани основно 2Т-греди в две взаимно перпендикулярни посоки. Връзките между отделните елементи са осъществени със заварки и монтажни болтове

3. Методика и техника на проведените обследвания

3.1. Обхват на обследванията

Изхождайки от главната цел на настоящите обследвания, да се установят действителното състояние на носещите елементи на стоманените кули, състоянието и реалните физико-механични характеристики на вложените бетони и конструкционни стомани, въз основа на които да се извършат необходимите анализи за актуалната им носеща способност, се възприе да се извършат следните основни дейности:

(1) Подробно геометрично заснемане на елементите и кулите като цяло и на тяхната вертикалност, а за кулите на ДМРЛ и проверка на хоризонталността на площадките за монтаж на антени и радоми;

(2) Диагностика на елементите и връзките – ултразвуково определяне на нетни дебелини и степен на корозия, изправност на съединенията;

(3) Безразрушителен контрол на заварки – визуален, ултразвуков, радиационен и др.;

(4) Безразрушителни изпитвания на елементи на кулата за окачествяване на метала според действащите БДС и норми.

(5) Оценка на състоянието и изправността на задвижващите механизми – лебедки въжета, макари и др. (за кулите на NDB) и на усилията в обтегачите на NDB “WAK”.

(6) Заснемане на видимите части на фундаментите и на евентуални признаци за слягания, NDT контрол на якостта на бетона плюс карбонизация и диагностика на армировката, вкл. определяне на потенциала за корозия;

(7) Компютърно моделиране и статико-оразмерителни проверки за носеща способност и експлоатационна годност на кулата, с отчитане на установеното ѝ действително състояние, вложени материали и бъдещото очаквано експлоатационно натоварване.

(8) Становище за състоянието и изправността на стъпалата и парапетите на стълбите;

(9) Заключение и препоръки за по-нататъшната експлоатация, саниране, усилване и/или подновяване на носещите конструкции.

Изброените по-горе дейности, приложени комплексно, гарантират достоверността на резултатите за оценка на състоянието и за окачествяване на вложените материали и изпълнението на отделните елементи и връзки на изследваните носещи конструкции.

3.2. Методи и техника

3.2.1. Визуални огледи и инспекция за проявени дефекти и повреди

Те са извършвани предимно пряко визуално, с възможен достъп до съответните елементи и части на конструкциите на кулите и съпътстващите елементи (стълби и парапети), като са използвани и фотокамери (фотоси 2.1, 2.3, 2.4 и др.).

3.2.2. Геометрично заснемане на кулите и на тяхната вертикалност

Общите геометрични размери на кулите и на достъпните им елементи (фундаменти, или опорни ст.б. и стоманени колони, хоризонтални и диагонални пръти) са заснемани с механична и електронна рулетка с точности $\pm 1\text{mm}$ и $\pm 0,5\text{mm}$, а напречните им сечения и дебелини – посредством шублер с точност $\pm 0,1\text{mm}$.

Вертикалността на кулите е проверявана с помоща на прецизен теодолит ТНЕО 080А №1009233 на “Carl Zeiss Jena” (фотоси 3.1 и 3.2), стационаран последователно диагонално на две от четирите им стоманени колони. Формираните по този начин перпендикулярни вертикални равнини, минаващи през върховете им, позволяват отклонението на върха на всяка от тях спрямо основата ѝ, да се измери лесно. Тези отклонения са измервани с помоща на рулетка с точност $\pm 1\text{mm}$.



Фотоси 3.1 и 3.2 Измерване на вертикалността на кулите на NDB “BOZ” и ДМРЛ София с теодолит

3.2.3. Безразрушителни изпитвания на бетона чрез повърхностната твърдост

Те се провеждаха с механичен твърдомер на "Schmidt", в пълно съответствие с изискванията на стандарта [2]. Изпитвани бяха по около 15 бр. места (серии) от откритите (без замазки и изолации) части на фундаментите и/или другите бетонни и ст.б. конструкции на всяка от кулите (фотос 3.3). При математическата им обработка и анализ са използвани установените от предходни комбинирани изпитвания на подобни стоманобетонни елементи (чрез изрязване на сондажни ядки и чрез големината на отскока) съответни „коэффициенти на съгласуване“.



Фотоси 3.3. и 3.4 БК на якостта (ляво) и карбонизацията (дясно) на бетона във фундаменти на NDB

3.2.4. Изследване на карбонизацията на бетона

Дълбочината на карбонизация на бетона в стоманобетонните елементи е изследвана чрез съвременно третиране на пряно откъртени парчета от бетона, посредством 1% разтвор на фенолфталеин в спирт, съгласно стандарта [4]. При това положение липсата на оцветяване показва дълбочината на неутрализиране на течната фаза на бетона със стойност на $pH \leq 10,8$ под която стойност бетонът не е в състояние да защитава армировката от корозия (фотос 3.4).



Фотоси 3.5. и 3.6 изследване на потенциала на бетона за корозия на армиравката във фундаменти на NDB "DWN" (ляво) и NDB "WAK" (дясно)

3.2.5. Изследване на потенциала за корозия на армировката

Потенциалът за корозия на армировката на същите елементи е определян чрез измерване с анализатор за корозия *CANIN+* на швейцарската фирма *Proceq*. Корозията на армировката в бетона е електрохимически процес. Той възпроизвежда електрическа проводимост, базирана на разликите между електрическите потенциали. Тези разлики се определят чрез поставяне на полупроводник на повърхността на бетона (в случая медно-сулфатен) и измерване на потенциалната разлика между него и армировъчната стомана с високочувствителен волтметър. Прието е, че ако измереният потенциал с такъв вид полупроводник е по-малък от $-0,35$ волта (-350mV), вероятността за поява на корозия на армировката е над 90% [7]. Такова изследване е провеждано на всички характерни ст.б. елементи на кулите – фундаменти, колони и др., които са без замазки и изолации (фотоси 3.5 и 3.6).

3.2.6. Диагностика на армировката в ст.б.плочи и колони на ДМРЛ

Провеждана е с помощта на електромагнитен сканиращ апарат *Ferroskan FS200* на *Hilti Corporation* (фотос 3.7). Направените скенерни снимки са обработвани допълнително със специализиран *PS200 Software*, за да се получат необходимите данни за вида, диаметъра, бетонното покритие и разположението на армировката. Сканирани са също характерни фундаменти и др. елементи на кулите.



Фотоси 3.7 и 3.8 Диагностика на армировка (ляво) и изследване корозия на конструкционната стомана

3.2.7. Изследване на корозията на конструкционната стомана

Тя е определяна косвено, чрез измерване на нетната дебелина на стоманените профили и тръбни елементи. Измерванията са проведени с ултразвуков дебеломер, модел DM1 на германската фирма *Krautkramer* с точност $0,1\text{mm}$ (фотос 3.8). Изследвани са по няколко от най-тежко натоварените елементи на кулите. Всяко сечение е изследвано най-малко в по 2 бр. участъка (места), във всеки от които са провеждани поне по 5 бр. измервания. Степента на корозия в % на изследваните елементи е определяна като съотношение на разликите между установените нетни дебелини и номиналните по проект към номиналните, които съотношения са и допълнително статистически обработвани.

3.2.8. БК на конструкционната стомана чрез повърхностната твърдост

За целта е използван интегрираният портативен електронен твърдомер за метали *Vambino 2* от серията *EQUOTIP* на швейцарската фирма *Proceq*. Това по-скоро е динамичен тест, при който удрящото тяло с твърд метален изпитващ връх се задвижва от силата на пружина срещу повърхността на изпитваната част. Когато ударникът срещне повърхността се получава деформация, причиняваща загуба на кинетична енергия. Тази загуба се изчислява чрез измервания на скоростта когато ударникът е на точно определено еднакво разстояние от повърхността и за двете фази на изпитването – удар и отскок. Така е извършено директно измерване на твърдостта на стоманата в достатъчен брой прътите на всяка от кулите, в същите елементи, както в т.3.2.7 (фотос 3.9), както и на някои от опорните плочи. За контрол паралелно са проведени тестове и със значително по-сигурният, но неудобен за работа механичен твърдомерен апарат *HPS* или уред на Франк-Бауман (фотос 3.10), който работи на принципа на пластичния отпечатък. Електронният твърдомер е приложен допълнително в лабораторни условия и върху еталонния образец на твърдомера *HPS*, който е с добре позната твърдост и якост.



Фотоси 3.9 и 3.10 БК на якостта на конструкционната стомана с твърдомерни апарати – електронен (ляво) и механичен (дясно)

3.2.9. Определяне на усилията в обтегачите на тръбните мачти на *NDB “WAK”*

То се извърши с помощта на специален динамометър за струни (фотоси 3.7 и 3.8) с разстояние между опорите (база на уреда) 250mm и вграден в него динамометричен пръстен. С помощта на два часовникови индикатора, за всеки от изследваните обтегачи са измервани едновременно: напречното отклонение δ (mm) на стоманеното въже в средата на базата (мястото на прилаганата напречна сила) и стойността на силата в N. Последната е определяна въз основа на установеното при тариране на пръстена съответствие: взаимно преместване на диаметрално противоположните точки в размер на 0,01mm = сила със стойност 4,64N.



Фотоси 3.11 и 3.12 Определяне на усилия в стоманените обтегачи с динамометър за струни

3.2.10. Безразрушителни изпитвания на заваръчните съединения

Те се провеждаха от специализираните органи за контрол, както следва:

(1) „Мултитест“ ООД-Варна, с лаборатория за изпитване и сертификат за акредитация, рег. №13 ЛИ, издаден от ИА БСА, съгласно изискванията на стандарта БДС EN ISO/IEC 17020:2012 – за елементите и връзките на ДМРЛ Варна. Изхождайки от вида на заваръчните шевове, само ъглови със сравнително малки дължини и катети, се приложи най-подходящият за целта метод „Магнитно прахово изпитване“, с което се индикират повърхностни и подповърхностни нецялостности. Прилагането на радиографични методи в конкретния случай беше нецелесъобразно, поради техническата невъзможност за закрепване на филмовите плаки на срещуположните страни на ъгловите заваръчни шевове.



Фотос 3.13 и 3.14 Подготовка (ляво) и „магнитно-прахов“ контрол на ъглови заварки на ДМРЛ Варна

Предварително набелязаните заваръчни шевове бяха добре изшлайфани (фотос 3.13), за да се нанесе върху тях бялата контрастна боя/емулсия *MAGNAVIS WCP-2*. Изпитването се проведе с електромагнитен дефектокоп *ES-X Flex Ferrous probe* производство на *Electro-Spect testing Systems, Inc USA, No 9835*, с използване на магнитна суспензия *NRS 103 Spray Helling* (фотос 3.14). Извършеният контрол за наличие, вид, големина и местоположение на индикации от несъвършенства, е съобразен с изискванията за приемане според стандарта БДС EN ISO 23278:2015, ниво 2X, на което съответстват конструкции и съоръжения от разглежданата категория. Контролирани са в 12 бр. ъглови заваръчни съединения, в сечения и възли близки до подбраните за изследване на якостта и дебелината на стоманените пръти;

(2) „НДТ“ ООД София със сертификат за акредитация рег. №46 ОКА, издаден от ИА БСА, съгласно изискванията на стандарта БДС EN ISO/IEC 17020:2012 – за конструкциите на ДМРЛ София. Предвид многообразието на заваръчните шевове: ъглови, челни надлъжни и челни напречни, се приложиха и други подходящите за целта методи: „Визуален“, „Рентгено-графичен“ и „Магнитно прахов“.

Визуален контрол чрез непосредствено наблюдение с помощта на лупа, шублер и рулетка, е извършен на всички набелязани ъглови заварки в опорните възли на колони А1 (фотос 3.9), А2 и диагонали D1 и D4, на надлъжните челни заварки на колони А1, А3 и D1, и на напречните челни на D1;

Рентгенографичен контрол е извършен само на челните заварки, където технически е възможно закрепването на филмовите плаки. С него много точно се установяват вида, големината и местоположението на индикации от несъвършенства, с цел определяне на съответствието с изискванията за приемане според стандарта БДС EN ISO 5817:2014 [8], ниво В, на което съответстват конструкции и съоръжения от разглежданата категория. Контролирани са в 3 бр. места: две в допълнително ръчно заваряван дефектирал заводски шев на надлъжна челна заварка в една от вертикалните колони (фотос 3.15) и на напречната челна заварка на тръбата на един от диагоналите (фотос 3.16). Изследването е проведено с Ro дефектоскоп ХХН-1605 и рентгенов филм С3 по БДС EN ISO 11699-1:2011 (фотоси 3.15 и 3.16);



Фотос 3.15 и 3.16 Рентгенографски БК на челни заварки на ДМРЛ София

Магнитно прахов контрол се проведе на рентгенографски изследваните челни заварки и на ъгловите заваръчни шевове на съединението между споменатите по-горе диагонал и колона. Предварително върху набелязаните заваръчни шевове (след почистване), е нанесена бяла контрастна боя/емулсия *Hansa-Nord 104A*. Изпитването се проведе с електромагнитен дефектоскоп *Magnaflux Y6, No 4133*, с използване на

магнитна суспензия *Hansa-Nord NRS 103* (фотоси 3.17 и 3.18). Извършеният МП контрол за наличие, вид, големина и местоположение на индикации от несъвършенства е съобразен с изискванията за приемане според стандарта БДС EN ISO 23278:2015, ниво 2X, на което съответстват конструкции и съоръжения от разглежданата категория;



Фотос 3.17 и 3.18 БК на ъгли и челни заварки в дигонали и вертикали от стоманената кула на ДМРЛ София с „магнитно-прахов“ метод

(3) „Контрол“ ООД Хасково със сертификат за акредитация, рег. №44 ОКА от 05.10.2018г., издаден от ИА БСА, съгласно изискванията на стандарта БДС EN ISO/IEC 17020:2012 – за тръбните кули а NDB “WAK”. Извършен е радиографичен контрол за наличие, вид, големина и местоположение на индикации от несъвършенства, с цел определяне на съответствието с изискванията за приемане според стандарта БДС EN ISO 5817:2014 [8], ниво В, на което съответстват конструкции и съоръжения от разглежданата категория.



Фотоси 3.19 и 3.20 Филмова плака и гамадефектоскоп “GAMMA-MAT” R30, използвани при радиографичния контрол на спираловидните челни заваръчни шевове на тръбните кули

Контролирани са в 9 бр. места (по 3 бр. на тръбна мачта) заводски изпълнените спираловидни заваръчни съединения, в сечения съвпадащи с подобранията за изследване на якостта и дебелината на стоманените тръби (фотос 3.19). Изследването е проведено с Гамадефектоскоп "GAMMA-MAT" R30 (фотос 3.20), идент. №095; промишлен негатоскоп "KOWOLUX" M1 (фотос 3.19), №134040012026; денситометър "PDA-85", идент. №588059; денситометричен клин, идент. №7927071 и ролетка до 5m, идент. №ZL98306986.7.

3.2.11. Измервания за хоризонталност на площадките на ДМРЛ

Измерването се провежда с електронна либела на фирмата BOCH, с точност на измерване 0,05°. Контролирана беше хоризонталността, както на площадките на основните нива на двете кули (+11,25m и 13,50m на ДМРЛ Варна и +24,00m и 28,00m на ДМРЛ София), но главно на опорните рами и горните части („темета“) на носачите на антените в радомите на двете кули (фотоси 3.20 и 3.21).



Фотоси 3.20 и 3.21 Контрол на хоризонталността на рамата и „темето“ на носача на антената на ДМРЛ София и ДМРЛ Варна

4. Изводи и заключения

Въз основа на извършените прегледи и анализи на възприетите и приложени методи и техники за безразрушителни изпитвания и диагностики при обследването на тези не малко на брой стоманени кули за NDB и ДМРЛ системи, могат да се направят следните основни изводи:

4.1. Установени са достоверно актуалното техническо състояние: налични дефекти – видими и скрити, вида и действителните физико-механични свойства на вложените материали и потенциала за тяхното износване, въз основа на които след извършени изчислителни проверки и сравнения, са изяснени условията и възможностите и са взети адекватни решения за реализиране на предстоящата модернизация на тези важни за въздухоплаването у нас системи, използвани от Ръководство на въздушното движение (РВД), реализацията на които вече е факт или в процес на изпълнение.

4.2. За повишаване на надеждността на резултатите са приложени комбинации от различни методи и техники, като са спазвани следните препоръки, критично осмислени [8, 9, 10] и потвърдени от практиката:

- Измерваните величини да характеризират различни свойства на вложените материали или да зависят от различни техни показатели, например при бетона: от еластичните и пластичните му свойства, от неговата влажност и др.;

- Да се контролират с различни методи едни и същи характеристики, когато същите трябва да се определят с особено висока точност;
- За измерване е целесъобразно да се използва техника за БК и диагностика, която позволява да се определят едновременно няколко параметъра, съответстващи на различни свойства на вложените материали.

4.3. Тъй като комбинирането на различните методи за БК значително повишава употребеното време за изпитванията и стойността им, е необходимо още в началото да се прецени доколко е оправдано увеличаването на тези загуби, за да се получи частично подобряване на точността при оценката на свойствата на вложените материали и качеството на изпълнение на подобен вид елементи и конструкции.

5. Литература

1. *БДС EN 206-1/NA:2017*. Бетон. Част 1: Спецификация, свойства, производство и съответствие. Национално приложение на БДС EN 206-1/NA:2015.
2. *БДС EN 12504-2:2005*. Изпитване на бетон в конструкции. Част 2: Изпитване без разрушаване. Определяне на големината на отскока.
3. *БДС EN 13791:2007/NA:2011*. Оценяване на якостта на натиск на бетона на място в конструкции и готови бетонни елементи (NA към БДС EN 13791:2007).
4. *БДС EN 14630:2007*. Продукти и системи за предпазване и възстановяване на бетонни конструкции. Методи за изпитване. Определяне на дълбочината на карбонизация на втвърден бетон чрез фенолфталеинов метод;
5. *БДС EN ISO 6520-1:2007*. Заваряване и сродни процеси. Класификация на геометричните несъвършенства в метални материали. Част 1: Заваряване чрез стопяване (ISO 6520-1:2007).
6. *БДС EN ISO 5817:2014*. Заваряване. Заваряване чрез стопяване на съединения от стомана, никел, титан и техните сплави (с изключение на лъчево заваряване). Нива на качество според несъвършенствата (ISO 5817:2014).
7. *ASTM C876-99*. Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete.
8. *Димов, Д.* Безразрушителни изпитвания на строителни конструкции, Дайрект Сървисиз, София, 2011
9. *Димов Д.* Обследване и изпитване на строителни конструкции и мостове, УАСГ, София, 2006, 2010, 2016.
10. *Димов Д.* Състояние на безразрушителния контрол на строителните конструкции в България. Научни известия на НТСМ (ISSN 1310-3946), Година XX, брой 1(130), 2012.