

ISSN 1312-4897

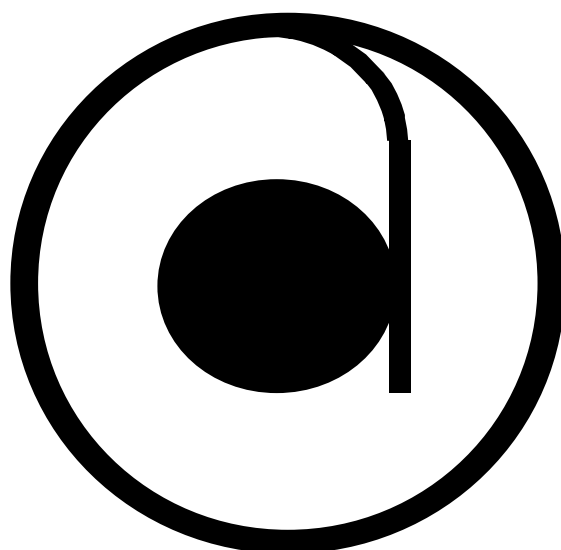
АКУСТИКА

*Съюз по електроника, електротехника и съобщения
Национална секция по акустика,
БАОКУШ, ИМех – БАН, ТУ - Варна*

Година IX

□ Брой 14

Декември 2012 год.



НАЦИОНАЛНА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКА КОНФЕРЕНЦИЯ

АКУСТИКА 2012

**12-13.10.2012 г.
Варна**

**07-08.12.2012 г.
София**

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2012”	Варна 12 - 13.10.2012 г. София 07 - 08.12.2012 г.
Година XIV	□ Брой 14	Декември 2012 г.

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА БЪРЗА ОЦЕНКА НА ПАРАМЕТРИ НА КАЧЕСТВОТО НА МАШИНИ ЕЛЕМЕНТИ ЧРЕЗ АКУСТИКО-РЕЗОНАНСНИЯ МЕТОД ЗА БЕЗРАЗРУШИТЕЛНА ОЦЕНКА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧНИ ВЕЛИЧИНИ

Иван Коларов, Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”
ул. „Гео Милев” № 158, 1574, София.

1. Въведение

Акустико-резонансния метод се основава на теорията за възникване на акустически резонанс в тела и е перспективен безразрушителен метод за бърза оценка на състоянието и качеството на машинни елементи от различни сектори на индустрията. Чрез този метод с успех се диагностират наличието на пукнатини, неметални и окисни включвания, окиси, пористост, а така също и оценка на твърдостта на ковани, лети и спечени прахометалургични машинни елементи [1]. В последните години методът се развива чрез помощта на съвременни измервателни средства и технологии за теоретично и експериментално определяне на резонансни честоти на детайли и създаване на критерии за оценка на техническото състояние на машинните елементи [2], [3]. Акустико-резонансния метод подлежи и на автоматизация чрез разработване на поточни линии за контрол, управлявани по цифров път. По данни в [3] методът е приложен за диагностика на изковки за автомобилната индустрия с параметри за оценка: 100% надеждност за установяване на дефекти в некачествено изработени детайли и надеждност 97.39% за окачествяване на качествените заготовки като такива. Налице са данни и за реализиране на метода чрез обикновен лаптоп с микрофон.

Цел на настоящата работа е да разгледа възможностите на акустико-резонансния метод за бърза безразрушителна оценка на параметри на качеството на машинни елементи, като наличие на пукнатини и плътност на материала, геометрична точност и др.

2. Теоретични основи на акустико-резонансния метод за безразрушителен контрол

За обосноваване на явлениято резонанс се разглежда движението на единична маса с една степен на свобода и с големина m под въздействието на външна сила F (фиг. 1 а). Допълнително върху масата въздействат еластичност с коравина c и демпфер с коефициент на затихване β .

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + \beta \frac{dx}{dt} + c \cdot x - F = 0 \quad (1)$$

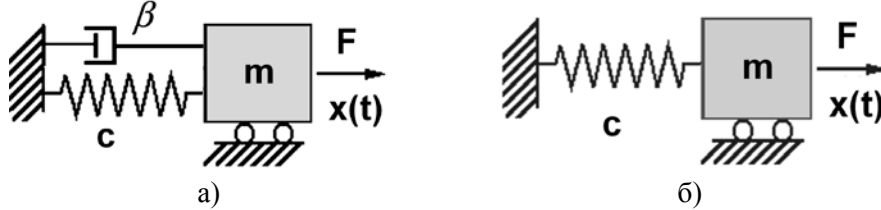
Стойностите на коефициента β за метали е $\beta \leq 0.01$, а при наличие на триене в съединения, вкл. в контактен слой - $\beta > 0.01$. При много малки стойности т.е. $\beta \rightarrow 0$ (фиг. 1 б), решението на това уравнение е:

$$\omega = \sqrt{\frac{c}{m}}, \text{ rad / s.} \quad (2)$$

Решението на това уравнение намира приложение в машиностроенето при определяне на критична честота на въртене на вал с една или повече окачени маси [4].

Въпреки използвания опростен модел, от (1) могат да се направи извода: Резонансната честота се определя чрез големината на масата (включваща обема V и плътността ρ на материала) и от коравината (в т.ч. модулът на линейна еластичност E и параметри на напречното сечение). Чрез

разширяване на концепцията за трептящата система с една степен на свобода до система с повече степени на свободи се достига до извода, че модите на резонанс в средата зависят от вида на деформация на детайла. На практика това означава, че наличието на пукнатина в детайла ще доведе до намаляване на коравината му, съответно на резонансната честота в мода от деформация с преобладаващо направление перпендикулярно на деформацията. Наличието на пористост води до намаляване на масата, но и същевременно намаляване и на коравината на детайла. Това е причина да се очаква нееднопосочна промяна на резонансните честоти.



Фиг. 1. Схема на едномасова трептяща система; а) – с демпфер; б) - без демпфер

Резонансът в твърдо тяло се описва на базата на естествените форми ϕ_i , възприемани от него при различни честоти на трептене [5]. Естествените резонансни честоти ω_i , където $i=1,2...n$ се описват чрез акустически зависимости, като се имат предвид физическите параметри на тялото и модата на деформация. Деформацията е причина за възникване на надлъжни и напречни вълни, разпространяващи се в тялото добре установени скорости [6]. При наличие на вътрешни разслоения, кухини и композитни структури може да се очаква част от енергията на надлъжната и на напречната вълни да поразят други вълни – повърхностна вълна на Релей и вълна на Стоунли и др.

Скоростите c_l c_s на надлъжната и на напречната вълна се определят от:

$$c_l = \sqrt{\frac{E \cdot (1 - \nu)}{\rho \cdot (1 - \nu - 2 \cdot \nu^2)}}, \quad c_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (3)$$

където ν е коефициент на Поасон, E - модул на Юнг, а G - модул на усукване.

При наличие на пористост P в материала се променя плътността на ρ еластичната среда до стойност ρ_p . Това е причина за изменение на модулите E и G и на коефициента ν до нови стойности E_p , G_p и ν_p . При изследване на тези параметри в [6 и 7] при пористи правохо-металургични феромагнитни материали са установени значителни разсейвания, вкл. от температурата на спичане на

материалите. Чрез обобщение са получени зависимости от вида $E_p = E \cdot \left(0,714 - 0,014 \cdot \frac{\rho_p}{\rho} \right)$ и

$\nu_p = \nu \cdot (1 - 0,0003 \cdot P)$ [6], а така също и апроксимацията $E_p = E \cdot \left(1 - \frac{P}{2} \right)^{2,5}$ [7]. Модулът на усукване се

получава от зависимостта $G_p = \frac{E_p}{2 \cdot (\nu_p + 1)}$. Движението на частиците на детайла с амплитуда ζ поразда

звукова вълна с налягане p с големина:

$$p = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \rho_m \cdot \zeta \cdot c_i^2 \quad (4)$$

където f е честота на звука, c_i е скоростта на надлъжната или напречната вълна в средата. Големината на звуковото налягане p намалява с отдалечаване от източника по зависимостта $p \propto 1/r$ (r е разстояние до източника). В практиката звуковото налягане p се оценява чрез сравнение с друг еталонен сигнал по логаритмична скала и се измерва в dB:

$$L = 20 \cdot \log \left(\frac{p_e}{p} \right), \quad (5)$$

където p_e е звуково налягане на еталона.

Динамичното поведение на тяло с повече от една степени на свобода се определя от система уравнения, включващи вече описаните параметри. На базата на тази система се създава матрици от уравнения във вида:

$$[m]\left\{\frac{d^2u}{dt^2}\right\} + [\beta]\left\{\frac{du}{dt}\right\} + [c]\{u\} - F = 0, \quad (6)$$

където $[m]$, $[\beta]$ и $[c]$ са матрици на масата, демпфирането и коравината, $\left\{\frac{d^2u}{dt^2}\right\}$, $\left\{\frac{du}{dt}\right\}$ и $\{u\}$ са,

съответно, векторът на ускорението, на скоростта и на преместването, а F е натоварването във времето t . Практическо решение за стойностите на резонансните честоти на метален детайл с успех се получава чрез приложение на метода на крайните елементи и с помощта на съвременни софтуерни продукти [2, 5]. За целта детайла се разделя на крайни елементи и се провежда линейно динамично натоварване на всеки елемент при отсъствие на външно механично натоварване. Изследва се приноса на всеки елемент към поведението на общата динамична система от елементи, образуваща детайла и се определят честотните моди в съответствие физическите параметри на детайла. На базата на геометрични размери и физически параметри се симулира и влиянието на възможни дефекти с конкретни големина и местоположение в детайлите чрез промяна на резонансните моди. Това позволява да се предвидят необходимите средства за измерване и класифициране на критериите за оценка.

3. Описание на симулационни и експериментални изследвания

В настоящата работа е изследвано приложението на акустико-резонансния метод са изследвани типични машинни елементи (дебелостенна втулка, тънкостенно зъбно колело от трансмисия на лек автомобил, ротационен фланец и пружина) с различна геометрия и приложение. Елементите са моделирани в 3D средата на SolidEdge с геометрични параметри, съответстващи на реални обекти и транслирани за динамично изследване и оценка на резонансните честоти с помощта на софтуер за FEM (Solidworks - Cosmos).

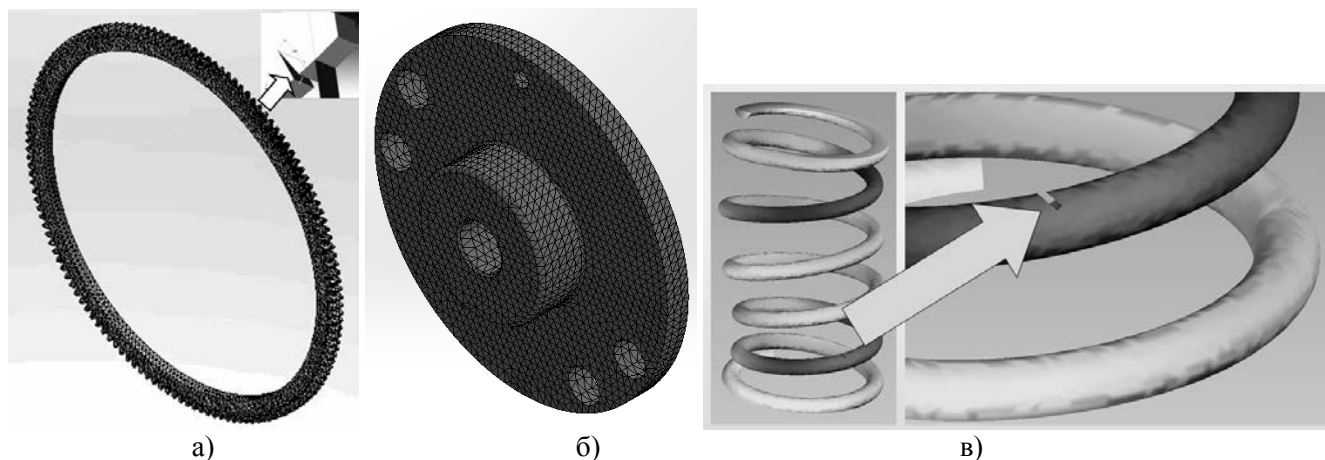
Изследвани са резонансни явления в машинни елементи с различна сложност:

- зъбно колело от трансмисия на лек автомобил с основни параметри: модул 2 mm; ширина и дебелина на зъбния венец – 8x10 mm; брой на зъбите – 136 бр.; прави зъби; разделено на 62595 елемента, а броят на възлите е 106056; като вариант в областта на преходната крива по цялата дължина на зъб от зъбното колело е моделирана пукнатина с дълбочина 2,43 mm в типично направление на развитие на пукнатина в практиката;
- пружина от окачване на вагон с геометрични параметри: брой работни навивки – 4,6 бр.; общ брой опорни навивки - 1,5 бр.; стъпка на работния брой навивки – 30 mm; диаметър на тела – 9,5 mm; среден диаметър на пружината – 80 mm; височина на пружината – 147,5 mm; като вариант – в пружината е моделирана пукнатина;
- фланец, състоящ се от две слепени цилиндрични тела, съответно, с диаметри 140 и 60 mm, височина 10 и 20 mm и централен отвор с диаметър 20 mm, изработен от ниско въглеродна стомана с физически свойства, описани в табл. 1.; фланецът е разделен чрез ситна мрежа на 8117 елемента с максимален размер 5.7852 mm и минимален размер 0.28926 mm. Броят на възлите е 13589. Елементите с минимален размер са разположени автоматично около зоните с промяна на геометрията.

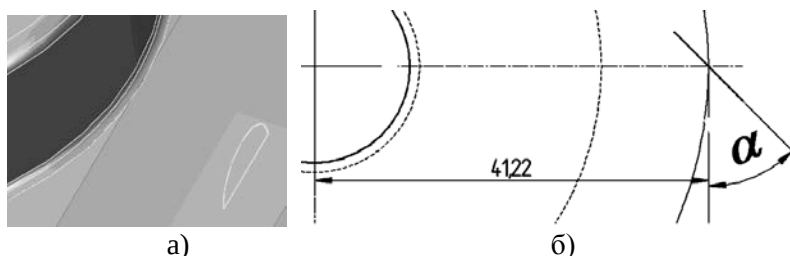
В 3D моделите на пружината, зъбното колело и фланеца са моделирани типични дефекти, получавани в практиката в резултат физическа амортизация в процеса на експлоатация или вследствие на технологични причини. В пружината е моделирана пукнатина в направление на напреженията на срязване, а във фланеца - пукнатини с различна ориентация, нецялостности и пористост. Моделираната във фланеца пукнатина е повърхностна и получена от кръгов сектор с централен ъгъл 180° и с радиуси от 1 до 5 mm (с максимален размер от 2 до 10 mm), изтеглен на дебелина 0.01 mm (фиг. 3). Пукнатината с радиус 5 mm е повърхностна, а другите – подповърхностни. Разположението на пукнатините и кухините във фланеца са в равнина, отдалечена на средно разстояние 41 mm от оста на ротация и ориентация $\alpha = 0^\circ; 45^\circ$ и 90° . Същата пукнатина е при $\alpha = 0^\circ$ е моделирана като повърхностна във цилиндричната

част на фланеца с диаметър 60 mm. Изследвано е влиянието на точността на геометричните размери на фланеца върху честотата на модите. Моделирани са варианти, при които диаметърът 140 mm е последователно заменен с 141, 143 и 138 mm.

Моделите за симулиране са показани на фиг. 2. Максималният обем на получените файлове е в рамките на 11 GB, а времето за провеждане на една симулация е в рамките на 5 – 180 min.



Фиг. 2. Изследвани машинни елементи в процес на обработка; а) – зъбно колело; б) – фланец; в) – пружина.



Фиг. 3. Процес на моделиране на пукнатина във фланеца, α е ъгъл между пукнатината и тангентата към концентрична на фланеца окръжност, минаваща през пукнатината.

Табл. 1. Механични характеристики на стомана за моделиране на фланеца.

E, MPa	ν	G, MPa	ρ , kg/m^3	σ_B MPa	σ_S , MPa
205000	0.29	80000	7858	425	282.7
Забележка: σ_B и σ_S са граница на якост и на провлачване на стоманата					

За оценка на качеството на физикомеханичните свойства са изследвани локални във фланеца резонансни явления в ограничена част от детайла. Симулирано е динамично натоварване чрез широколентов генератор на синусоидално изменяща пулсираща сила в честотния диапазон 7000 – 100000 Hz и с големина 10N. Изследвани са преместванията в плоския участък на фланеца в зависимост от честотата по направлението на приложената сила в на фланец с отклонение на плътността на материала и при наличие на пукнатина.

Получени са резултати от експериментални изследвания на резонансни честоти с реални образци. Образците са окачвани на гъвкава нишка и в тях е възбуден механичен импулс посредством чук с много висока резонансна честота. Излъчените от детайлите звукови вълни са записвани с лабораторен микрофон на фирма Vernier с диапазон на регистрация от 20 Hz до 16 kHz, монтиран към 12 bit модул SIM 2 за компютърна регистрация на физико-механични величини и с микрофон, вграден в лаптоп. Част от оборудването и изследваните машинни елементи е показано на фиг. 5. По време на записа микрофоните са поставяни на разстояние от 300 – 400 mm. Честота на дискретизация на записа се задава в специализиран софтуерен модул e-ProLab и е в рамките на 20 kHz. Всеки цифров експеримент е

документиран чрез 14000 записа. Направен е анализ на точността на цифровия запис на амплитудата на звука и е установено, че тя е по-точно измерена до честоти 1500 – 2000 Hz, а над тази граница са налице известни грешки в резултат на отклонения в амплитудите. Резултати са честотно анализирани по метода на Фурие, като е получен честотния спектър чрез математическа обработка по метода на Hamming.

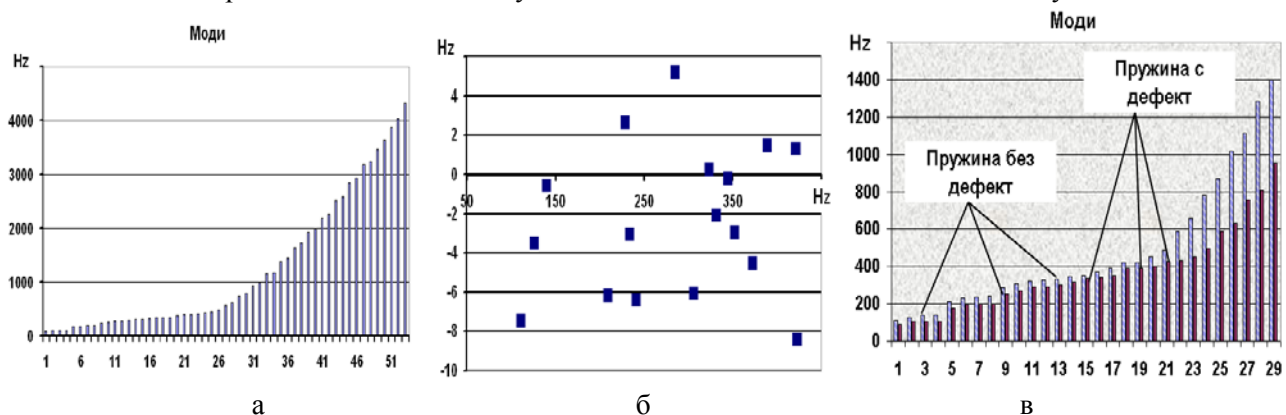


Фиг. 4. Част от оборудването за експериментално изследване.

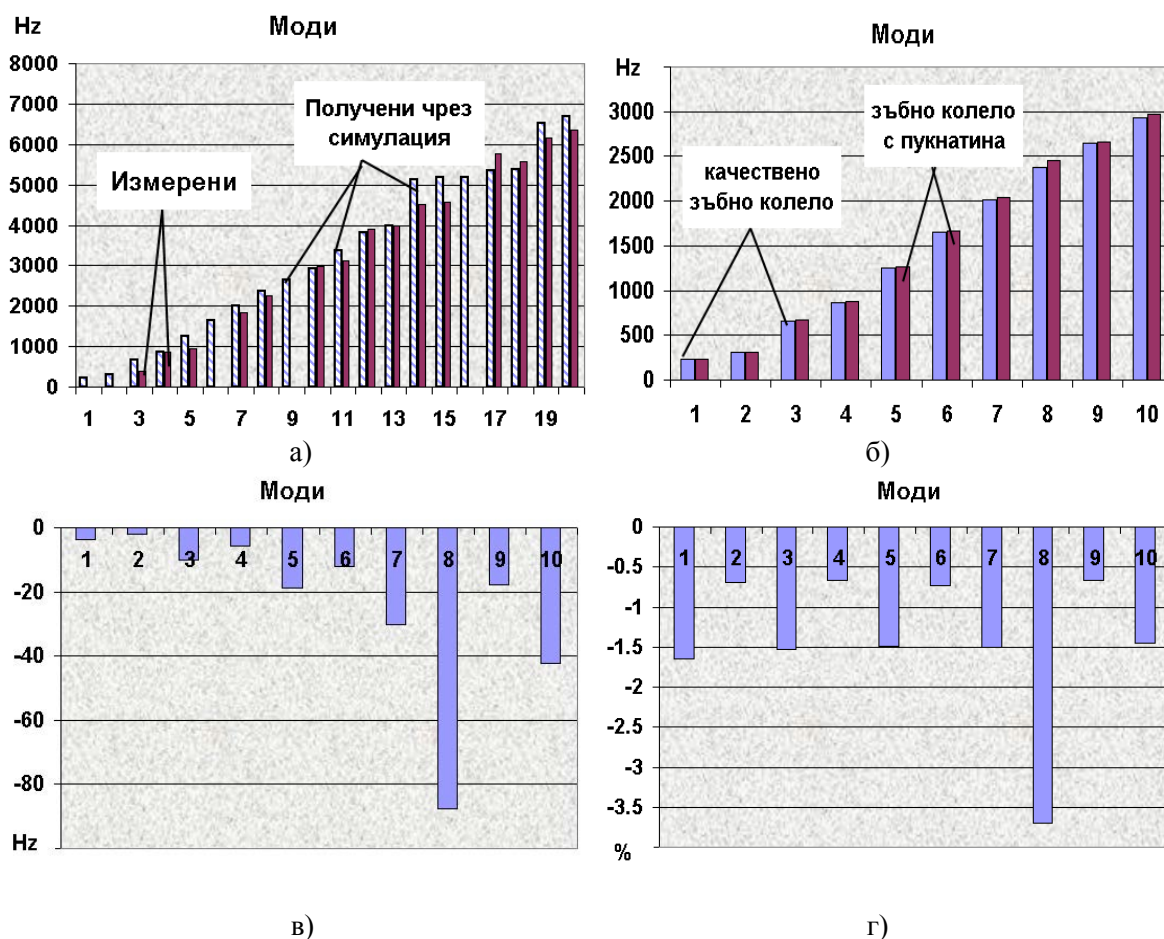
4. Резултати

На фиг. 5 са показани резултати от изследване на пружината. Резултатите от симулацията на резонансни трептения показват наличие на значителен брой близко разположени моди (фиг. 5 а). Честотната разлика между модите е в рамките на 50 – 950 Hz в честотния диапазон 500 – 7000 Hz, а относителната – в рамките на 3 – 16 %. Наблюдава се количествено съвпадение на честотата на измерените моди с тези от симулационните изследвания (фиг. 5 б), но в същото време не всички моди са експериментално установени. Вероятно това се дължи на относително по-малките амплитуди на трептене на частиците на повърхността на пружината при тези моди. Наличието на пукнатина в пружината води до значително изменение на честотите на модите. Показаните на фиг. 5 в резултати могат да се тълкуват с възникването на две, свързани помежду си трептящи системи, като всяка от тях е съставена от тел с различна дължина. Съгласно (2) честотата на трептящите системи се определя от дължината на тела в тях, респективно от местоположението на пукнатината.

На фиг. 6 са показани резултати за част от модите, получени при изследване на зъбното колело. Броят на експериментално определените моди, аналогично на резултатите по-горе, е по-малък от тези, получени чрез симулация. Пукнатината в основата на един зъб е причина за увеличаване на честотите на модите в рамките от 2 до 80 Hz, респективно от 0,7 до 3,7 %. Най-чувствителни се оказват модите 3, 7 и 8. Удачно е да се търси и зависимост между изменение на модите и дълбочината на пукнатината.

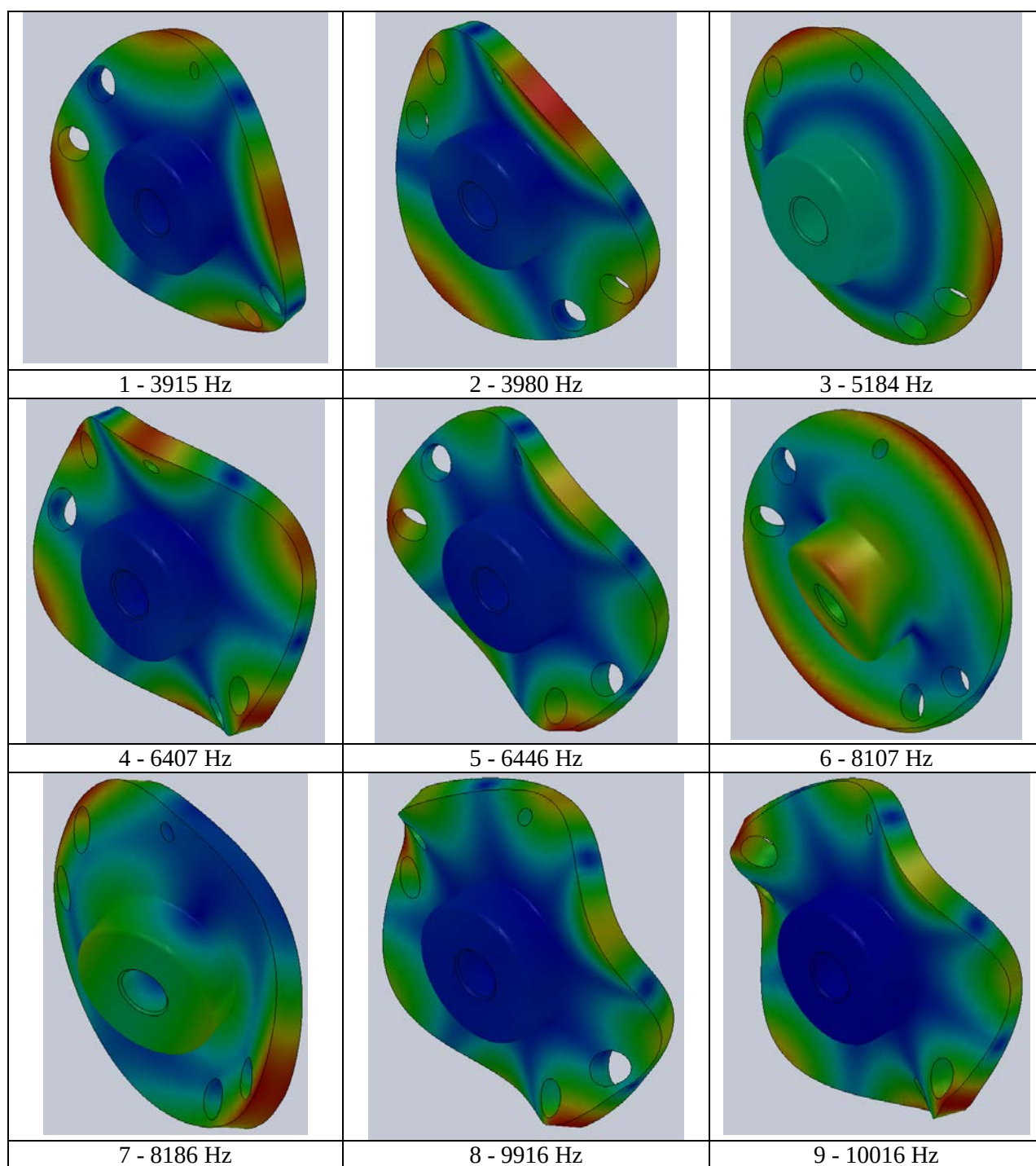


Фиг. 5. Резултати, получени при изследване на пружината; а – получени чрез симулационно определяне на резонансните честоти; б – разлика между някои експериментални и симулационни резултати; в – получени чрез симулационно определяне на резонансните честоти на нормална и дефектна пружина.

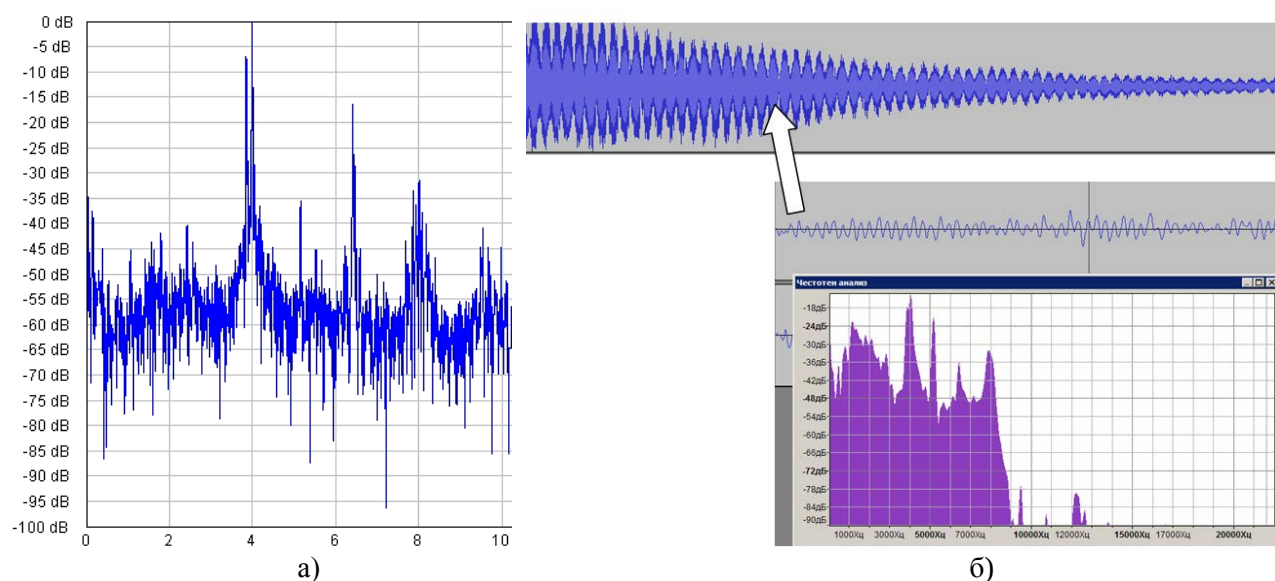


Фиг. 6. Резултати за модите, получени при изследване на зъбното колело; а – експериментално и симулационно получени моди; б – моди на зъбно колело без и с пукнатина в зъб – симулация; в и г – абсолютна и относителна разлика в честотите на модите в зъбно колело без и с пукнатина в зъб;

На фиг. 7 са показани резултати за формите на фланеца, заемани след еластично деформация при различни честотни моди. Чрез симулация на динамичното натоварване са установени девет моди в честотния диапазон до 10016 Hz (фиг. 7), но е установените експериментално чрез цифров и аналогов запис моди са 6 в диапазона до 8107 Hz. Вида на аналоговия запис и амплитудно-честотните анализи са показани на фиг. 8. Стойностите на честотите на модите са показани в табл. 2, а честотната разлика между модите, определени чрез симулационни и експериментални изследвания – в табл. 3. Относителната разлика на честотите е в рамките на 0.01 до 4.3 %. Следователно е налице относително добро съвпадение между резултатите от симулационни и експериментални изследвания. Разликите между честотите се отдават преди всичко на нелинейност на характеристиката на аналоговия запис и на грешки в запис на амплитудата на цифровия запис в областта на високите честоти.



Фиг. 7. Форми на фланеца след еластични деформации при различни честотни моди.



Фиг. 8. Експериментални резултати, получени при изследване на фланеца; а) – амплитудно-честотен анализ на резултати от цифров запис с лабораторна установка; б) – сигнал от запис чрез микрофона на лаптоп и амплитудно-честотен анализ на сигналите.

Табл. 2. Стойности за честотата на модите във фланеца в зависимост от начина на определяне, Hz.

Начин на определяне	Моди								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
FEA	3915,7	3980,6	5184	6407,9	6446,1	8107,9	8186,1	9916,7	10016
Цифров запис с лабораторна установка	3847 3850 3867	4013,7 4011 4023 4062,5 3906 3906 4013	5156,2 5156 5156 5162	6406 6406 6406	6445,1 6435 6474 6445	7969 7968	-	9687 9531	-
Запис чрез микрофона на лаптоп	3875 3891 3866 3887	4050 4044 4041 4037	5188 5190 5182		6472 6504	8000 и др. с близки стойност и 7906 7771	-	-	-

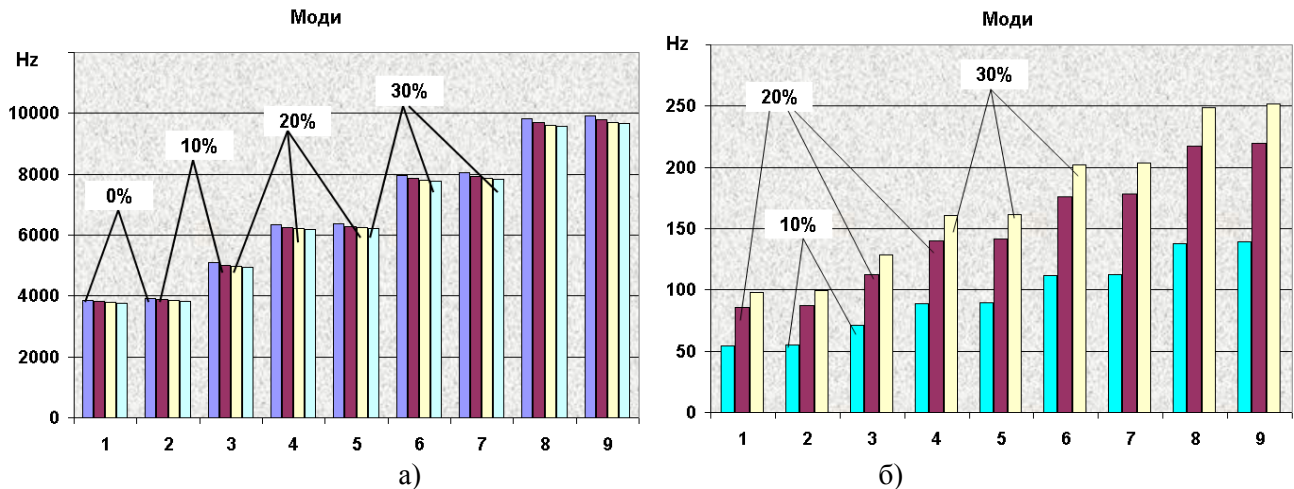
Табл. 3. Разлики за честотата на модите във фланеца по отношение на FEA при различно определяне, Hz.

Начин на определяне	Моди								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Цифров запис с лабораторна установка	68,7 49,7	81 -74	-27 -28	1	-1 -27,9	-107,8 -139,9	-	-229,7 -385,7	-
Запис чрез микрофона на лаптоп	48,7 24,7	69 56	5 -3	-	57,9 25,9	-201,9 -336,9	-	-	-

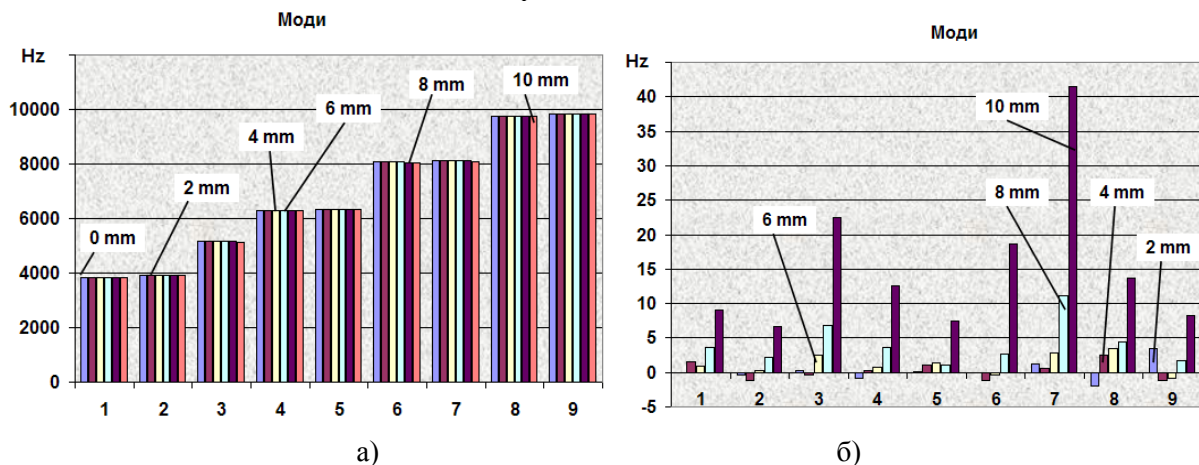
На фиг. 9 – 11 са показани някои резултати за изменение на честотите на модите за фланеца при наличие на пористост на материала и на нецялостности от вида включвания и пукнатини в плоската част на челната му повърхнина. Дефектите са разположени в области с относително малка еластична деформация, заемана при различните моди. Установените отклонения на честотите модите са

минимални и трудно установими в реални условия и причината за това вероятно е малките еластични деформации.

Резултатите от симулационните изследвания показват намаляване на резонансните честоти на модите (фиг. 9). Тези отклонения са в рамките на 1,4 до 2,5%. Това изменение е еднознаково променящо се с увеличаване на пористостта на материала. В същото време са налице и други варианти за изменението на резонансните моди, а причините разсейването на резултатите се дължат освен на температурата на спичане на правохоово-металургичните материали, така и от вида на порите в материала [6,7]. Значително по-малко е изменението на честотите на резонансните моди при наличие на пукнатина с радиуси от 1 до 5 mm в плоския участък на фланеца. Максимални са разликите на честотите на 3, 6 и 7-ма моди. Най-значителни са промените при повърхностно разположената пукнатина, а вътрешни пукнатини с размери по-малки размери от 8 mm трудно могат да бъдат установявани.



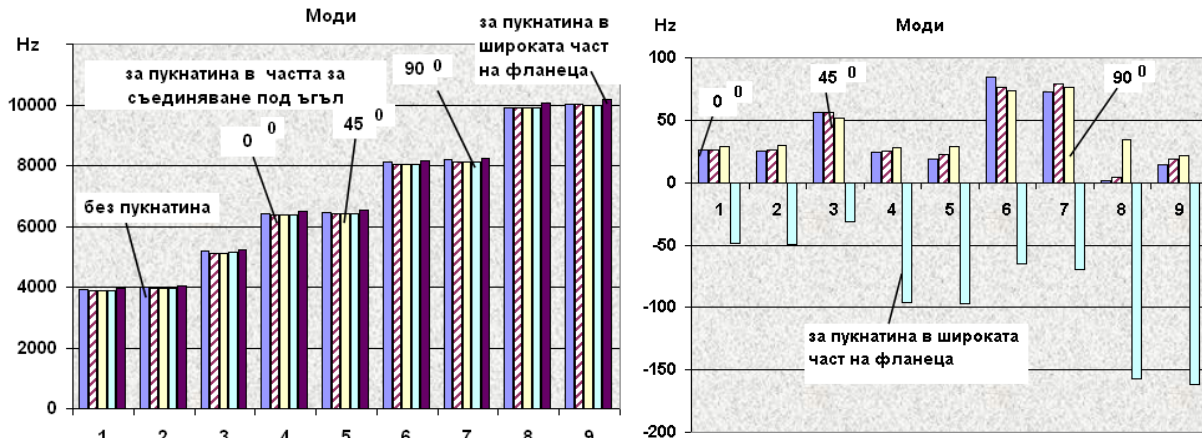
Фиг. 9. Резултати от изследване на влиянието на пористостта върху честотата на модите на фланеца; а) стойности на честотите на модите; б) Разлика между честотите на модите на фланеца с пористос 0% и тези при 10%, 20% и 30%.



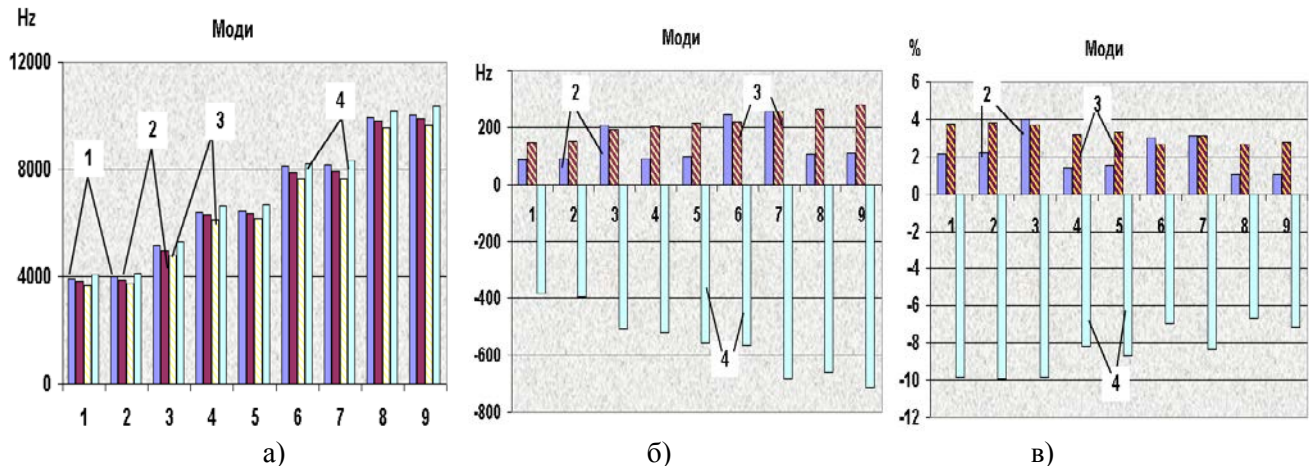
Фиг. 10. Резултати от изследване на влиянието на кухината във фланеца върху честотите на модите; а) стойности на честотите на модите фланеца за кухини с радиус 0, 2, 4, 6, 8 и 10 mm; б) разлика между честотите на модите за фланец с радиус 0 mm и тези с радиус 2, 4, 6, 8 и 10 mm.

На фиг. 11 а) и б) са показани симулационните изследвания на модите по отношение на ориентацията на повърхностната пукнатина с максимален размер 10 mm в плоската част на фланеца. Налице е незначително изменение на честотата на модите. На същата фигура са показани и резултати за резонансните честоти при разположение на повърхностната пукнатина в цилиндричния участък с диаметър 60 mm. Изследванията показват, че съществено влияние върху честотите влияние оказва разположението на пукнатината, а не нейната ориентация. Така например, пукнатината в плоския участък намалява честотите на модите в диапазона до 1% независимо от ориентацията, а същата

пукнатина в другия участък (с диаметър 60 mm) увеличава честотите в диапазона до 1,6%. Причината за тази особеност може да се дължи на относителния дял на всеки участък от елемента и неговите свойства върху общата трептяща система.



Фиг. 11. Резултати от изследване на влиянието на ъгъла на пукнатина и нейното разположение върху честотите на модите (а), и разлика между честотите на модите за фланец без пукнатина и тези за фланец с пукнатина (б).



Фиг. 12. Резултати от изследване на влиянието на отклонение на размерите върху честотите на модите (а), абсолютната (б) и относителна разлика (в).

На фиг. 12 са показани резултати за честотите на модите за фланец с различна точност на изработка на диаметра 140 mm (стойностите за него са показани с 1), като той е последователно заменен с 141 (2), 143 (3) и 138 (4) mm. Наблюдава се непоследователност в изменението на честотите на модите. Така например, увеличението на диаметъра с 1 mm води до увеличение на модите 1, 2, 4 и 5 с около 90 Hz (между 1,3 до 2,2 %), а увеличение с 3 mm – увеличение на модите 1 и 2 с около 150 Hz (около 3,8%), докато модите 4 и 5 се променят с около 207 Hz (3,1 – 3,3 %). Намаляването на размера на 138 mm и причина за намаляване на модите 1 и 2 по честота с 390 Hz (около 9,8%), а модите 4 и 5 с около 520 – 560 Hz (8,1 – 8,6 %).

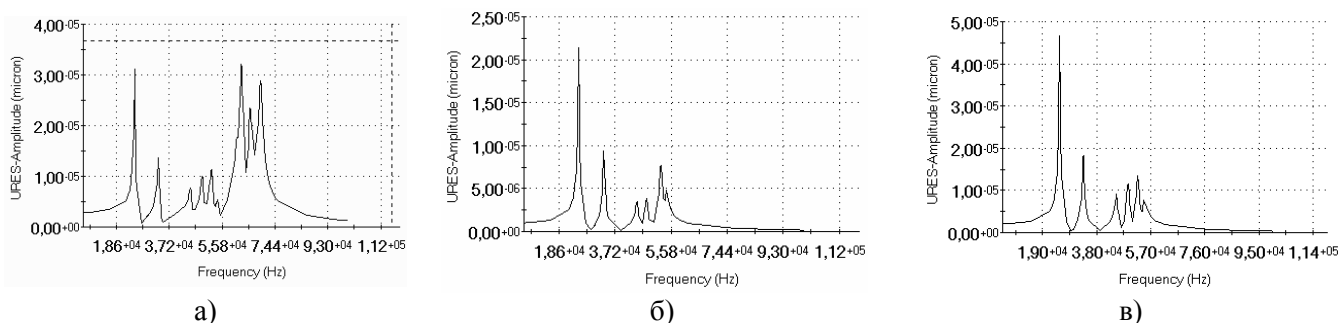
Изложените на фиг. 5, 6 и 9 – 12 резултати показват, че е налице значително разсейване в изменение на честотите на модите при наличие на отклонения в техническото състояние на детайлите. За безразрушителна оценка е подходящо въвеждането на зависимости от вида:

$$\Phi_i = f(m, c, X_{j,k}, Y_{j,k}, Z_{j,k}, \Psi_k) \quad (7)$$

където Φ_i е честота на мода i , X_j, Y_j, Z_j – координати на техническото отклонение k , а Ψ_k – неговите специфични особености. Зависимости от този вид ще спомогнат за автоматизирано диагностиране на дефекти от различен характер с помощта на съвременна изчислителна техника. Точното описание на Φ_i

е възможно да се осъществи с помощта на числителни методи, а резултатите да се потвърдят чрез експериментални изследвания.

Резултати от изследванията на резонансните честоти за оценка на състоянието на локален участък от фланеца са показани на фиг. 13. Наличието на локална пористост и пукнатина в зоната на динамично възбуждане е причина за промяна на честотата и амплитудите на модите. В случая наличието на пористост и пукнатина води до намаляване на динамичното натоварване в областта на 55800 kHz около 4,4 пъти (14 dB), респективно, 3 пъти (9 dB), която разлика при провеждане експериментални изследвания с подходящо оборудване при идентични условия е съществена и може да се използва за нуждите на диагностиката.



Фиг. 13. Динамично поведение в участък с нормално качество (а), при наличие на 20 % пористост (б) и при наличие на пукнатина (в) плоската част на фланеца.

5. Заключение

В резултат на изследванията са установени следните по-важни закономерности:

- Изследванията показват, че за диагностика на машинните елементи е удачно използването не само на първата мода на резонанса, но и тези от по-висок характер. Сравнението между модите, получени чрез измерване и чрез симулация на динамично натоварване показва, че те се намират в добра корелация. Симулационните изследвания позволяват получаването на зависимости на модите от възможни дефекти в детайлите.

- Някои от резонансните моди имат близки честоти, а излъчваното звуково налягане е с относително малка амплитуда, което е причина за трудното дешифриране на резултатите. В това отношение резолюцията на софтуера за амплитудно-честотен анализ трябва да позволява еднозначното определяне на модите за оценка на годността по доказани критерии за диагностика, като се вземат предвид и отклонения в геометричната точност на детайлите. Модите с много малки еластични деформации може да създават звуково налягане с незначителна големина, което да е причина за трудности при тяхното експериментално регистриране.

- Пористостта на материала променя непоследователно честотата на модите. Наличието на кухина и пукнатина в зона с относително по-малки еластични премествания води до неголямо изменение на честотите на модите. Изменение на честотите е в рамките на 1 – 3 %, което изисква специално внимание към точността на измерване. Повърхностно откритите нецелостности създават по-големи изменения на честотите на модите. Тези резултати са оптимистични с оглед диагностика на пористостта, но е необходимо да се изследва забелязаната непоследователност на изместване на модите.

- Дефекти в елементи с преобладаваща по големина геометричен размер могат да са причина за нарастване на броя на модите на резонансните честоти в определен честотен диапазон. Причината за това явление се отдава на увеличаване на броя на трептящите системи, например, от една система за детайл без дефекти на два и повече. На базата на това естествено явление е удачно разработването на резонансен метод за безразрушителен контрол на машинни елементи.

Определяне на честотите на резонансните моди в практиката е удачно да бъде автоматизирано чрез въвеждане на функции за тяхното формално описание и разпознаване на образи с помощта на подходящ софтуерен продукт. Удачно от практическа гледна точка е оценка на монтажа на машинните елементи с оглед въвеждането на опорни реакции и оценяването им при определяне на резонансните честоти.

Литература

1. Bono R, Sorensen S., Stultz G. NEW METHODOLOGY APPLYING RESONANT INSPECTION FOR QUALITY TESTING OF VERY SMALL POWDER METAL COMPONENTS. The Modal Shop Cincinnati, Inc. 2010.
2. Solidworks. Ръководство за потребителя. 2011 г.
3. Sankaran V. LOW COST INLINE NDT SYSTEM FOR INTERNAL DEFECT DETECTION IN AUTOMOTIVE COMPONENTS USING ACOUSTIC RESONANCE TESTING. Proceedings of the National Seminar & Exhibition on Non-Destructive Evaluation NDE 2011, Tamil Nadu, India.
4. Димчев Г., Коларов И. Машинни елементи. 2011 г.
5. HERTLIN I. Acoustic Resonance Analysis Using FEM and Laser Scanning For Defect Characterization in In-Process NDT. ECNDT 2006.
6. Миховски М. Комплексно използване на безразрушителните методи за изследване на структурата и физикомеханичните свойства на метални материали. Дисертация за присъждане на научната степен „доктор на техническите науки”, Институт по механика и биомеханика – БАН, София, 1991.
7. Hardin, R.A., and Beckermann, C., “Simulation of the Mechanical Performance of Cast Steel with Porosity: Static Properties,” in Proceedings of the 60th SFSA Technical and Operating Conference, Paper No. 4.3, Steel Founders' Society of America, Chicago, IL, 2006.

КОНТРОЛ НА КОНТАКТЕН СЛОЙ В БИМЕТАЛНИ МАШИННИ ЕЛЕМЕНТИ ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕ НА НИСКОЧЕСТОТНИ АКУСТИЧНИ МЕТОДИ

Иван Коларов, Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”
Ул. „Гео Милев” № 158, 1574, София.

1. Въведение

Биметалните машинни елементи обикновено се произвеждат от листови материали чрез съединяване посредством високо производителни технологии, като взривно заваряване, импулсно-магнитно заваряване, металургично свързване, наваряване и др. Те се изработват от предварително създадени слоисти плочи и тръби с помощта на специализирани машини. Така например, в България детайли за рудодобивната, циментовата и бетонната промишлености (като лопатки на вентилатори и съоръжения за преработка на шлама) се произвеждат от плочи чрез наваряване на обикновена конструкционна стомана с високо легирана хромова стомана с твърдост 50-64 HRC, като се постига висока устойчивост на удар и добра устойчивост на износване [1, 2]. Детайлите се контролират чрез безразрушителни методи. Следи се за наличие на разслоения в слоя между съединените среди.

Цел на настоящата работа е да изследва възможността за безразрушителна оценка на качеството на контактен слой в биметални машинни елементи с използване на нискочестотни акустически методи.

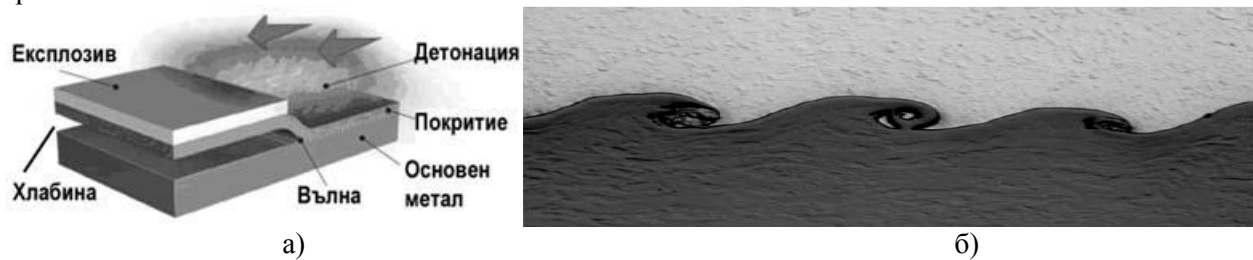
2. Отклонения в контактния слой в съставни детайли и възможност за нискочестотна диагностика.

Отклоненията в слоя между металите зависи от технологията на съединяване. Например при технологията взривно заваряване е необходимо създаване на област на високо налягане, която се разпространява в ограничено пространство между свързаните листови материали. Скоростта на детонация зависи от вида и състава на експлозива и от дебелината на слоя на разпространение. Необходимо е скоростта вълна на детонация да бъде по-висока с 20% от скоростта на звука в съединяваните материали. В резултат се формира слой с дебелина в рамките на 0,01 – 0,05 mm между съединените метали. За постигането на добро качество на заварените съединения е необходимо: Заваряваните повърхнини да бъдат повърхностно обработени до предварително определената грапавост, която зависи от вида на материала и размерите на повърхнините; Повърхнините трябва да бъдат поддържани на точно разстояние една от друга, което също зависи от вида на свързаните материали; Повърхнините да бъдат добре почистени. Тези изисквания налагат спазването на строга технологична дисциплина и оценка на възможните дефекти при известни отклонения. За тази технология възможни отклонения в слоя между основния материал и покритието:

- равномерно разпределени дефекти в резултат на наличие на недостатъчно добре обработени повърхнини и на физически отклонения на параметри на взривната вълна;
- разслоения в средата в резултат на наличие на зони с недобре почистени повърхнини.

На фиг.1 е илюстрирана технологията на взривно заваряване и формата на добре формиран слой между съединените метали [3]. Ясно се вижда неправилната форма на слоя, която зависи от

грапавините на в зоната на контакта.



Фиг.1. Технология за взривно заваряване (а) и форма на слоя между съединените метали (б).

В условията на контакт между две повърхнини параметрите на слоя се определят от естеството на материалите и локалните условия [4]. За композитни материали те зависят от вида на съединените метали, механичните обработки, твърдост и др. [3]. Изследванията в [2] показва, че слоя между два контактуващи материала се формира нова среда с еквивалентен модул E_c :

$$E_c = \frac{V_1 \cdot E_1 + V_2 \cdot E_2}{V_1 + V_2} \quad (1)$$

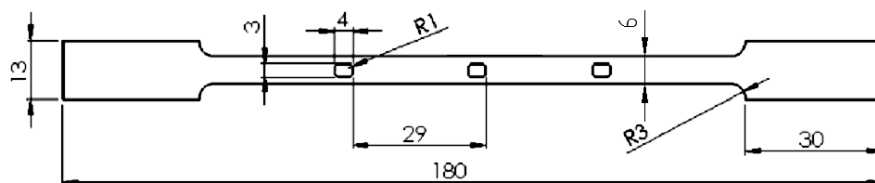
Тук V_1 и V_2 обемите на по-меката и на по-твърдата среда, като най-често $V_1 = 0,4 \cdot V_c$. Тук V_c е обема на слоя, $V_c = V_1 + V_2$.

За изследване на дефекти в слоя се използват епруветки, формирани от конструкционна стомана 1.0491 и от неръждаема стомана 1.4031(X39Cr13) по DIN с механични характеристики, показани в табл. 1. и с контактен слой между стоманите с дебелина 0,01 mm. Отклоненията в слоя се моделират чрез задаване на кухини и чрез задаване на неплътност (пористост). Чрез кухини се задават дефекти от недобре почистени повърхнини, а чрез пористост - дефекти от недостатъчно добре обработени повърхнини и физически отклонения на параметри на взривната вълна.

Табл. 1. Някои механични характеристики на изследваните заварени чрез взрив стомани.

	E, MPa	ν	G, MPa	ρ , kg/m ³	σ_B MPa
стомана 1.0491	210000	0.28	79000	7800	470
стомана 1.4031	190000	0.28	79000	7800	800
Забележка: σ_B е граница на якост на стоманата					

Кухините в слоя между основния метал и покритието се симулират правоъгълна форма с размери 3 mm и 4 mm и с радиус на закръгление в ъглите от R1 mm. Те са вътрешни за епруветката и са разположени симетрично на центъра и със стъпка 29 mm един от друг. Примерна форма на епруветката и на контактният слой с дефект е показан на фиг. 2. Изследват се епруветки с геометрично зададени дефекти, описани в табл. 2. Пористостта в слоя е зададена в диапазона 0 – 70% и е показана в табл. 3. За нуждите на симулацията механичните характеристики на порист слой се определят по (1), като се имат предвид резултатите от безразрушителни изследвания на пористи материали в [4, 5].



Фиг. 2. Схема на контактен слой в епруветка с дефект.

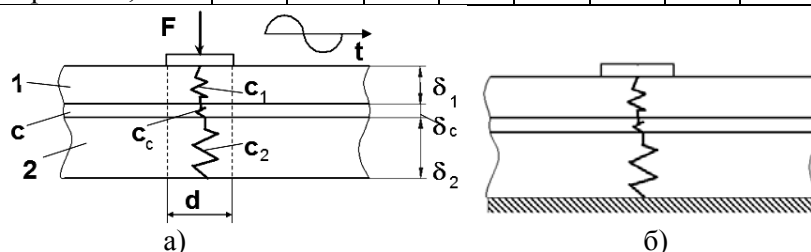
Табл. 2. Образци от епруветки с разслоения.

Образец/дефект	Без дефект	1	2	3	4	5
Брой правоъгълни участъци	0	3	5	7	9	11
Средна плътност в слоя, %	100	97,6	96	94,4	92,8	91,2

Образците са 3D моделирани в средата на SolidEdge и транслирани за динамичен анализ по метода на крайните елементи в средата на Cosmos. Основание за това изследване са зачестилите научни публикации за приложението на метода на крайните елементи при оценка на безразрушителни параметри и технологии в машиностроенето. Изследвани естествените резонансни честоти при свободно трептене в зависимост от вида на дефекта, а така също и значими за безразрушителната оценка локални резонансни явления.

Табл. 3. Образци от епруветки с пористост в слоя.

Образец/дефект	1	2	3	4	5	6	7	8
Пористост, %	0	10	20	30	40	50	60	70



Фиг. 3. Схема на слоист плосък детайл (а) и на опорната реакция (запъване по дължината) на детайла при изследване.

На фиг. 3 а) е показана част от плоска епруветка за изследване на локални резонансни явления в контактния слой, където с 1 и 2 са означени съединените листови материали (с дебелина δ_1 и δ_2), а с с – контактния слой между тях (с дебелина δ_c). В общия случай всеки от тези слоеве има собствена коравина c_i ; $i=1,2,c$, чрез които се определя обща коравина c_Σ . Големината на c_i ще зависи както от механичните свойства на материалите, така и от опорните реакции на детайла. За настоящето изследване детайлът е запънат по цялата си дължина (фиг. 3 б) и в участък с диаметър d от слоя 1 се прилага пулсираща сила с големина F , която натоварва епруветката в напречно направление. Първата резонансна честота определя от [6]:

$$\omega_{cr1} = \sqrt{\frac{c_\Sigma}{m_\Sigma}}, \text{ rad/s}, \quad (2)$$

където c_Σ и m_Σ са, съответно, общите коравина и маса на трептящата система, които могат да се

определят от $\frac{1}{c_\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{c_i}$ и $m_\Sigma = \sum_{i=1}^n m_i$, където m_i изразява масите на трептящите участъци от

елементите. За качествен детайл, състоящ се от материали с еднакви акустически характеристики и деформации в границите на действие на закона на Хук, като се имат предвид общите зависимости

$c = \frac{F}{f}$, $F = S \cdot \sigma$ и $\sigma = f \cdot E$ (тук f е деформация в детайла, σ - напрежение, S - лице) за

коравината c се получава $c = \frac{S \cdot E}{\delta}$. Като се изрази масата m с чрез плътността ρ на материала и

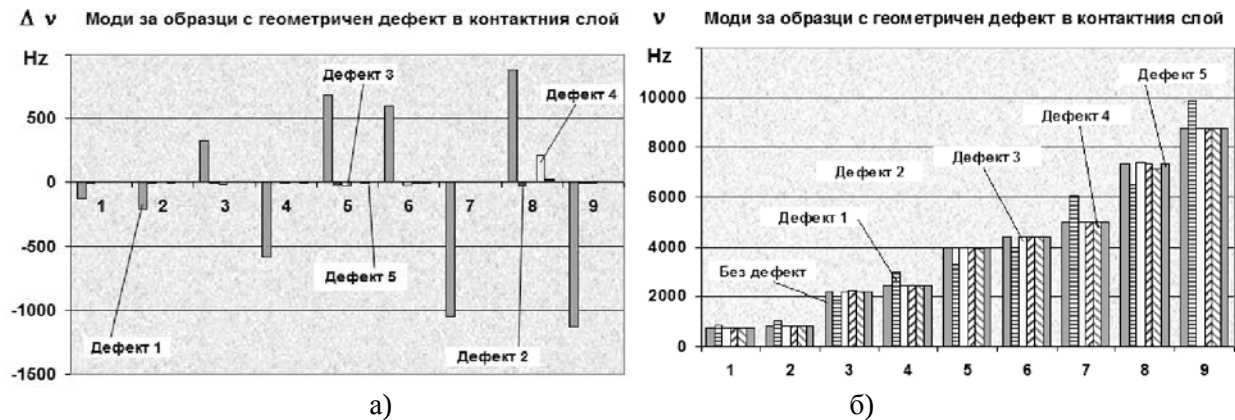
чрез обема $V = S \cdot \delta$ ($m = \rho \cdot S \cdot \delta$), то за ν_{cr1} в първо приближение се получава зависимостта:

$$\nu_{cr1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \delta} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \text{ Hz.} \quad (3)$$

Следователно локални отклонения в структурата на материала променят резонансните честоти в тези участъци. За изследване на слоя в малък участък и с цел повишаване на чувствителността и точността на резултатите е удачно да се изследват тези локални резонансни явления.

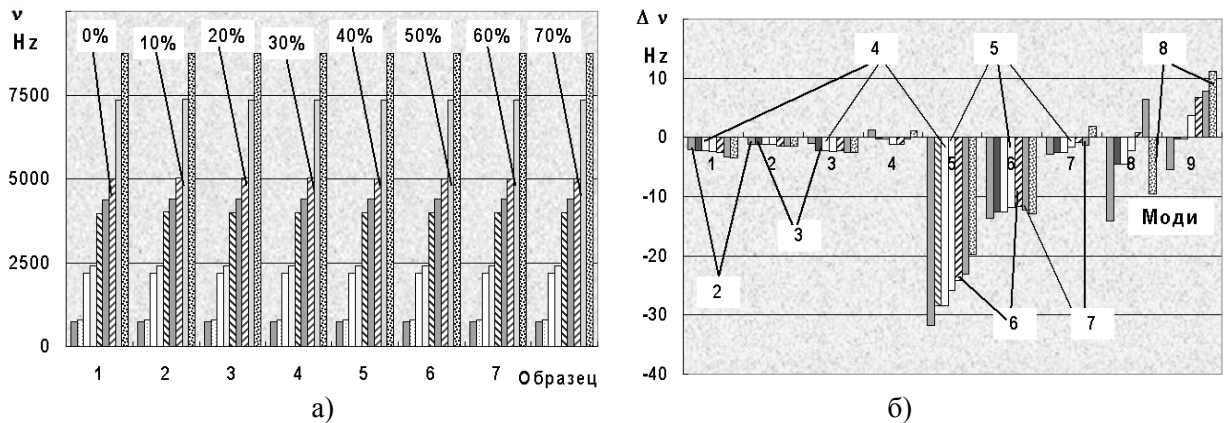
3. Резултати от изследването

На фиг. 4 са показани резултати за първите 13 основни резонансни моди $\nu_{i,j}$ (i дава индикация за образца, а j - за номера на резонансната честота) от изследването за образци 1 – 5 от табл. 2 с изкуствени разслоявания. За всички образци е налице изменение $\Delta \nu_{0,j}$ на резонансните честоти в сравнение с качествен образец, като $\Delta \nu_{0,j} = \nu_{0,j} - \nu_{i,j}$; $\nu_{0,j}$ е резонансна честота на мода j за образец без дефект. Това изменение е непоследователно за изследваните образци по отношение на нарастване на дефектите в контактния слой, а така също и по отношение на изменението на честотите с нарастване на номера на модата. Така например, изменението на честотата на образец 1 (със средна плътност в слоя от 97,6%) води до промяна на резонансната честота в рамките на 24 – 26%, докато за образец 2 (със средна плътност в слоя от 96%) това изменение е в рамките на 0,46%, а за образец 4 то е 2,84%. За образец 1 честотите на модите 1, 2, 4, 5, 6, 7 и 9 намаляват, а останалите нарастват. Подобна непоследователност се наблюдава и при останалите образци с разслоение.



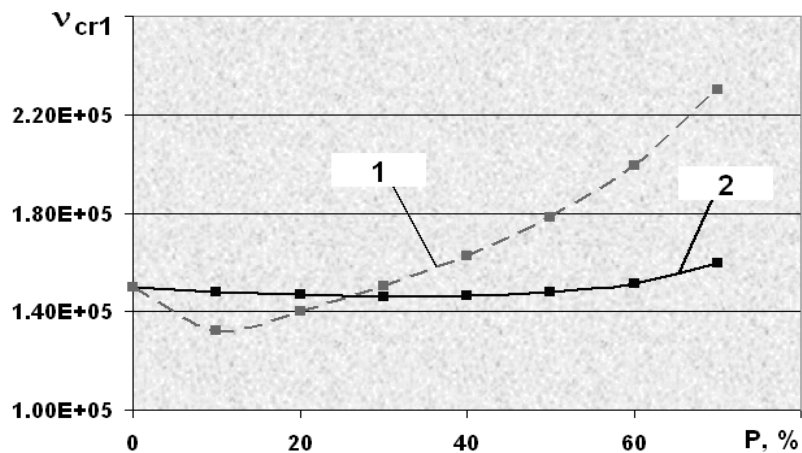
Фиг. 4. Резултати за честотите на модите на образците със разслоения в слоя (а) и за честотната разлика $\Delta \nu$ между качествен образец и такъв с дефект (б).

На фиг. 5 са показани резултатите за честотите $\nu_{i,j}$ от изследване на модите за образците с пористост и тяхното изменение $\Delta \nu_{1,j}$ в сравнение с образец 1 (табл. 3). По аналогия от по-горе $\Delta \nu_{1,j} = \nu_{1,j} - \nu_{i,j}$; $\nu_{1,j}$ е резонансна честота на мода j за образец без пористост. При наличие на дефект резонансните честоти на изследваните моди се променят непоследователно. Най-съществено е изменението на моди 5 (намаляване с около 30 Hz или 0,8%) и 6 (намаляване с около 13 или 0,3%). За модите 4, 7 и 8 се забелязва както намаляване, така и увеличаване на резонансните честоти. Общо за изменението на резонансните честоти може да се обобщи, че е непоследователно и незначително, което води до трудности в определяне на права зависимост между резонансна честота и пористост в слоя.



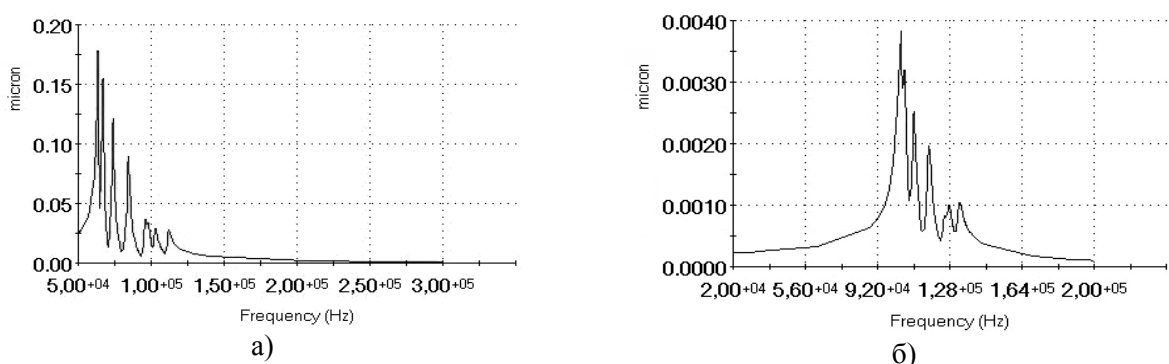
Фиг. 5. Резултати за честотите на модите на образците с пористост в слоя (а) и за честотната разлика $\Delta \nu$ между качествен образец и такъв с дефект (б).

На фиг. 5 са показани числени резултати за резонансната честота ν_{cr1} по (3) за порист плосък детайл с дебелина δ . Резултатите потвърждават установеното по-горе непоследователно изменение на резонансната честота с увеличение на пористостта на структурата.



Фиг. 5. Изменение на първата резонансна честота на детайл; за 1 акустическите характеристики на слоя са получени по [4], а за 2 те са получени по [5].

На фиг. 6 са показани резултати, получени чрез симулация за резонансната честота ν_{cr1} за порист контактен слой при натоварване на детайла съгласно фиг. 3 а и при опорни реакции по фиг. 3 б. Приложената сила F е с големина 10 N и с честота в диапазона 20 – 200 kHz. Резултатите са получени в точката на прилагане на силата. Потвърждава се характера на изменение на основната резонансна честота, изложен на фиг. 5. Така например, получена е първа резонансна честота 61931 Hz за детайл без пористост и 103782 Hz за детайл с 30% пористост в контактния слой. Забелязва се съществено намаляване на амплитудата на вибрации - от $0,175 \mu m$ за качествен детайл до $0,0038 \mu m$ за порист контактен слой. Налице са резонансни честоти от по-висока степен, които запазват своя характер и разположение спрямо първата честота и за двата примера.



Фиг. 6. Резултати от симулационно изследване на локални резонансни явления в епруветка без дефект в контактния слой (а) и в епруветка с 30% пористост в контактния слой (б).

4. Заключение

Безразрушителното изследване на качеството на контактен слой в биметални машинни елементи е възможен чрез използване на резонансни акустически методи. За целта е необходима последователност в изменението на резонансните честоти с промяна на контролирания параметър, която е необходимо предварително да се планира чрез аналитични методи, например, чрез метода на крайните елементи.

Контактния слой като съставна част на машинен елемент участва със своите параметри във вибрационното поведение на елемента, но има сравнително по – малко влияние. Перспективно направление с оглед оценяването на контактния слой е изследването на локални резонансни явления и установяване на закономерности между тях и състоянието на слоя.

Литература

1. Michal BENÁK a, Milan TURŇA a, Milan OŽVOLD a, Petr NESVADBA b, Ján LOKAJ a, Ľubomír ČAPLOVIČ a, František KOVÁČ c, V. STOYKA c STUDY OF Al-AUSTENITIC STEEL BOUNDARY FORMED BY EXPLOSION WELDING Metal 2010. Roznov pod Radhostem, Czech Republic.
2. Explosion Bonding Engineering and Design Basics. HEM inc. 2000. USA.
3. Findik F. Recent developments in explosive welding. Materials and Design, 32 (2011) 1081–1093.
4. Миховски М. Комплексно използване на безразрушителните методи за изследване на структурата и физикомеханичните свойства на метални материали. Дисертация за присъждане на научната степен „доктор на техническите науки”, Институт по механика и биомеханика – БАН, София, 1991.
5. Hardin, R.A., and Beckermann, C., “Simulation of the Mechanical Performance of Cast Steel with Porosity: Static Properties,” in Proceedings of the 60th SFSA Technical and Operating Conference, Paper No. 4.3, Steel Founders' Society of America, Chicago, IL, 2006.
6. Димчев Г., И. Коларов. Машинни елементи. Софтрейд, С. 2011.

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2012”	Варна 12 - 13.10.2012 г. София 07 - 08.12.2012 г.
Година XIV	□ Брой 14	Декември 2012 г.

НИСКОЧЕСТОТЕН АКУСТИЧЕН КОНТРОЛ НА БИМЕТАЛНИ МАШИНИ ЕЛЕМЕНТИ С ОТНОСИТЕЛНО ГОЛЯМА ДЪЛЖИНА

Иван Коларов, Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”
ул. „Гео Милев” № 158, 1574, София.

1. Въведение

Биметалните машинни елементи обединяват свойствата на съединените материали. Обикновено те се произвеждат от листови материали чрез взривно, импулсно-магнитно заваряване, металургично свързване и др. При тези технологии не се въздейства топлинно върху адхезионните зони и отсъстват проблеми, свързани с различieto между коефициентите на температурно разширение. Често пъти се използват двойките метали стомана – титан, стомана – алуминий, алуминий – мед, стомана-мед и др. Ако се приеме единият материал да бъде основен, а другият – покритие, то дебелината на покритието може да бъде в границите от 0,05 до 30 mm, а за основния метал няма ограничение.

В практиката са налице случаи за използване не само на биметални (двуслойни) машинни елементи, но и трислойни елементи. В последните години се разработват технологии и за създаване на биметални машинни елементи в комбинации с политетрафлоретилен (тефлон) и с графитни листа.

Производството на биметални машинни елементи най-често се осъществява чрез специализирани машини за създаване на заготовки: слоисти плочи и тръби. Типичен пример за биметални елементи са тръбите за изграждане на топлинни инсталации, които традиционно се произвеждат от стомана. Стоманените тръби се характеризират със сравнително кратък експлоатационен срок, по-малка пропускливост, невисока цена и добра заваряемост. Като недостатък на тези тръби се отчитат свойствата корозионна неустойчивост на стоманата, значителна грапавост на вътрешните повърхнини, предизвикваща завихряне на флуида и отлагане на материали по тях. В редица случаи стоманата се заменя с мед (или друг материал), която осигурява гладки вътрешни и устойчиви на окисление повърхнини. Като по-евтин вариант на медните тръби металургичната промишленост предлага стоманени тръби с медно покритие. Други варианти на биметални тръби се предлагат от фирмите Talos и Sandvik. Talos предлага тръби от алуминий и мед, като се комбинира здравината и сигурността на медта с конкурентноспособността и лекотата на алуминия. Sandvik произвежда тръби от стомана и Цирконий 702, с което постига много добра корозионна устойчивост, якост и заваряемост; тръбите са с диаметри от 38 до 76,2 mm и с дебелина на външния слой от 1,3 до 1,65 mm и на вътрешния – от 3,7 до 4,93 mm.

Отговорни биметалните заготовки се контролират в производството чрез: системен контрол на технологичните параметри на всички стадии на производство; ултразвуков безразрушителен контрол; изпитване на огъване и срязване, контрол на якостта на покритието; ултразвуков и металографически контрол на дебелината на покритието (втория слой); геометричен контрол и др. Ултразвуковия безразрушителен метод не винаги е приложим, поради малката дебелина на слоистите материали, а в същото време прилагането му на големи площи значително оскъпява продукцията. Налице са данни за

безразрушителен контрол на машинни елементи с приложение в авиацията чрез приложение на виброспектрометричния метод с помощта на специализиран уред, което го прави по-трудно достъпен за широко използване.

Цел на настоящата работа е да изследва приложението на нискочестотния акустически метод за контрол на дебелината на покритието в широко използвани в практиката биметални машинни елементи с преобладаваща големина по едната координатна ос и да предложи технология за неговото реализиране в практиката.

2. Теоретична обосновка на нискочестотния акустичен контрол

Хипотеза за изследването се основава на предположението, че дебелината на покритието в съставни тръби може да се изследва безразрушително чрез ниско честотни акустически методи, като носител на информация са резонансните явления, възникващи в част от обема на машинните елементи. Традиционно резонансните явления се използват за безразрушително определяне на физико-механични параметри в нови материали и структури с помощта на специализирани епруветки и добре установена методика [1]. За целта епруветките се поставя на две опори и в нея се възбуждат вибрации чрез безконтактно устройство. Местоположението на опорите се избира така, че те да не се противопоставят на възникващите в епруветките деформации от вибрациите в резонансните зони.

За детайли с относително по-голям размер по едната ос (валове и оси, тръби и др.) критичната честота на трептене се определя от зависимостта:

$$\varpi_{кр} = \sqrt{\left(\frac{c}{m}\right)}, \quad (1)$$

където c е коравината на конструкцията, а m - нейната маса. При хоризонтално разположение отношението между c и m се изразява чрез земното ускорение и максималната деформация f в конструкцията [2], а зависимостта на критичната честота добива вида:

$$\varpi_{кр} = \sqrt{\left(\frac{g}{f}\right)}, \text{ rad / s.} \quad (2)$$

Деформацията f в детайлите се определя в зависимост от тяхното окачване [3] и за гредата с постоянно сечение на две цилиндрични опори (фиг. 1. а) тя се определя от зависимостта:

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot Y}. \quad (3)$$

Тук q е интензивност от равномерното разпределение на силата на тежестта G по дължината на гредата, $q = G / l$, E е модул на линейна деформация на еластичната среда, а Y - инерционен момент на сечението, което зависи от равнината на огъване на гредата;

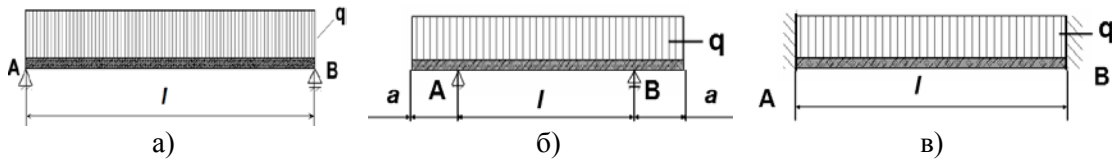
за правоъгълно сечение се определят от $Y_x = \frac{b}{12} \cdot (H^3 - h^3)$ и $Y_y = \frac{b^3 \cdot (H - h)}{12}$, за кръгло

сечение $Y_x = Y_y = \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4)$ (фиг. 2).

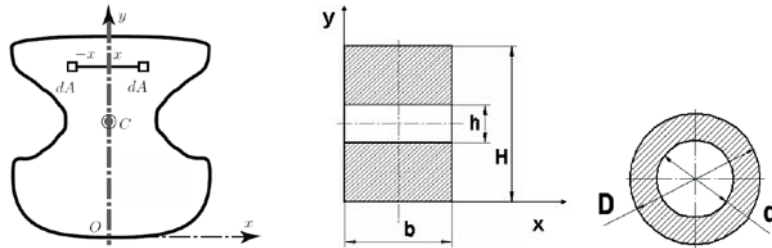
На фиг. 1 б) е показан модел на епруветката, представена като гредата на две опори, намиращи се на разстояние a от двата края. В този случай деформацията f се получава

по (3), като се има предвид деформацията f' огъващия момент $M_{ог} = -\frac{q \cdot a^2}{2}$ на всяка от конзолните части:

$$f' = 0,0642 \cdot \frac{M_{oz} \cdot a^2}{E \cdot Y} \quad (4)$$



Фиг. 1. Модел на детайл с постоянно сечение за изследване на резонансни явления.



Фиг. 2. Типични сечения на греди в машиностроителната практика.

Общата максимална деформация в гредата се определя по метода на суперпозицията. А за запъната в двата края греда максималната деформация се определя от зависимостта [3]:

$$f = \frac{1}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot Y} \quad (5)$$

При представяне на разпределената интензивност на силата на тежестта на 2, 3 и повече части се формират и резонансни честоти от по-висока степен. Големините на втората, третата и т.н. моди се определят по методите на Кул, Дънкерли и Стодола [2], а така също и чрез метода на крайните елементи [4].

3. Методика на изследването

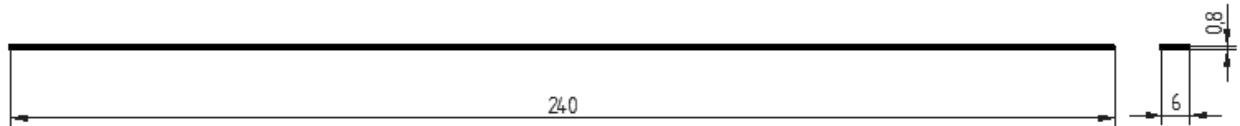
В настоящата работа се изследват биметални епруветки и тръби чрез метода на крайните елементи (Finite element method - FEA). Изследваните се създават в средата на CAD и след това се транслират за обработка в средата на FEA за симулационно динамично натоварване. За целта всеки детайл се разделя на краен брой крайни елементи чрез задаване на фина мрежа с възможност за съгъстяване в областите с промяна на формата на изделието, като се задава вида и местоположението на опорните реакции. Изследват се деформациите на детайлите в предварително зададен честотен диапазон. По зависимостите (2-5) са получени теоретични резултати, като част от тях са сравнени с получените чрез симулационно изследване.

Табл. 1. Дебелина на сечението на съставните части от изследваните епруветки

Образец	Дебелина на стоманената част	Дебелина на медната част	Образец	Дебелина на стоманената част	Дебелина на медната част
1	5	0	4	4,4	0,6
2	4,8	0,2	5	4,2	0,8
3	4,6	0,4	6	4,0	1

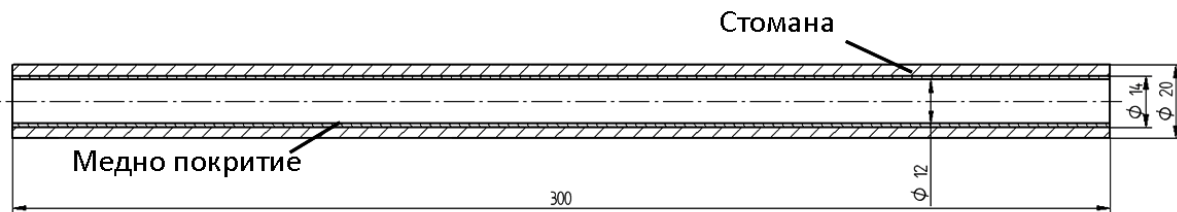
Обект на изследване са биметални епруветки от стомана и мед с размери 240x6x5 и с обща дебелината на стомана и на медното покритие 5 mm. Дебелината на медното покритие варира от 0.2 до 1 mm. Типична форма на покритието е показана на фиг. 3. Изследвани са шест (от 1 до 6) образца епруветки и дебелините на съставните им части са показани в табл. 1. Епруветките са разделени от порядъка на 73000 елемента,

взаимодействащи си чрез 117000 възела. Установени са първите 13 резонансни моди на образците, предизвикващи различни по вид еластични деформации и аналитично е установена честотната разлика между тях.

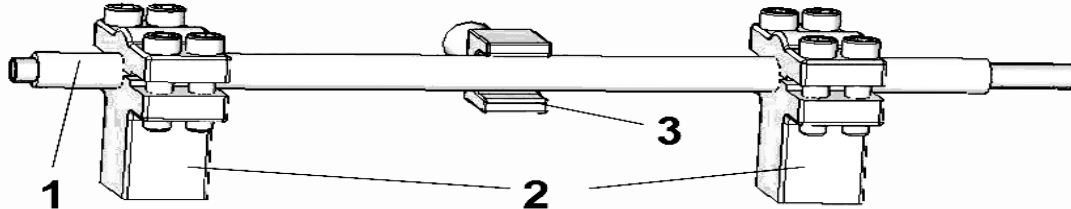


Фиг. 3. Пример от покритието на изследваните епруветки

Приложение на резултатите от изследването на епруветките е търсено за двуслойна тръба от стомана с вътрешно медно покритие. Изследван е образец с външен диаметър 20 mm, вътрешен диаметър 12 mm с дебелина на медното покритие 1 mm. Скица на образца е показана на фиг. 4. Чрез FEA са определени неговите резонансни моди при намаляване на покритието в процеса на експлоатация, например, от износване до 0,5 mm. За целта с помощта на ситна мрежа тръбата е разделена на около 33000 елемента, свързани с 61000 възела.



Фиг. 4. Съставна тръба, подложена на симулационно изследване.



Фиг. 5. Схема на опитна уредба за ограничаване на размерите в дълги машинни елементи; 1- тръби; 2 – опори; 3 – устройство за възбуждане на вибрации.

Симулационно са изследвани резонансни явления и в биметална тръба с безкрайно голяма дължина. В средата за симулация чрез запъване с помощта на две допълнителни устройства тръбата се запъва изкуствено и се задават опори съгласно фиг. 1 в) на регулируемо разстояние. За настоящата работа е прието $l = 400$ mm. За тръбата с ново покритие са използвани 9200 елемента, съединени в 18500 възли, а при износване - броят им нараства поради необходимост от използване на елементи с по-малки размери. Например за тръба с дебелина на покритието 0.1 mm техният брой е 56554 елемента, а на възлите е 112969. Зададен е коефициент на затихване в метала β в рамките на 0.01. Симулира се динамично натоварване на тръбата в средата и част със сила 10 N, пулсираща с честота (в диапазона на очаквания резонанс) от 300 до 1000 Hz (създавана например чрез електромагнитно или пиезоелектрическо устройство) и в същия участък се регистрира амплитудата на възникналите вибрации в зависимост от честотата (по електромагнитен, фото или др. метод).

За практическо потвърждение на приложението на описаното на фиг. 5 опитна уредба са изследвани стоманени тръби, описани в табл. 2. И двата образца са с външно

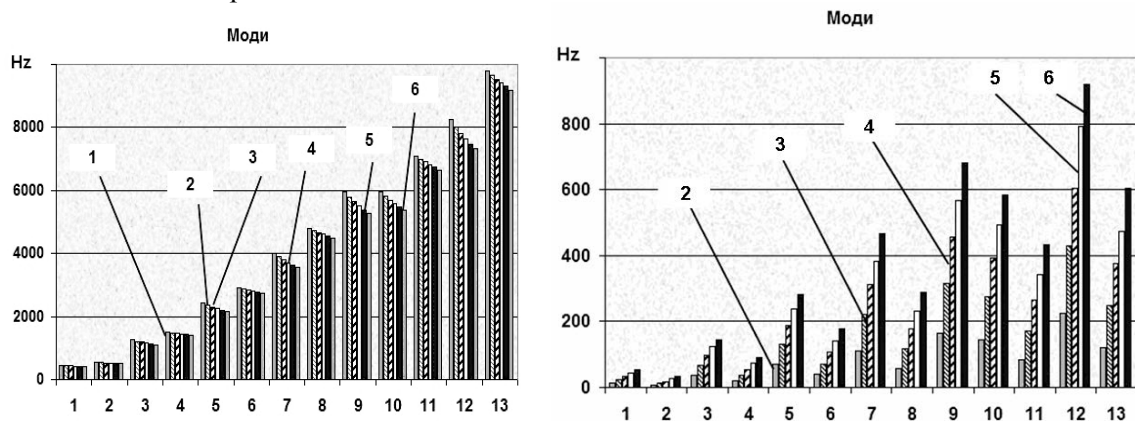
антикорозионно покритие с дебелина от няколко микрометра, нанесено по галваничен път. При външен оглед на образеца „Тръба 2” е установено наличието на корозия по вътрешната повърхнина. Средната дебелина на стената на тръбата е определена чрез измерване нейните габаритни размери и маса. И двата образеца са 3D моделирани, симулирано е динамично натоварване в диапазона 10 – 8000 Hz и чрез FEA са определени резонансните моди за опорни реакции идентични с тези в експериментални условия. Експериментално са определени резонансните моди чрез динамично възбуждане на тръбите по два метода. С помощта на променливотоков генератор и излъчвател на магнитни полета тръбите са натоварвани динамично с пулсираща сила от с максимална стойност в рамките на 0,45 N. Изследвано е вибрационното поведение на тръбата чрез сензор за магнитни полета и волтметър. Излъчвателят и сензорът на магнитни полета са разполагани в средната част на тръбите. В първо приближение може да се приеме, че амплитудата на преместването е пропорционална на електродвижещото напрежение, генерирано в сензора за магнитни полета. Честотата на пулсиращата сила е регулирана чрез генератора, а точната стойност на честотата е измерена чрез прецизен цифров честотомер с точност на измерване 1-2 Hz. Резонансните моди са експериментално определени чрез измерване на емисията, генерирана чрез механично ударно възбуждане и амплитудно анализ на звуковия спектър по метода на Hanning.

Табл. 2. Размери на изследваните тръби.

Образец	Външен диаметър, mm	Дебелина на стената, mm	Дължина, mm
Тръба 1	25	1,5	255
Тръба 2	21	0,25	1120

4. Резултати от изследването

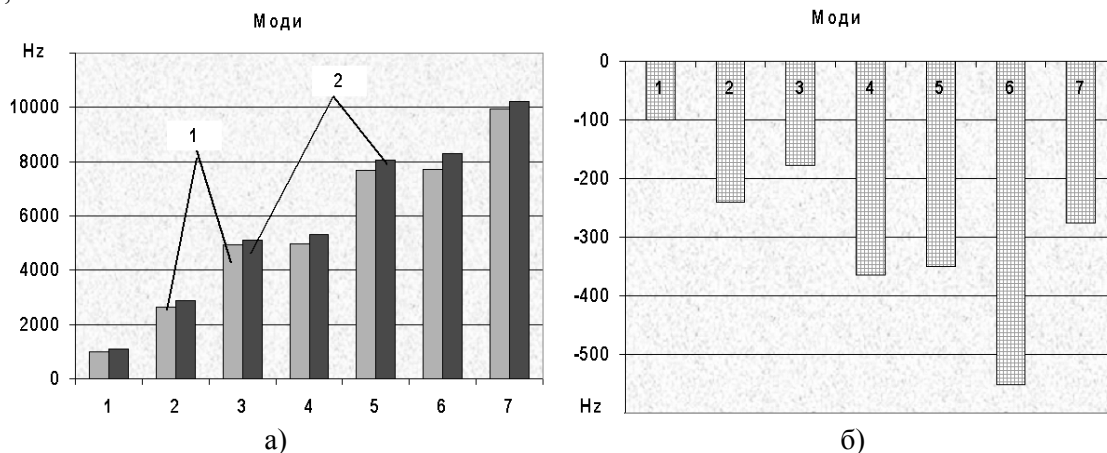
Стойностите на модите $\nu_{i,j}$ изследване образци j , където $j = 1 \div 6$ от биметални епруветки е показано на фиг. 6 (номерата на образците са съобразно показаните в табл. 1.) На фиг. 6 – б е показана разликата в честотите $\Delta \nu_{i,j} = \nu_{i,1} - \nu_{i,j}$ между стоманена епруветка (образец 1) и образците $j = 2 \div 6$. Относителната разлика на изменението на резонансните честоти е в границите на 7 – 10 %, което я прави значима за определяне на дебелината на покритието по косвен път.



Фиг. 6. Резултати за амплитудно-честотното изследване на образците 1 – 6 от биметални епруветки; а – стойности на честотите при различните моди; б – разлика между честотите на модите.

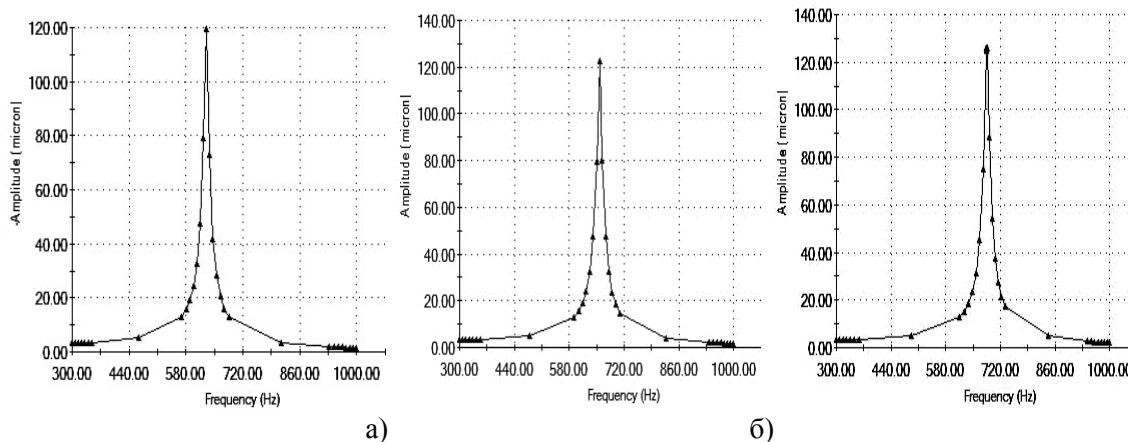
По резултатите за деформацията на първата мода на образец 1 е определена големината на конзолата е определена за $a \approx 0,043 \text{ m}$ (фиг. 1 б). По (2), (3) и (4) е получена теоретичен

резултат за първата мода 558 Hz и той се различава определения чрез FEA в рамките на 2,38% отклонение.



Фиг. 7. Резултати от изследване на модите за стоманени тръби с вътрешно медно покритие; а) – честоти на модите при дебелина на покритието 1 mm (1) и 0.5 mm (2); б) – разлика между честотите на модите.

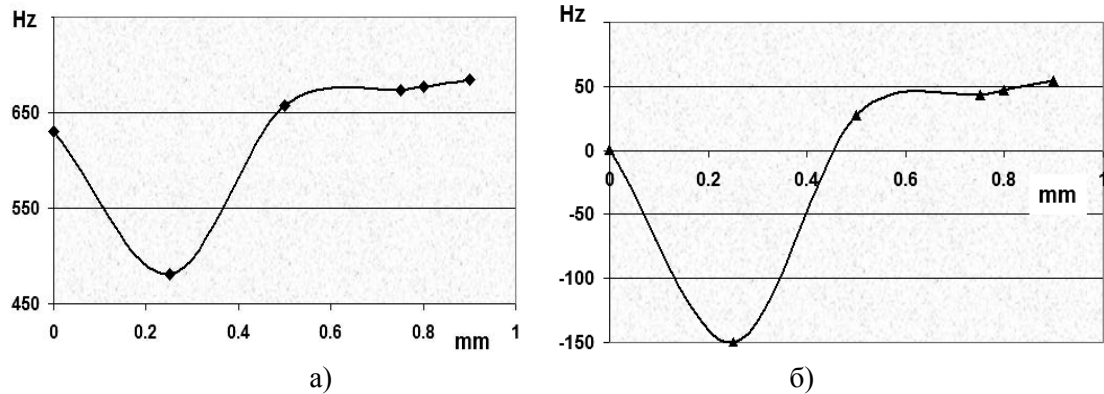
На фиг. 7 е показано резонансното изследване на биметални тръби от фиг. 4, като с 1 са показани резонансните честоти за нова тръба с дебелина на медното покритие 1 mm, а с 2 – равномерно износена тръба с дебелина на покритието 0,5 mm. Разликата между честотите е в рамките на 100 – 500 Hz, което представлява около 4 – 4,5% и може да се регистрира чрез подходящ софтуер. Перспективни за оценка на покритието са модите 1, 2, 4, 6, за които е по-чувствително изменението на честотата.



Фиг. 8. Резултати за вибрационното поведение на част от тръба с покритие 1 mm (а), 0.5 mm (б) и 0.9 mm (в).

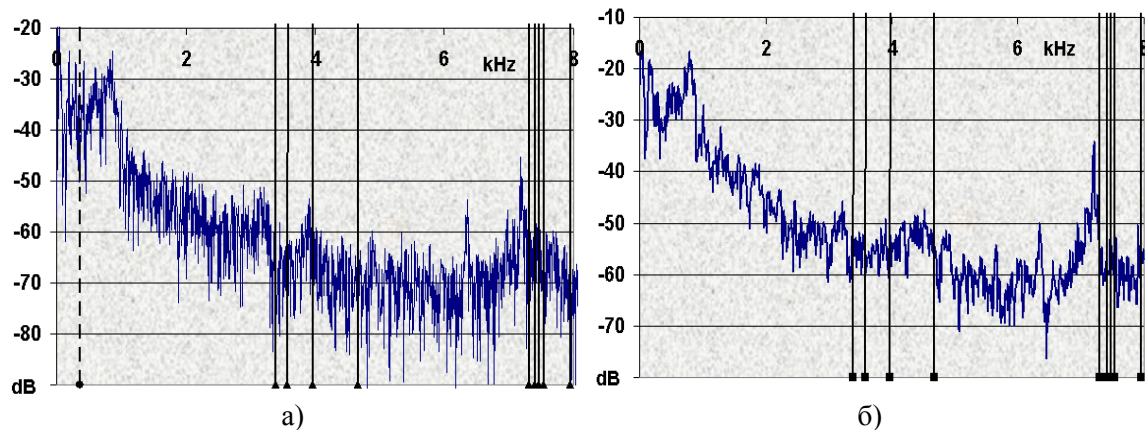
На фиг. 8 е показано симулационно изследване на динамичното поведение на безкрайно дълга тръба с изкуствено зададени опори от вида на фиг. 5. Първоначално е направено изследване по (2) и е установено, че първата мода е около 450 - 630 Hz. В зоната на резонансната честота се наблюдава нарастване на амплитудата на вибрациите. На фиг. 9 са показани стойностите на първата мода на тръба с различна степен на износване (а) и на тяхното изменение (б). Установено е неравномерно изменение на честотата на първата мода при изтъняване на покритието. В началото при намаляване на дебелината на покритието в диапазона от 1 до 0,75 mm намалява честота на модата. При намаляване на

дебелината в диапазона от 0,75 до 0,1 mm честотата започва да нараства. Следователно за нуждите на безразрушителната оценка е необходимо предварително да се създадат не само критерии, но и изисквания за конфигуриране на устройството за осигуряване на еднопосочно изменение на изследвания параметър (честота на първата или др. резонансна мода).



Фиг. 9. Резултати за честотите на първия резонанс на запъната тръба с различна степен на износване по вътрешния диаметър (а) и за тяхното изменение в сравнение с тези за качествена тръба (б).

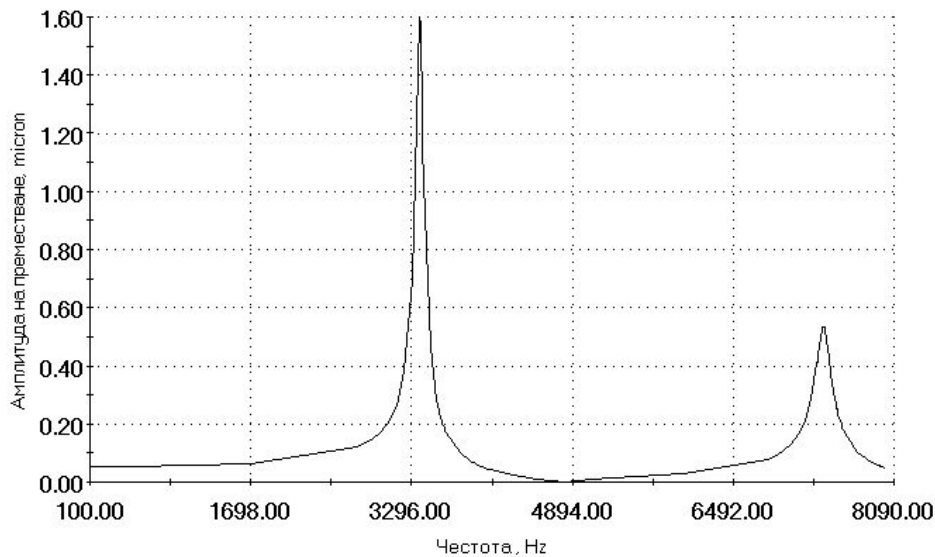
На фиг. 10 – 15 са показани експериментални резултати от изследванията на образците от табл. 2. И двете тръби са изследвани с опорни реакции по схема от фиг. 1 в), реализирани с общо срещани в лабораторни условия приспособления. Разстоянието между опорите 1 за тръбата 1 е 155 mm и за тръбата 2 е 920 mm.



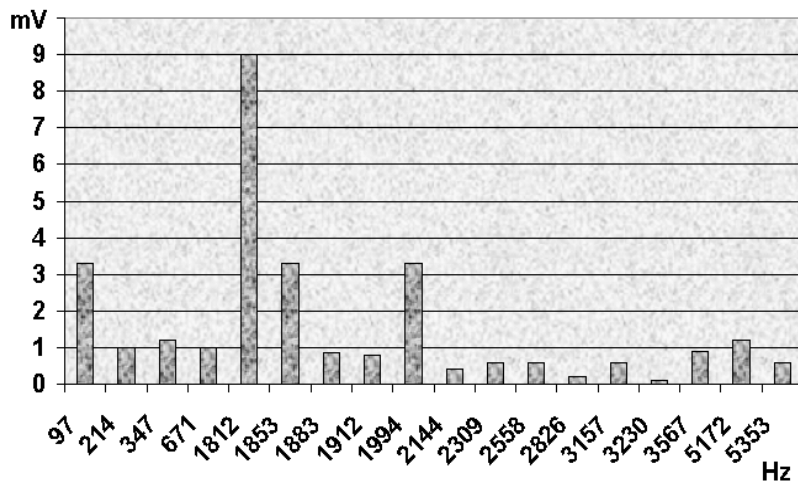
Фиг. 10. Честотен спектър от акустическо-резонансно изследвания на тръба 1; с — са означени модите, получени чрез FEA, с - - - - резултат от изследване чрез магнитен метод.

На фиг. 10 са показани резултатите за „Тръба 1“. Експериментално са установени голям брой резонансни честоти, регистрирани в областите 4000 и 7000 Hz. Около тези честоти са установени основни резонансни честоти, получени чрез FEA при идентично моделиране на опорите и показани на фиг. 11. Върху амплитудно-честотния спектър са нанесени резонансните честоти, определени чрез FEA. Отчетена е разлика между експерименталните резултати и тези от симулацията на динамичното натоварване е в рамките на 1,6 – 1,9 за фиг. 10 а) и в рамките на 0,3 – 3,9% за фиг. 10 б). Така например чрез акустическия метод е измерена резонансна честота 3919 и 7185 Hz, а чрез FEA – съответно 3965 и 7326 Hz. Теоретичната основна резонансна честота, определена по (5) е 9942, което затруднява нейното установяване чрез измерване посредством често срещани

микрофони. Сравнението на резултатите показва наличието на резонансни честоти, неустановени чрез FEA, факт дължащ се по-скоро на възможни отклонения между моделираните и реалните опори на тръбата, а така също и на локални резонансни явления, включително такива извън изследваната зона. При възбуждане на резонанс чрез магнитния метод е установено самовъзбуждане на трептящата система при честоти над 200 – 300 Hz, което възпрепятства измерването.



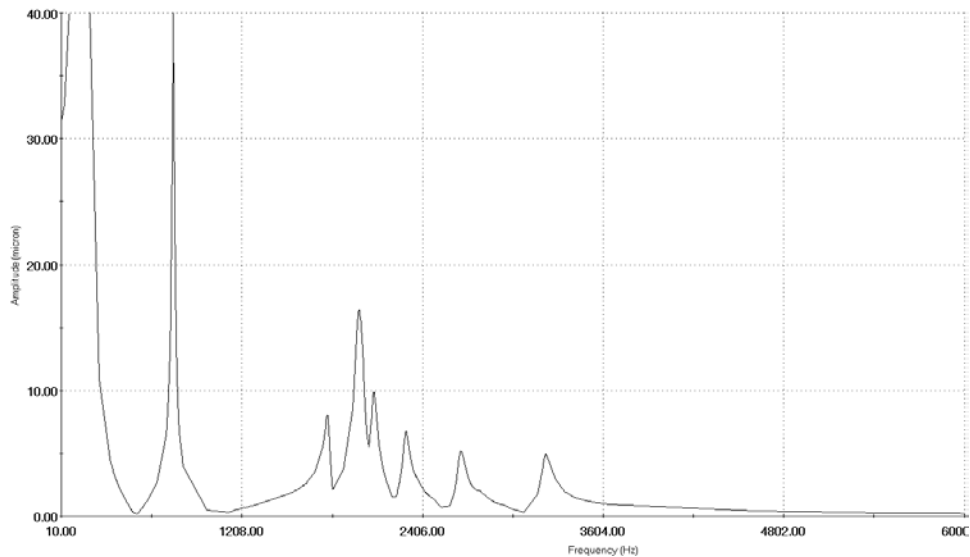
Фиг. 11. Амплитуда на вибрациите за тръба 1 при изменение на честотата на възбуждане от 10 до 8000 Hz; резултатите са определени чрез FEA.



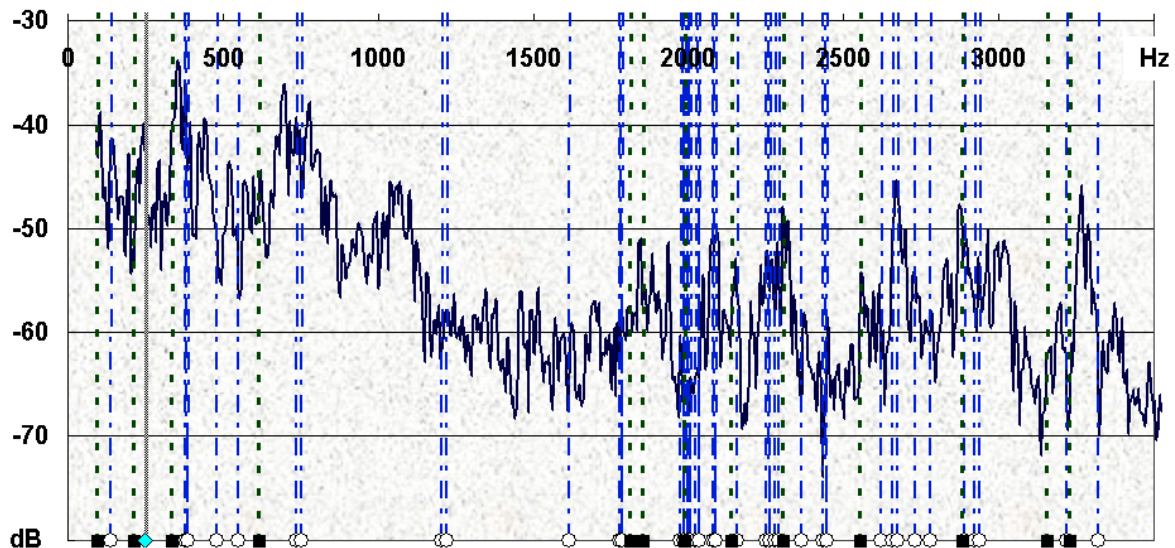
Фиг. 12. Резултати за амплитудата на електродвижещото напрежение, регистрирана при изследване на резонансните моди чрез магнитния метод.

Чрез динамично натоварване на тръба 2 чрез магнитния метод са установени 18 резонансни честоти (фиг. 12), предизвикващи вибрации с различна амплитуда в радиално или тангенциално направление. Максимални са деформациите на модите с честоти 97, 1812, 1853 и 1994 Hz. Чрез FEA (фиг. 13) са получени максимални стойности на радиалната деформация при 142, 751, 1985 Hz. Теоретичната стойност на резонансната честота при идеално реализирани опори съгласно фиг. 1 в) и определена по (2) е 248 Hz.

Следователно в образеца възникват допълнителни резонансни моди, факт потвърждаващ направените по-горе изводи.

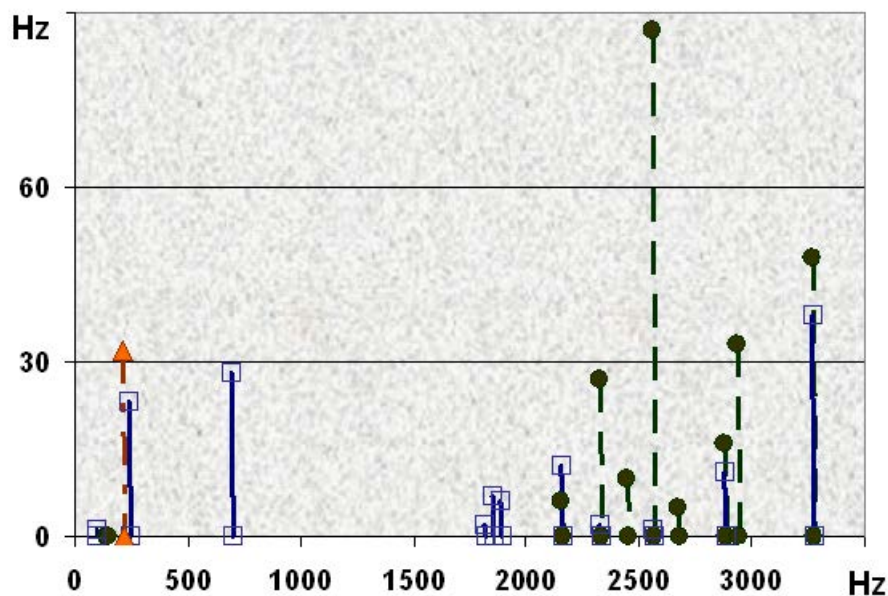


Фиг. 13. Резултати за амплитудата на деформациите, регистрирана при изследване на резонансните моди чрез FEA.



Фиг. 14. Честотен спектър от акустическо-резонансно изследвания на тръба 2; допълнително са показани модите, получени чрез FEA (---), чрез магнитния метод (----) и теоретичната резонансна честота по (2) (____).

От практическа гледна точка е интересно сравнението между получените резонансни моди чрез различните методи на изследване. На фиг. 14 е показан честотния спектър от акустико-резонансно изследване на тръба 2, като допълнително са нанесени получените резонансни моди чрез FEA, магнитния метод и по зависимостта (2), а на фиг. 15 е показано регистрираното честотно отклонение между моди с преобладаващи амплитуди. Установено са отклонения в размер от 0.01 до 9% в целия диапазон на измерването. Най-малки са отклоненията (0.01-1.1%) в диапазона на модите 1800 – 2500 Hz.



Фиг. 15. Регистрирани отклонения в Hz между резонансните честоти, установени чрез FEA и тези чрез акустичния метод (---), магнитния метод (____) и изчислени по (5) (-.-.).

6. Заключение

Нискочестотен акустичен контрол на биметални машинни елементи с относително голяма дължина е възможен чрез последователно изследване на амплитудно-честотните характеристики в различни участъци от детайлите, например, чрез ограничение разпространението на вибрациите с помощта на допълнителни опори. Методът може да се реализира чрез възбуждане на принудени трептения в участъците и измерване на вибрационното поведение на детайлите. За целта е необходимо предварително изследване на поведението на резонансните честоти в зависимост от контролирания параметър. За нуждите на безразрушителната оценка на контролирани параметри е необходимо осигуряването еднозначна зависимост между тях.

Конструирано е приспособление, осигуряващо възбуждането на локални резонансни явления в дълги тръби. Приложението на устройството е апробирано чрез изследване на тръби чрез импулсно възбуждане на трептения по магнитен и механичен път и чрез метода на крайните елементи. Получено е сравнително добро съвпадение на експериментални и аналитични резултати за част от регистрираните моди.

Методът може да се приложи и за безразрушително изследване на състоянието и на други подходящи детайли чрез локализиране на резонансните трептения.

Литература

1. Миховски М. Комплексно използване на безразрушителните методи за изследване на структурата и физикомеханичните свойства на метални материали. Дисертация за присъждане на научната степен „доктор на техническите науки”, Институт по механика и биомеханика – БАН, София, 1991.
2. Димчев Г., Коларов И. Машинни елементи. 2011 г.
3. Христов Д., Г. Петков, Н. Чавушан, С. Начев, М. Проданов. Пресмятане и конструиране на машинни елементи. Техника. София. 1980.
4. HERTLIN I. Acoustic Resonance Analysis Using FEM and Laser Scanning For Defect Characterization in In-Process NDT. ECNDT 2006.

КОТВЕНА РАДИОХИДРОАКУСТИЧНА ИЗМЕРВАТЕЛНА СИСТЕМА

*Николай Желев Колев, Станимир Янакиев Николов, Петър Владимиров Иванов,
 Пейчо Стефанов Калоянчев, ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”, Варна
 Стефан Иванов Иванов, Технически Университет, Габрово,
 Георги Иванов Димитров, Технически Университет, Варна
 e-mail: nzkolev@abv.bg*

Анотация: Разработена е котвена радиохидроакустична измервателна система. Системата е базирана на мрежов принцип, с използване на стандартен измервателен и радиокомуникационен модул. Измервателната и комуникационната апаратура се разполагат в корпус на херметичен буй. Представени са резултати от експериментални изследвания на блокове на системата и експериментални резултати от измервания с нея в морски условия.

Ключови думи: Хидроакустика, хидроакустичен буй, пиезокерамична антена, предусилвател за пиезокерамична антена, радиомрежа.

1. Въведение.

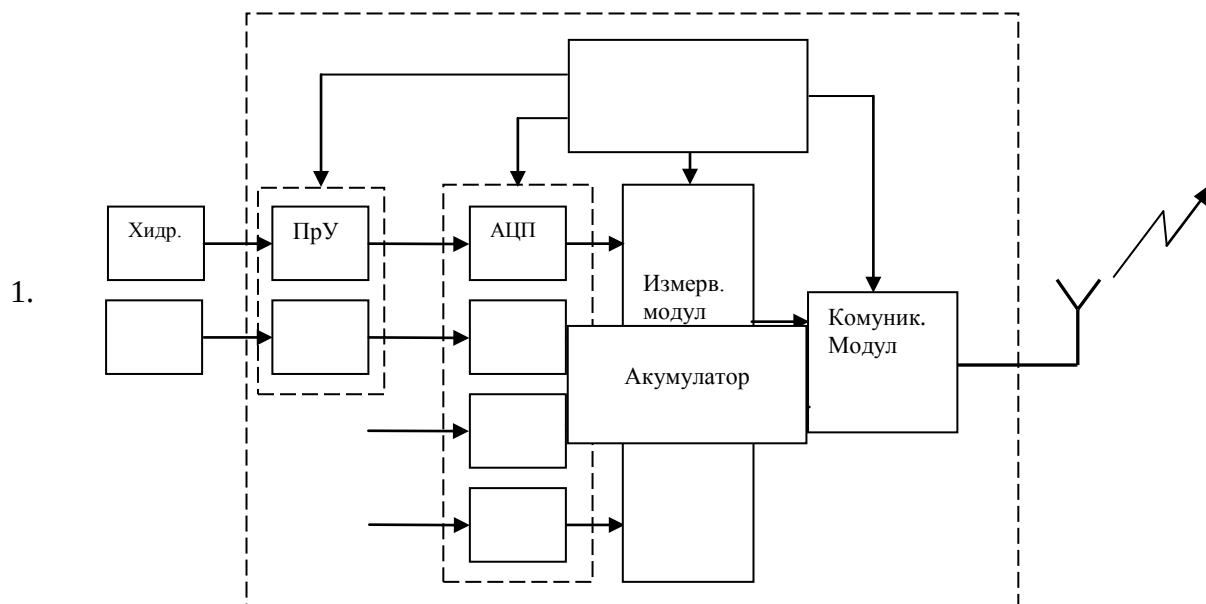
От историческа гледна точка, въвеждането в експлоатация на радиохидроакустичните буйове преди и по време на Втората световна война, дава съществен тласък в развитието на радиохидроакустичните системи за наблюдение и е отправна точка при изследване и реализация на съвременни системи. Те работят на пасивен принцип и предават звуковия сигнал от шумящ подводен обект по радиоканал в реално време до командния пост, където оператор извършва класификация на контакта. В последствие, за увеличаване на отношението сигнал шум, при нискошумящи обекти, започва използването на активни източници на звук (управляеми звукови генератори или подводни взривове) в поле от сензорни буйове. В част от съвременните системи има устройства за цифрова корелационна обработка на сигнала от хидроакустичните буйове в приемния пост.

Във ВВМУ „Н. Й. Вапцаров” има традиции в обучението и научните изследвания в хидроакустиката и хидроакустичните системи. В недалечното минало е разработен проект на радиохидроакустичен буй “Чайка”. Буйт е проектиран, разработен е опитен образец и е предаден за производство на “нулева” серия в специализиран завод. С участието на специалисти от ВВМУ е организирано производството на пиезокерамични електроакустични преобразуватели, с приложение в сферата на хидроакустичните системи. ВВМУ подпомага Хидрографска служба на ВМС при обработването на данните от изследванията на хидрологията на Черно море. Информацията за специфичните хидрологични данни и скоростта на звука в Черно море е анализирана и достъпна за оценка и моделиране. За нуждите на Института по аерохидродинамика е разработена ултразвукова хидроакустична система за определяне на местоположението на корабни модели, при маневрирането им в изпитателен басейн, с размери 40x50 m. Състои се от четири хидрофона, чрез които се определя местоположението, като се измерва синхронно времезакъснението на излъчен сигнал от плаващия съд. Резултатите от измерването постъпват в компютърна система, където след обработване се определят маневрените

характеристики на модела. Точността на системата е между 2 и 4 cm. Със създаването на Военноморския изследователски център на ВВМУ допълнително се интензифицираха научните изследвания в последните години. В периода 2008-2010 г. се модернизира по научен проект, финансиран от Фонд научни изследвания на МОНМ, съществуващата и уникална за страната хидроакустична (ХА) лаборатория, което даде допълнителен тласък на експерименталните изследвания, чрез нова апаратура и програмно осигуряване [2]. Разработи се методология за импулсни измервания в басейна. Проведеха се начални експерименти в ХА басейн и на море, за проверка възможността за реализация на бистатична ХА система за подводно наблюдение, уточняване на параметрите на системата и методите за обработка на сигнала. Всички тези резултати са предпоставка и за разработването на радиохидроакустичната измервателна система. Тя е разработена в първия етап на проект „Адаптивна сензорна мрежа за подводно наблюдение“, финансиран от национален фонд “Научни изследвания” [1]. Проектът се разработва по договор ДДВУ02/83 от 20.12.2010 г след конкурс „Стимулиране на научните изследвания в държавните висши училища“. В основата на научния проект е изследването на разнесена система от подводни приемници/предаватели – мултистатична хидроакустична система, работеща в пасивен/активен режим.

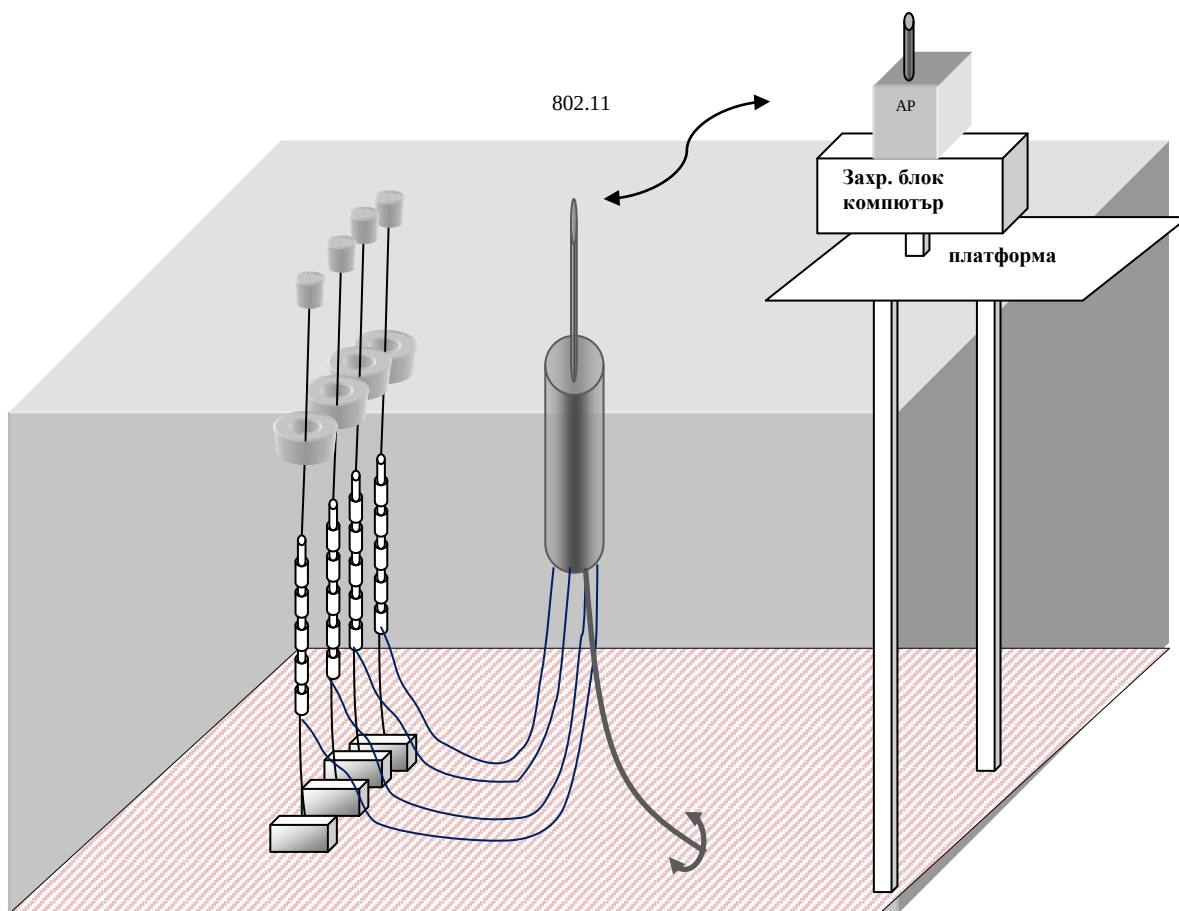
2. Експериментален модел на котвена радиохидроакустична измервателна система.

За реализиране на експериментална многоканална ХА система се разработи конструктивна схема за разполагане на компонентите в корпус на стандартен радиохидроакустичен буй, специално заделен за целта [1]. На основата на Wi-Fi 802.11 концепция, се изгради радиомрежа, свързваща измервателен четириканален модул на National Instruments, с повишена чувствителност на измервателните канали и мрежов Wi-Fi комуникационен модул. Блокова схема на експерименталния модел на измервателната система е представена на фиг. 1



Фиг. 1. Блокова схема на експерименталния модел на радиохидроакустичната система

Структурната схема на опитната постановка и принципът на използване на измервателната хидроакустична система са представени на фиг. 2.



Фиг. 2. Структурна схема на постановка и принцип на използване на радиохидроакустичната система

1. Изследване на компоненти на измервателната радиохидроакустична система.

1.1. Хидроакустична антена.

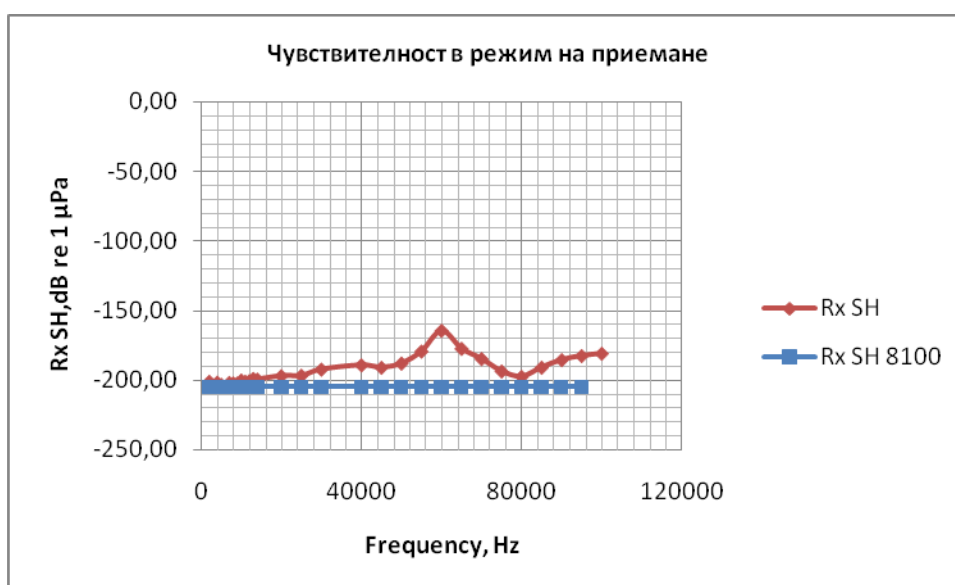
Антените на ХА система са щатните на радиохидроакустичния буй. Чувствителността на пиезокерамичната антенна решетка в режим на приемане е измерена в хидроакустичния басейн на ВВМУ, при автоматичен импулсен режим на работа на ХА измервателна система, като данните от измерването са представени на таблица 1.

Таблица 1

Зададена честота, Hz	Измерена честота, Hz	Прод. на имп. τ , mS	Чувств. на $PrU, B\&K$, mV/Pa	Дист, m	Ниво P , dB re 1 μP	Напр на $Пд.$ хидр., V	Напр на PrU , V	Напр на $Пд.$ хидр., dB/V	Ниво P , SPL, dB re 1 μP	Ниво P , SPL, dB re 1 μP , BK8104	Чувств. на преобр., RXSH, dB re 1 μPa
2000	1798,37	1	100	2,57	120,04	36,33	0,1	31,21	80,64	76,88	-201,14
3000	3226,92	1	100	2,62	120,86	36,37	0,12	31,21	81,28	82,49	-203,69
4000	3906,25	1	100	2,58	125,71	36,36	0,2	31,21	86,27	89,43	-201,73
5000	5045,97	1	100	2,6	130,6	36,38	0,32	31,22	91,08	92,63	-203,35
6000	5983,41	0,5	100	2,62	132,45	36,34	0,44	31,21	92,88	92,99	-204,78
7000	7042,31	0,5	100	2,63	135,37	36,36	0,56	31,21	95,76	98,70	-201,95
8000	8097,92	0,5	31,6	2,75	137,71	36,38	0,23	31,22	97,71	100,24	-202,37
9000	9009,02	0,5	31,6	2,75	138,63	36,4	0,28	31,22	98,62	101,12	-202,40
10000	10073,6	0,5	31,6	2,74	139,36	36,38	0,32	31,22	99,39	104,03	-200,26
11000	11041,27	0,5	31,6	2,65	140,79	36,36	0,32	31,21	101,11	104,86	-201,15
12000	12018,52	0,5	31,6	2,65	141,97	36,46	0,4	31,24	102,27	106,51	-200,66

13000	12973,75	0,5	31,6	2,65	142,69	36,36	0,45	31,21	103,01	108,78	-199,13
14000	13995,02	0,5	31,6	2,65	143,28	36,49	0,49	31,24	103,57	108,91	-199,56
20000	19998,35	0,5	10	2,63	146,64	36,37	0,23	31,21	107,03	114,85	-197,08
25000	24998,07	0,5	10	2,64	150,25	36,37	0,28	31,21	110,60	118,64	-196,87
30000	29990,23	0,5	10	2,64	149,1	36,54	0,34	31,26	109,41	121,93	-192,39
40000	40061,49	0,5	10	2,64	153,04	36,35	0,43	31,21	113,40	128,98	-189,32
45000	45140,22	0,5	10	2,65	157,11	36,51	0,47	31,25	117,40	131,22	-191,07
50000	50005,2	0,5	10	2,63	156,97	36,33	0,42	31,21	117,37	134,24	-188,03
55000	55006,7	0,5	10	2,63	149,76	36,47	0,37	31,24	110,12	135,63	-179,39
60000	59994,93	0,5	10	2,64	135,44	35,93	0,43	31,11	95,90	136,32	-164,48
65000	64996,82	0,5	31,6	2,64	147,93	36,53	0,99	31,25	108,24	135,72	-177,42
70000	69996,19	0,5	10	2,64	155,19	36,42	0,45	31,23	115,53	135,63	-184,80
75000	75002,97	0,5	3,16	2,66	163,34	36,62	0,33	31,27	123,57	134,73	-193,74
80000	79936,31	0,5	3,16	2,66	165,32	35,4	0,32	30,98	125,84	133,11	-197,63
85000	85005,01	0,5	3,16	2,63	156,93	35,74	0,17	31,06	117,47	131,37	-191,00
90000	89986,06	0,5	3,16	2,64	150,29	36,14	0,12	31,16	110,70	130,02	-185,58
95000	95004,66	0,5	3,16	2,64	145,75	35,11	0,11	30,91	106,41	128,68	-182,63
100000	99998,71	0,5	3,16	2,64	142,59	35,86	0,09	31,09	103,07	127,00	-180,96

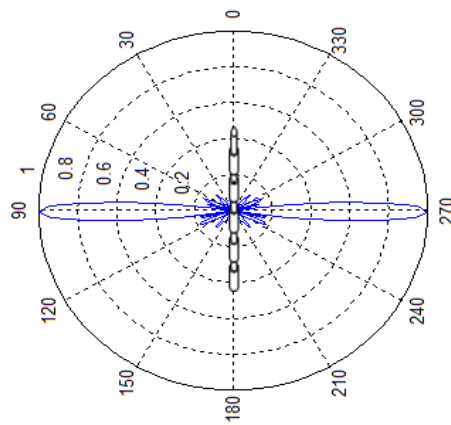
Данните за чувствителността на антената, в режим на приемане, са представени в графичен вид на фиг. 3.



Фиг. 3. Чувствителност на пиезокерамичната антена в режим на приемане

На фиг. 3 чувствителността на антената е сравнена с чувствителността на хидрофон B&K8100. Видна е сравнимост на чувствителностите на двата пиезокерамични преобразувателя, независимо, че антенната решетка се състои от десет пиезокерамични цилиндъра, които обаче са свързани паралелно.

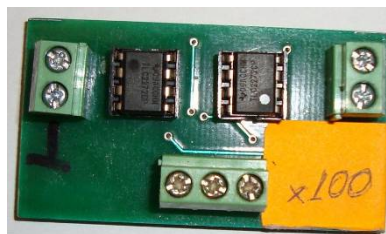
Изчислена диаграма на насоченост на антената за честота 6000 Hz е представена на фиг. 4.



Фиг. 4. Изчислена диаграма на насоченост на антената, за честота 6000 Hz

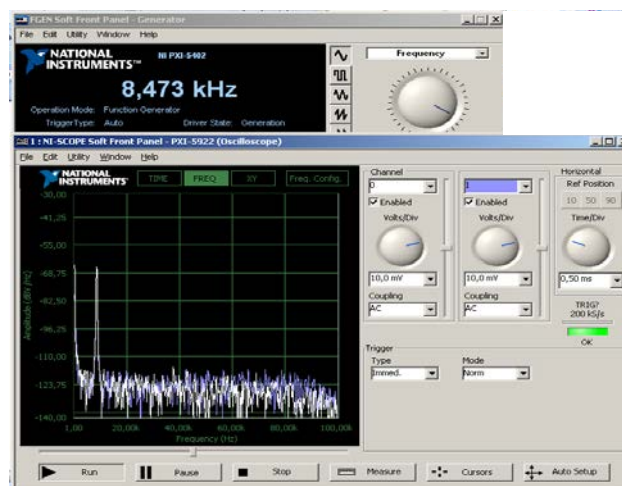
1.2. Предусилвател за пиезокерамична антена.

Разработени бяха няколко варианта на предусилватели за пиезокерамична антена [3]. Приложение за експериментална работа на море намери предусилвателният модул на основа на TLC2272. Реализираният модул е представен на фиг. 5.



Фиг. 5. Външен вид на разработения модул

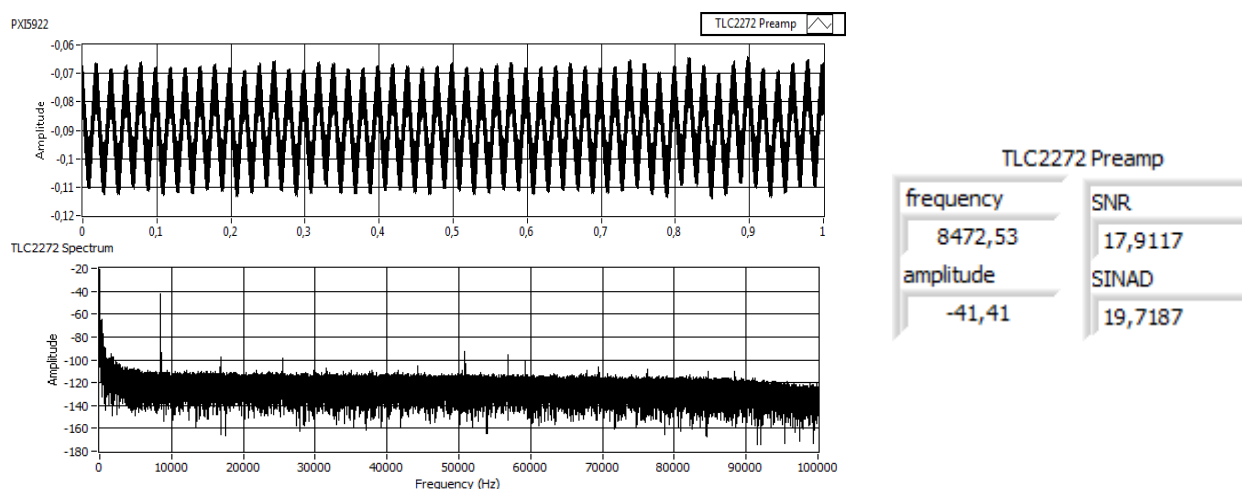
С разработения модул бяха извършени експериментални изследвания в хидроакустичната лаборатория на ВВМУ. При изследванията е използвана измервателна конзола в състав дигитайзер PXI5922, генератор PXI5402 на фирма National Instruments и програмируем усилвател BK2692 на фирмата Bruel & Kjaer, използван като опорен уред за сравнение. Използваните излъчвач и приемач хидрофони са тип BK8100. Софтуерните панели за управление на дигитайзера и генератора са представени на фиг. 6.



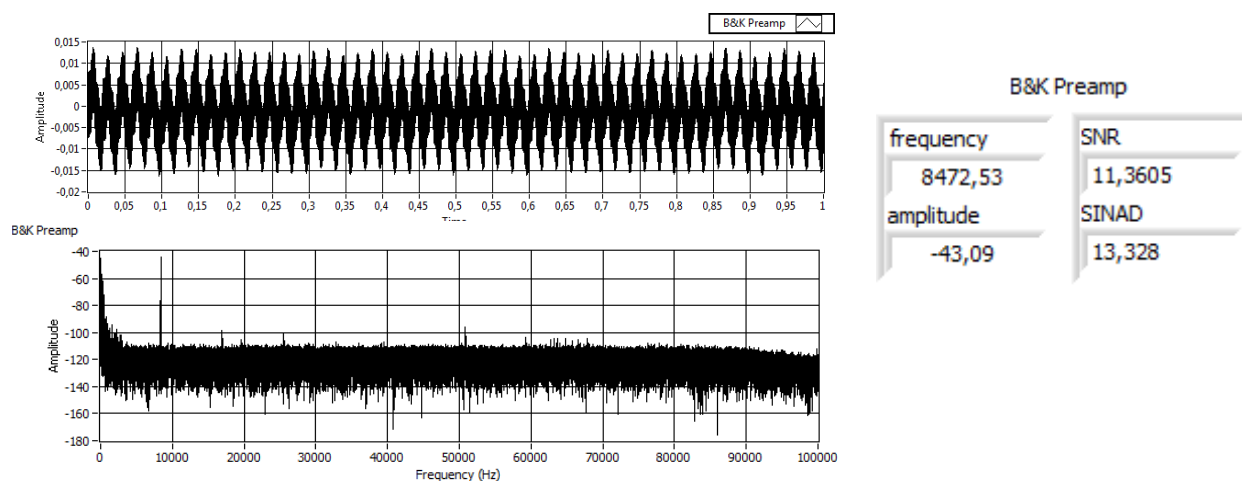
Фиг. 6. Софтуерни панели за управление на дигитайзера и генератора и сигнали на изхода на предусилвател с TLC2272 и еталонен предусилвател B&K

Коефициентът на усилване е измерен по метода на сравнението. Измерванията са направени в честотна лента 100 Hz – 20 kHz с виртуалния инструмент TONE MEASUREMENTS от пакета SOUND AND VIBRATION на LabVIEW, на база на записаните сигнали с дигитайзера PXI5922. Дигитайзерът е от тип за измерване на вибрации и записите са направени в най-чувствителния му режим на работа - 200 kHz честота на дискретизация, с разрядност 24 bit. При метода на сравнението, коефициентът на усилване е 68.3 или 36.7 dB, при коефициент на усилване на B&K предусилвателя 35 dB (той се променя стъпално и това е най-близката стойност до коефициента на усилване на разработения предусилвател). Този коефициент на усилване съответства на чувствителност $3.16 \frac{mV}{Pa}$ на предусилвателя, за измервания в основната единица за звуково налягане – паскали (Pa).

На фиг. 8 е представено сравнение на параметри на разработения усилвател на базата на TLC2272 (фиг. 7 а) и усилвателя на Bruel & Kjaer (фиг. 7 б). От направените сравнителни измервания се вижда, че разработеният усилвател притежава съотношение сигнал/шум, което е съпоставимо и по-добро в указаната честотна лента от това на еталонния усилвател на Bruel & Kjaer.



Фиг. 7 а. Параметри на сигнала на изхода на предусилвател с ОУ TLC2272



Фиг. 7 б. Параметри на сигнала на изхода на еталонния предусилвател Bruel & Kjaer

3. Натурни изследвания с експерименталния модел на радиохидроакустичната система.

Експерименталната радиохидроакустична система бе подложена на изпитания за херметичност и тест на работоспособност в хидроакустичния басейн на ВВМУ. В последствие се извърши постановка на море от пирс и работа със системата. През лятото на 2012 г. се извършиха две успешни постановки на системата от лодка в плитководен район и се регистрира нормална работа с апаратура, разположена на брега.



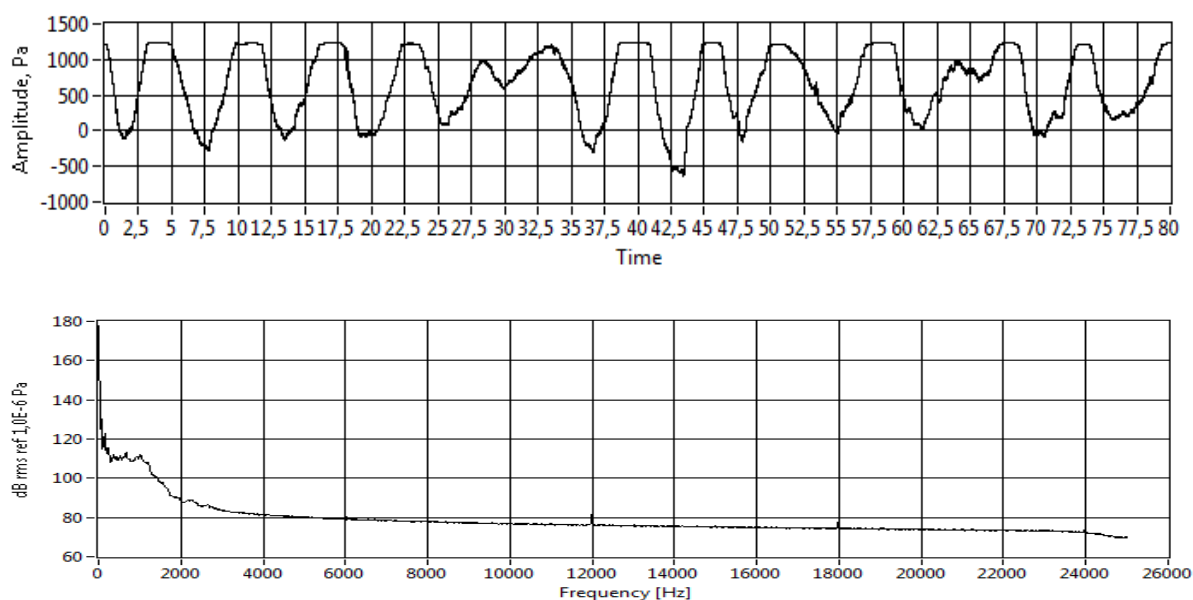
Фиг. 8. Предварителни тестове на системата на 12.05.2012

Експериментална работа със системата на 01.08.2012 по време на съвместен натурен експеримент по научния проект, с изследователи от Морски Университет Констанца, е представена на снимките от фиг. 9.

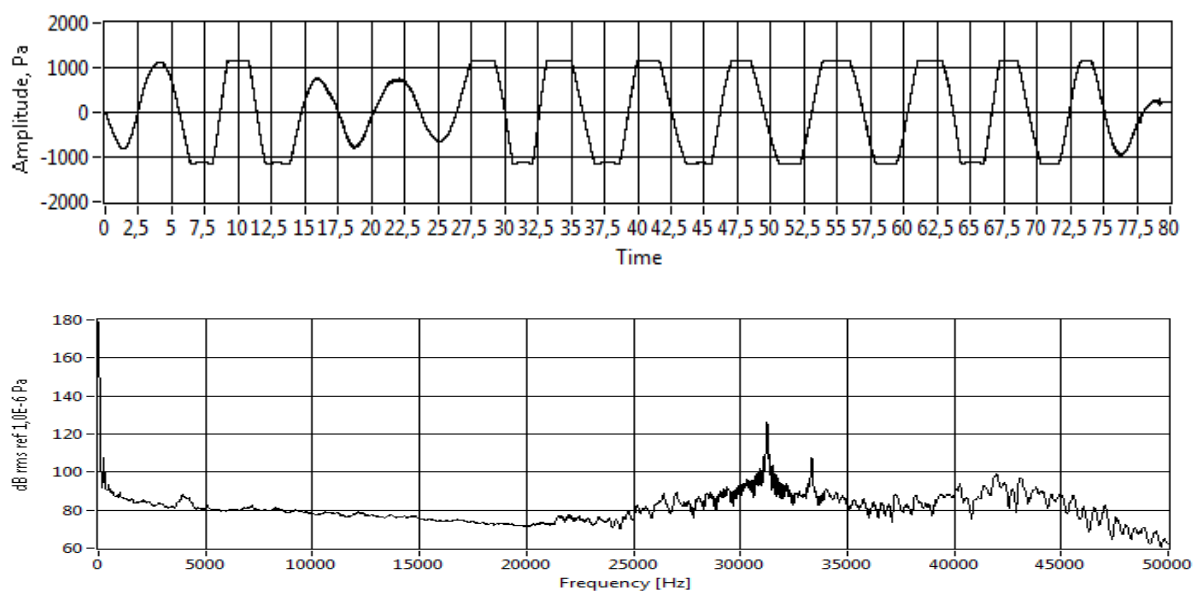


Фиг. 9. Експериментална работа със системата на 01.08.2012 по време на съвместен натурен експеримент по научния проект, с изследователи от Морски Университет Констанца, Румъния

На фиг. 10 и фиг. 11 са представени резултати от оценка на нивото на собствения шум на морето, в района на постановката – параметър, изключително важен за работата на пасивна хидроакустична система, който се мени обикновено във времето и зависи от конкретния район на разполагане и хидрометеорологичните условия. Сравнение е направено между резултатите, измерени с еталонната апаратура B&K и с разработената радиохидроакустична измервателна система, в приблизително равни интервали и еднакви моменти на време. И в двете апаратури има ограничаване на сигнала на изхода на предусилвателите, породено от значителни стойности на налягането, вследствие на вълнението в плитководния район. Наблюдава се сравнимост на резултатите, независимо от значителното разстояние между двете апаратури. На изхода на апаратурата B&K се наблюдава сигнал от работата на транспондер Track-Link в диапазона 30 – 35 KHz.

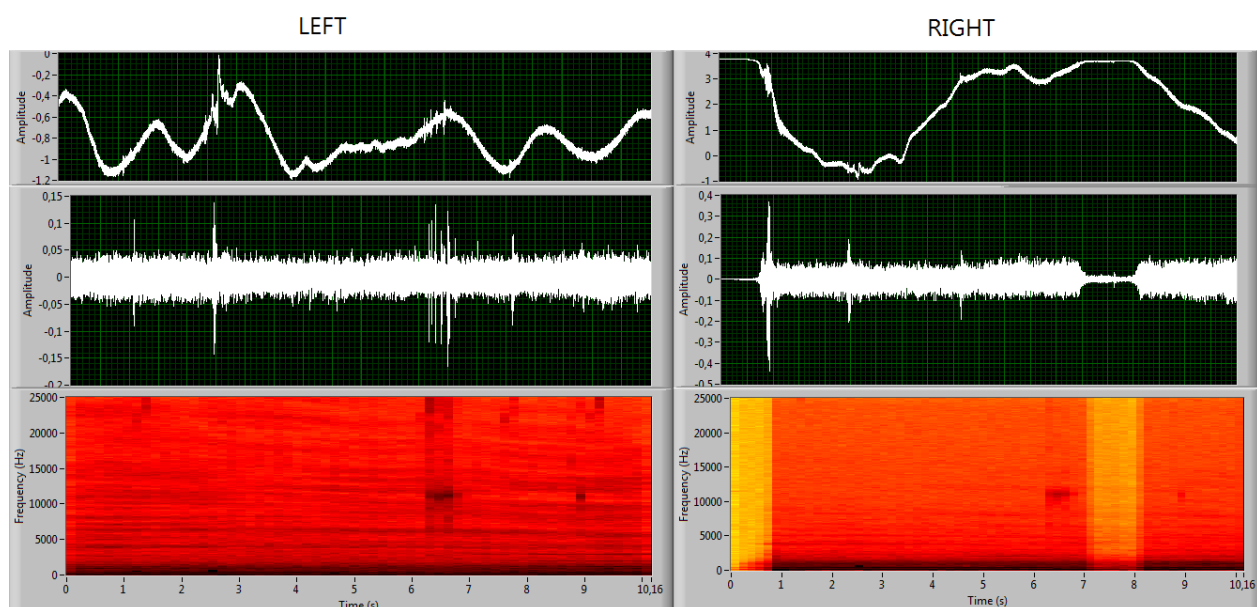


Фиг. 10. Оценка на собствения шум на района (усреднен спектър за 80 s) с радиохидроакустичната система

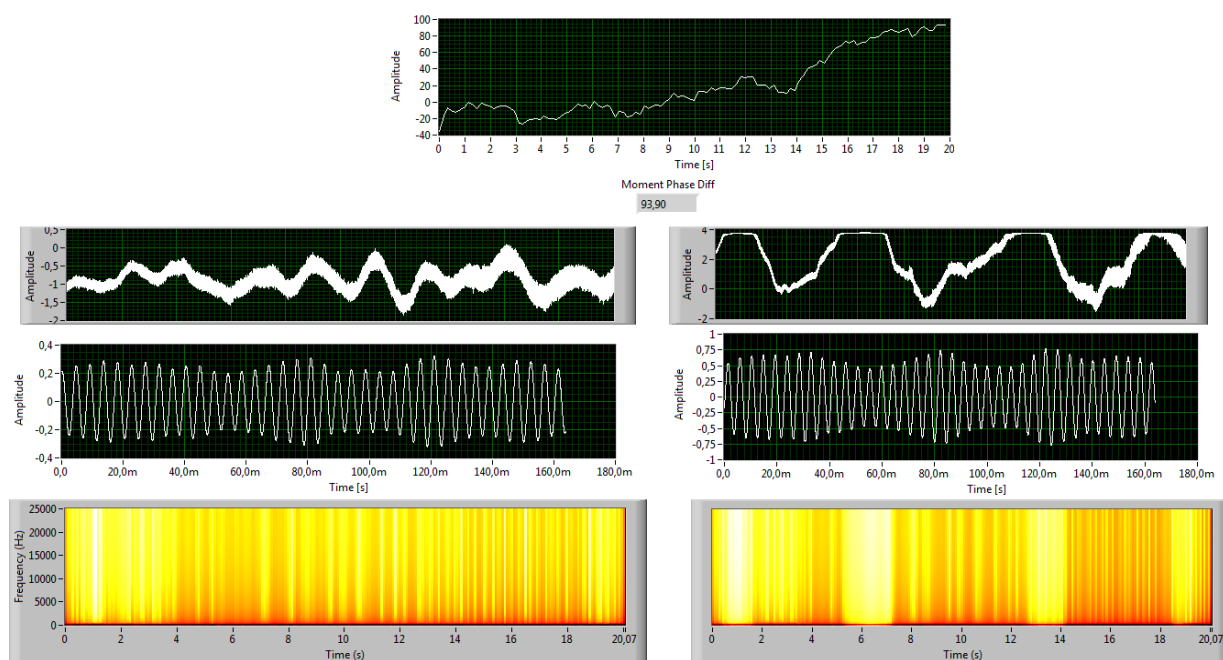


Фиг. 11. Оценка на собствения шум на района с апаратура B&K и NI, разположена на пирса (хидрофон, измервателен усилвател, PXI конзола)

Хидроакустичните сигнали във времевата и честотната области, на изходите на два канала на радиохидроакустичната система, са представени на фиг. 12.



Фиг. 12. Типични хидроакустични сигнали на изходите на два канала на системата



Фиг. 13. Определяне на фазовия ъгъл на нискофреkwентни кохерентни хидроакустични сигнали, на изходите на два канала на радиохидроакустичната система, от бърза моторна лодка, за 20 s измервателен интервал

4. Изводи

- Разработена е котвена радиохидроакустична мрежово ориентирана измервателна система;
- За осигуряване процесите на управление на системата и предаването на данни е изследвана Wi-Fi мрежа за приложение в морски условия;
- Разработен е софтуер за конфигуриране, управление и запис на сигнали в мрежата, в реално време;
- Разработената система се разглежда като базова, за осъществяване на бъдещи натурни многоканални мултистатични експерименти в морски условия;

- Създадена е начална експериментална база хидроакустични сигнали с измервателната система, за изследвания по проекта.

Текуща информация за проекта може да бъде намерена на интернет сайта:

<http://projects.nvna.eu/>.

5. Литература

1. Междинен научен отчет на проект „Адаптивна сензорна мрежа за подводно наблюдение” по Договор ДДВУ-02/83 от 20.12.2010 г. с Фонд Научни Изследвания, ВВМУ, 2012, Рег № 2492/19.07.2012 г.
2. Научен отчет за последния етап по проект „Израждане на научноизследователска лаборатория по хидроакустика”, ВВМУ, 2010, Рег № 1854/06.08.2010 г.
3. Иванов С., Н. Колев, Разработване на предусилвателни модули за керамична сонарна антена, Известия на Технически университет – Габрово, бр. 43, 2012, стр. 84-89 ISSN1310-6686.



АЛГОРИТЪМ ЗА ОТКРИВАНЕ НА ПОДВИЖЕН ИЗТОЧНИК НА ЗВУК В МОРСКА СРЕДА С ПОМОЩТА НА ЕЛЕМЕНТИ ОТ АДАПТИВНА СЕНЗОРНА МРЕЖА

Петър Владимир Иванов
 ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“, Варна
 e-mail: ivanov5ar@abv.bg

1. Въведение

Изучаването на водната среда се извършва с различни технически средства, като се прилагат различни методи. В зависимост от начина си на действие те се делят на две основни групи – активни и пасивни. Активните хидроакустични средства работят, като излъчват звуков сигнал с определени параметри в околното пространство и приемат отразените от подводните обекти ехосигнали. При пасивните средства имаме приемане характерните за даден подводен обект звуци и шумове, които се излъчват от него и се разпространяват във водата. Тези технически средства и методи непрекъснато се усъвършенстват за да може по-добре да изпълняват своите задачи.

Една от задачите, които се решават с технически средства е наблюдението на определена област от водното пространство, откриването на обекти в него и определяне на тяхното местоположение. В рамките на научен проект „Адаптивна сензорна мрежа за подводно наблюдение“ бяха поставени за решаване няколко задачи, свързани със създаването на пасивна система за наблюдение.

2. Разработване на алгоритъм за откриване и определяне на местоположението на подвижен подводен източник на звук в мултистатична система

Разработването на „Адаптивна сензорна мрежа за подводно наблюдение“ налага решаването на две основни задачи:

- създаване на апаратура, която трябва да приема акустични сигнали от определена зона;
- разработване на алгоритми за обработка на приетите сигнали.

Апаратурата, която беше създадена за решаване на тази задача представлява група от два хидрофона за приемане на акустични сигнали разпространяващи се в морска среда и работещи независимо, аналогово-цифрови преобразуватели на всеки отделен канал и система за предаване на данните към компютърно базирана система на брега. За получаване на необходимата информация бе необходимо да се приложат методите на цифрова обработка на сигналите. За целта на базата на разработените алгоритми бяха създадени компютърни програми.

Алгоритмите за обработка на приетите сигнали трябва да осигуряват вземането на решение за наличието или отсъствието на подводен обект в зоната на наблюдение, както и определянето на неговото местоположение. Разработката на алгоритъма бе разделена на две

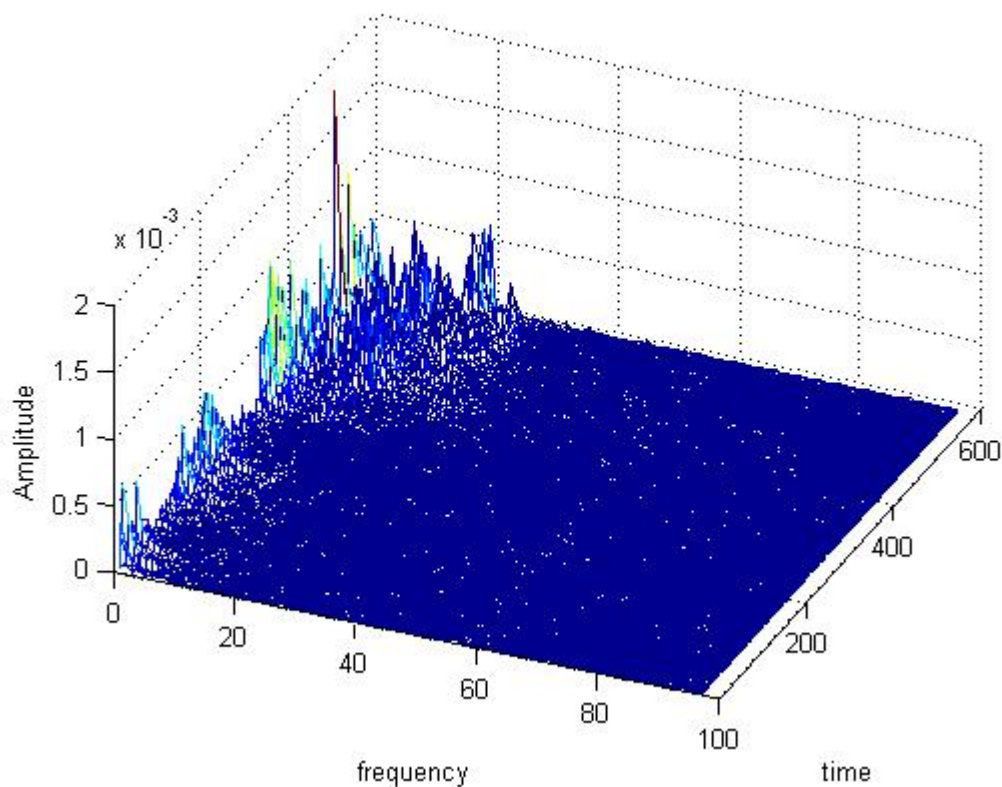
отделни, независими една от друга задачи. Първата задача включва разработването на алгоритъм за откриване на сигнал от известен обект, а втората задача – разработването на алгоритъм за определяне на местоположението на обект, който излъчва или преизлъчва детерминиран сигнал ограничен във времето.

Работата по втората задача бе извършена през 2011 година и бяха направени две публикации в Сборник доклади на Националната научно-техническа конференция АКУСТИКА 2011.

Работата по първата задача бе извършена през 2012 година. Алгоритъмът за откриване на сигнал излъчван или преизлъчван от определен обект се състои от три основни подпрограми:

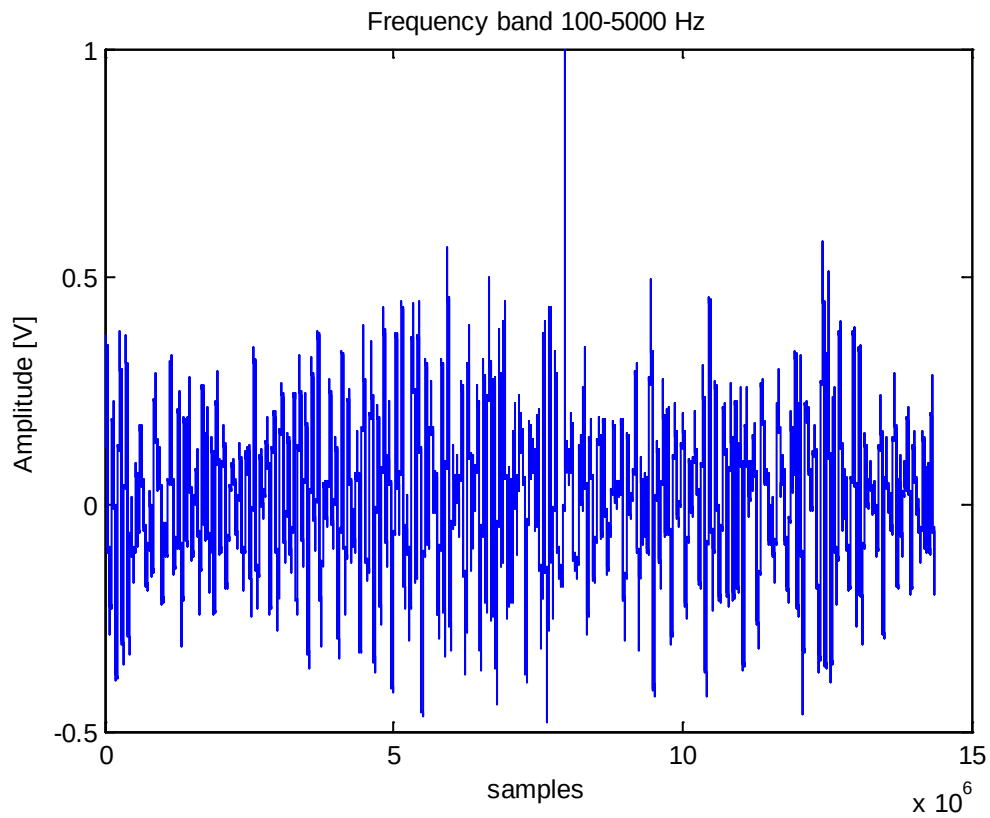
- подпрограма за филтриране на приетите сигнали;
- подпрограма за интегриране на получените резултати;
- подпрограма за сравнение и вземане на решение.

За проверка работоспособността на алгоритмите и програмите бе проведено експериментално изследване в морски условия в южната част на Варненски залив. Изработената за целта апаратура бе поставена в предварително определена точка, където дълбочината на морето бе четири метра. Двата хидрофона бяха позиционирани на два метра дълбочина. Ролята на обект за наблюдение изпълняваше лодка ЯЛ-6 с извънбордов двигател, която се движеше по предварително определен маршрут. По радиоканал данните се предаваха на брега и бяха записвани без предварителна обработка. При първоначалния анализ на направените записи се установи, че данните на единият от каналите не могат да бъдат използвани. Тези записи бяха използвани за проверка на работоспособността на алгоритъма за откриване на обект, който излъчва акустичен сигнал. От всички направени записи бяха подбрани няколко характерни, в които се чува ясно обекта на наблюдение.

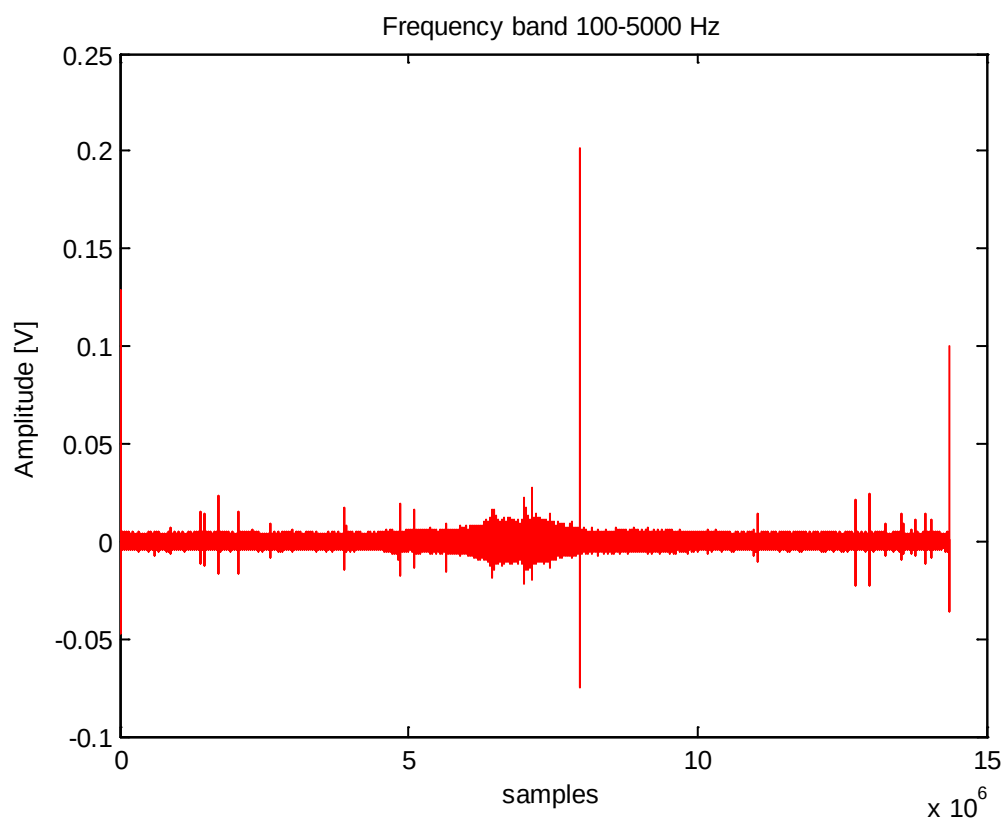


Фиг.1. Амплитудно-честотен спектър на приемания сигнал за времето

от 138 секунда до 143 секунда.

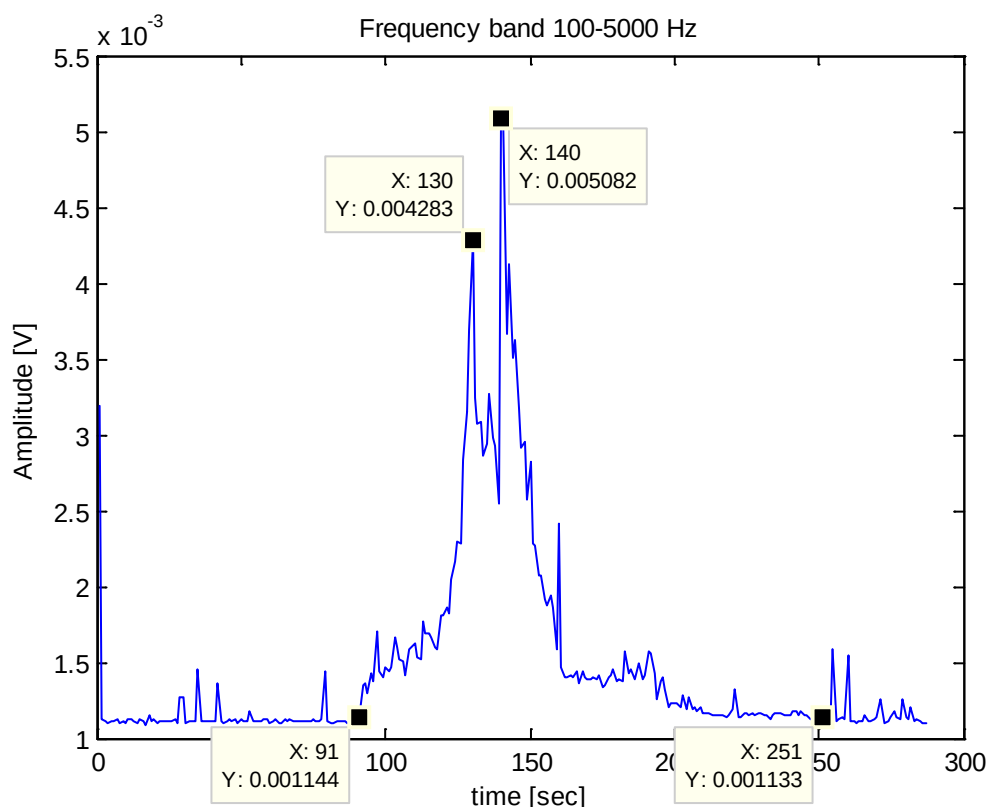


Фиг. 2. Форма на приетия от хидрофона акустичен сигнал.



Фиг. 3. Форма на акустичния сигнал след лентовия филтър.

Бе направен честотен анализ на запис s110121.wav с начало в 11:01:21 ч. и продължителност 287 секунди (4:47 минути). На фиг. 1 е представена формата на амплитудно-честотния спектър на приемания сигнал от 138-та секунда до 143-та секунда от началото на записа. На 140-та секунда полезния сигнал се усилва значително. На фигурата ясно се вижда промяната на амплитудно-честотния спектър на приемания сигнал.



Фиг. 4. Ниво на акустичния сигнал.

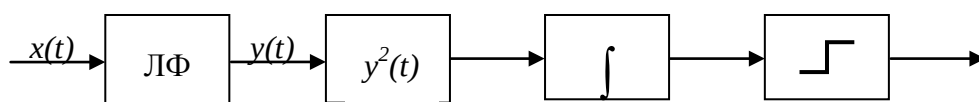
На фиг. 2 е представен приетия сигнал без предварителна обработка, а на фиг. 3 – сигнала след лентовия филтър. Лентовия филтър е синтезиран цифров филтър на Бътъруърт от четвърти ред с долна гранична честота 100 Hz и горна гранична честота 5000 Hz. На фиг. 4 е представено нивото на сигнала, което се получава след интегриране и осредняване. Обозначени са някои характерни точки. В 91-та секунда на записа ясно се чува началото на работата на извънбордовия двигател на лодката. В 130-та секунда лодката минава на малък ход най-близо до приемния хидрофон. В 141-та секунда оборотите на извънбордовия двигател са увеличени и силата на сигнала също се увеличава, след което лодката бързо се отдалечава. Сигналят се губи след 251-та секунда. Положението на лодката се следеше с помощта на GPS устройство и според неговите показания сигнала се губи, когато положението на лодката е на разстояние 274 метра от местоположението на хидрофона.

Общия сигнал, който се приема от хидрофона съдържа освен полезен сигнал и много шумове и други смущения от работата на всички устройства на апаратурата. Затова този сигнал трябва да бъде филтриран. Бе синтезиран цифров филтър на Бътъруърт от четвърти ред с долна гранична честота 100 Hz и горна гранична честота 5000 Hz. Изборът на тези гранични честоти бе направен с цел максимално подтискане на шумовете и смущенията.

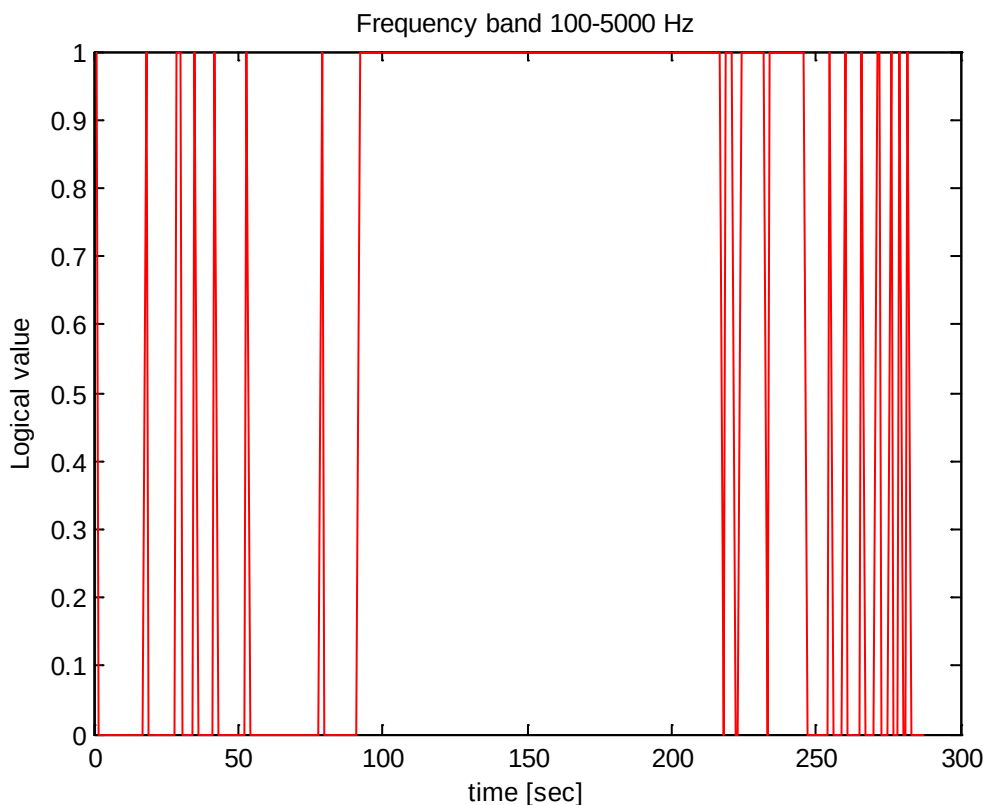
Определяне нивото на приетия сигнал се извършва на следващия етап на обработката на сигнала. Чрез интегриране и осредняване се определя средно-квадратичното значение на сигнала, което представлява неговото ефективно значение. Освен това отчетите стават пропорционални на времето в секунди. По този начин може с точност една секунда да се определи времето, когато сигнала се появява, променя или изчезва. При тази операция освен полезния сигнал се отчитат и всички краткотрайни импулсни смущения, които надвишават значително праговото ниво за вземане на решение.

Праговото ниво бе определено да е по-ниско от значението на сигнала в 91-та секунда и по-високо от минималното значение, което е във 87-та секунда. След прилагане на сравнение между това ниво и нивото на сигнала се получава резултат, значението на който е или нула или единица. С единица се обозначава превишаването нивото на сигнала над праговото. Функционалната схема на алгоритъма за откриване на сигнал от обект е представена на фиг. 5.

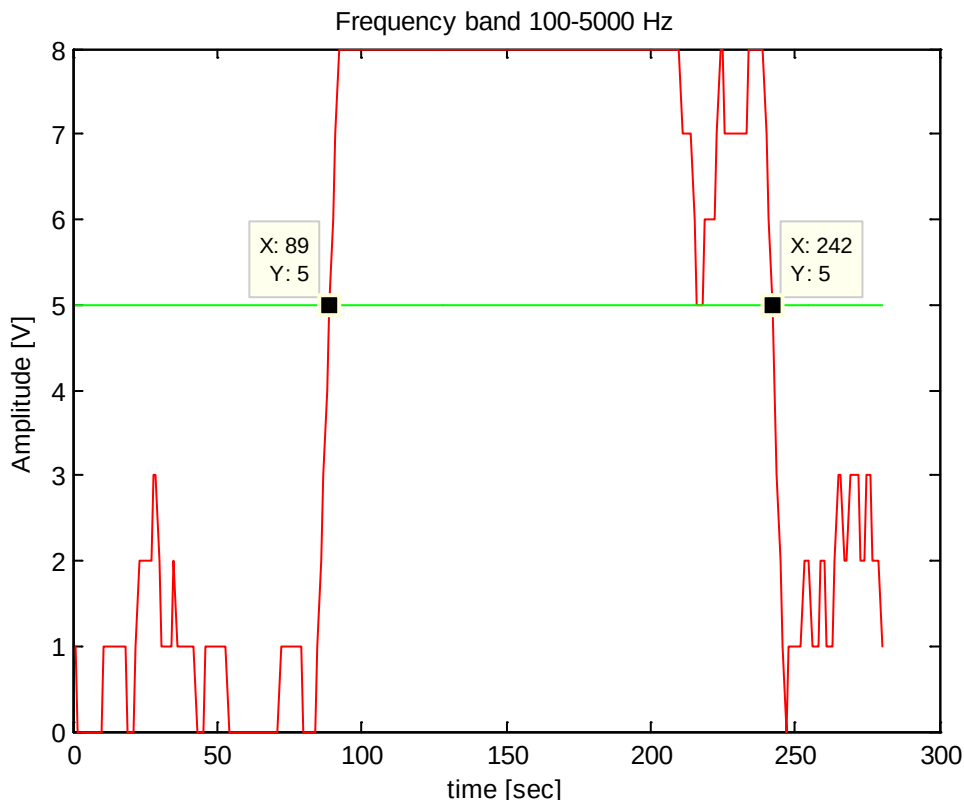
Резултатът е представен на фиг. 6. От тази фигура се вижда, че нивото на сигнала е по-високо от праговото дори когато няма полезен сигнал, но има импулсни смущения. Затова за вземане на окончателно решение се прилага правилото да има N превишавания на сигнала от M последователни отчета, като N е по-малко от M . На фиг. 7 е показано как се формира окончателното решение за наличието или отсъствието на сигнал при $N=5$ и $M=8$. Сигналът се появява на 89-та секунда и съществува до 242-та секунда..



Фиг. 5. Функционалната схема на алгоритъма за откриване на сигнал.



Фиг. 6. Резултат от превишението на сигнала над праговото ниво.



Фиг. 7. Графика на сигнала за вземане на решение по правилото „5 от 8”.

3. Изводи

След проведените изследвания и получените резултати може да се направят следните изводи:

- бе създаден опитен образец на елемент от „Адаптивна сензорна мрежа за подводно наблюдение”, който успешно изпълняваше задачите, заложи при неговото проектиране;
- бе създадена ефективна програма за обработка на приетите акустични сигнали и за откриване на източник на шум;
- автоматичното вземане на решение работи ефективно и в рамките на няколко секунди може да подаде сигнал за наличието на източник на шум;
- поради малките скорости, с които се движат тези шумящи източници, времето от няколко секунди за вземане на решение е напълно достатъчно;
- възникналия проблем с единия приемник не позволи да се провери и възможността за определяне посоката към този източник на шум;

Тази система е напълно работоспособна и може да послужи за модел за създаване на „Адаптивна сензорна мрежа за подводно наблюдение” и успешно да се приложи в практиката.

И з п о л з в а н а л и т е р а т у р а:

1. Р. Дж. Боббер, Гидроакустические измерения. – М.: Мир, 1974.
2. Справочник по гидроакустике / А. П. Евтютов, А. Е. Колесников, Е. А. Корепин и др.
3. Урик Р. Д., Основы гидроакустики, Ленинград, „Судостроение”, 1978.
4. Шелухин О. И., Радиосистемы ближнего действия. – М.: Радио и связь, 1989. – 240 с.
5. Яковлев А.Н., Каблов Г. П., Гидролокаторы ближнего действия. – Л.: Судостроение, 1983. – 200 с. – (Библиотека инженера-гидроакустика).

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДЕГРАДАЦИЯ НА СТОМАНА ВСЛЕДСТВИЕ НА УМОРА

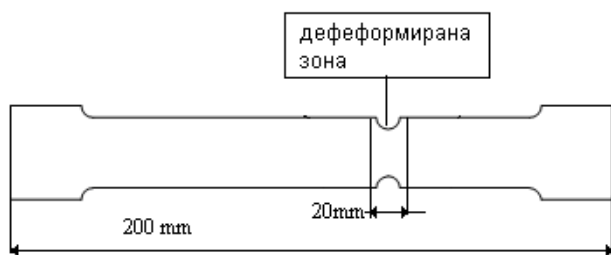
Й. Иванова, Т. Парталин

Голяма част от елементите и конструкциите в техниката са подложени на действието на променливи, циклично повтарящи се натоварвания в процеса на експлоатация, в резултат на което в материалите се зараждат и развиват микропукнатини, които се разрастват в макропукнатини и детайлите се разрушават.

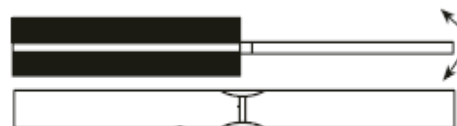
Процесът на постепенно натрупване на повреждания, в резултат на които настъпват необратими изменения в структурата, като промяна на дислокационната структура и плътността на ваканции, натрупването на микропори, микроповреждания и поява на микронапрежения предизвиква умора на материала и води до промяна в свойствата и структурата на материалите, така нар. деградация на материала [1,2].

Изследването на промените в материалите в резултат на умора с методи за безразрушителен контрол е актуална тема. В литературата съществуват голям брой публикации и изследвания, проведени с алуминиеви и желязовъглеродни сплави след умора. В голяма част от тях се дискутира влиянието на протичането на процесите на умора и възможностите на други средства за доказване на такива изменения, освен класическите [3-12]. Особено чувствителни са ултразвуковите методи, като следящите параметри за идентификация на състоянието са скорости и затихване на вълните. Друг подход и физичен метод, който е чувствителен към структурните промени, е методът на магнитните шумове [10-12]. Въпреки големия брой резултати, проведените изследвания с методи за безразрушителен контрол са до голяма степен нееднозначни, поради комплексното влияние на структурните характеристики върху измеряемите безразрушителни параметри.

Именно затова цел на настоящата работа е изследване и идентифициране на деградацията на материалите вследствие умора чрез едновременно прилагане на методи и средства на БК, а именно ултразвуков метод и магнитен шум на Баркхаузен. За провеждане на изследването са подготвени образци, с общ вид показан на фиг.1а, в които след различни брой цикли на огъване се получава зона на умора. Уморното натоварване се провежда в стенд, като образецът на изпитване е конзолно закрепен и е подложен на огъване последователно в двете посоки до остатъчна деформация около 5 % (фиг.1б).



Фиг.1 а



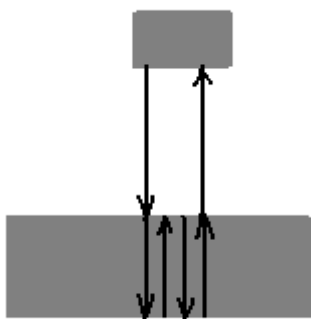
Фиг. 1б

Реализирана е малоциклова умора. С различни брой цикли са получени различни степени на деградация (пластично деформиране) вследствие умора 30, 55 и 85%. Зоната на деградацията на материала е ограничена в участъка на направените изрези на образците, където механичните напрежения надвишават границата на пластичност на материала.

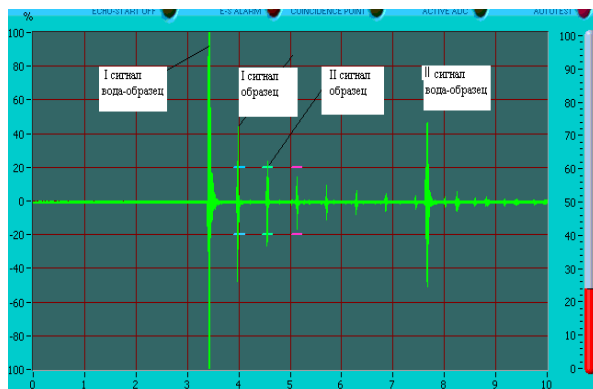
Ултразвукови изследвания

Използва се имерсионен вариант на ехо метод, показан на фиг.2. Този метод е избран с оглед намаляване на влиянието на контакта между осезател и образец и за осъществяване на еднакви условия на ултразвуковото изпитване. На фиг.3 са показани I и II ултразвукови сигнали от границата имерсионна течност –образец и няколко поредни ултразвукови дънни сигнали, отразени от срещуположната повърхност на образците.

Ултразвуковите изследвания се реализират с компютъризиран ултразвуков апарат със честота на семплиране 160MHz и разделителна способност 1ns и имерсионен осезател с работна честота 10 MHz. Епруветката се сканира по дължина, като неколккратно се преминава през деформираната зона. Получени са А и В-скан изображения. Регистрирани са и са записани ултразвукови сигнали от различно деформираните образци, както по дължината на всеки един от тях.

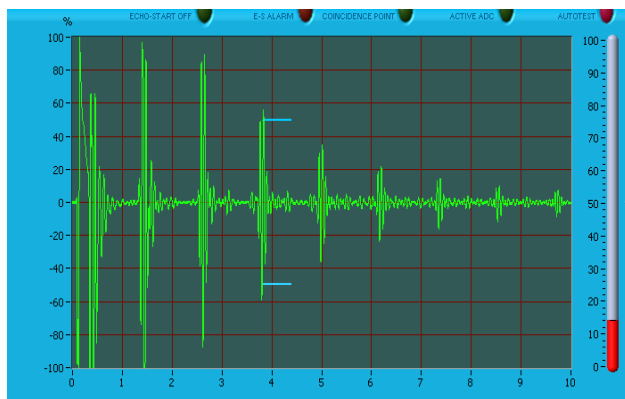


Фиг.2. Схема на имерсионен вариант на импулсен ехо метод

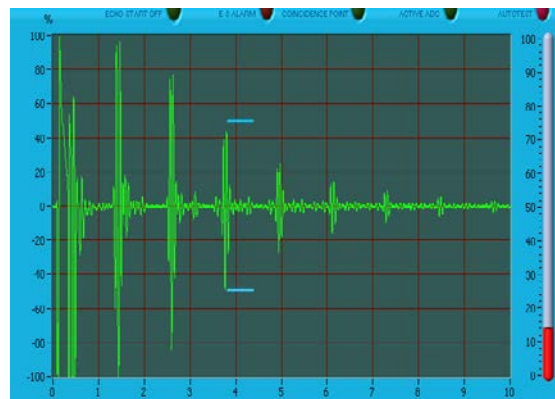


Фиг.3 Ултразвукови сигнали при имерсионен вариант на ехо метод

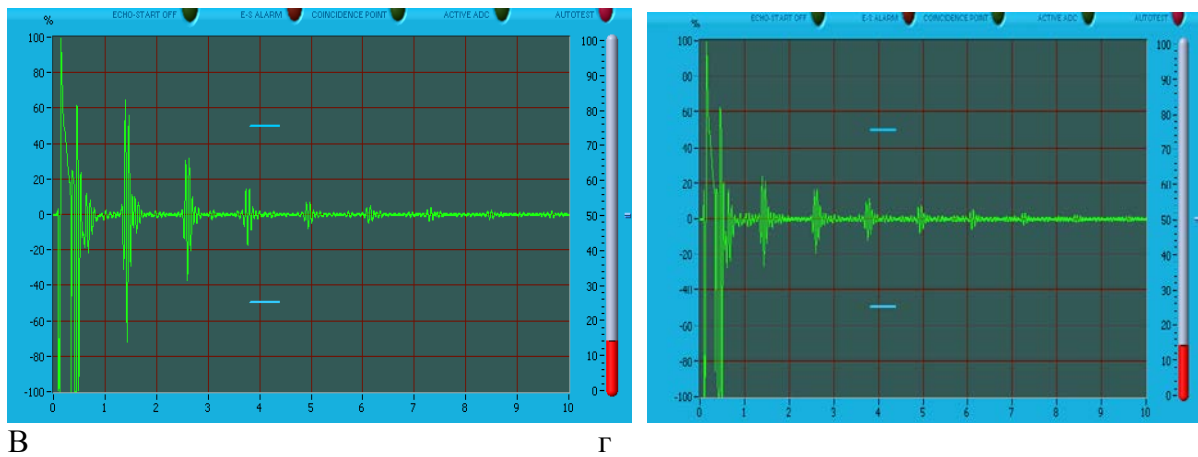
На фиг. 4 са показани А-скан изображения на ултразвукови сигнали от образец без умора 0% (а), и след циклични натоварвания с установена с степен на деградация 35% (б), 50% (в) и 85% (г)



а

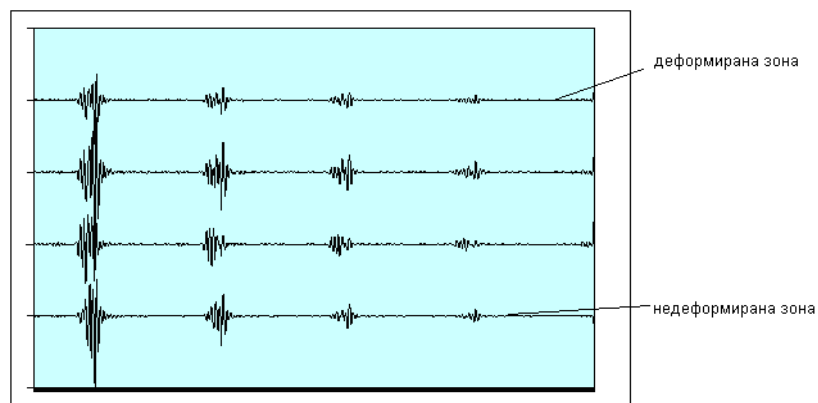


б

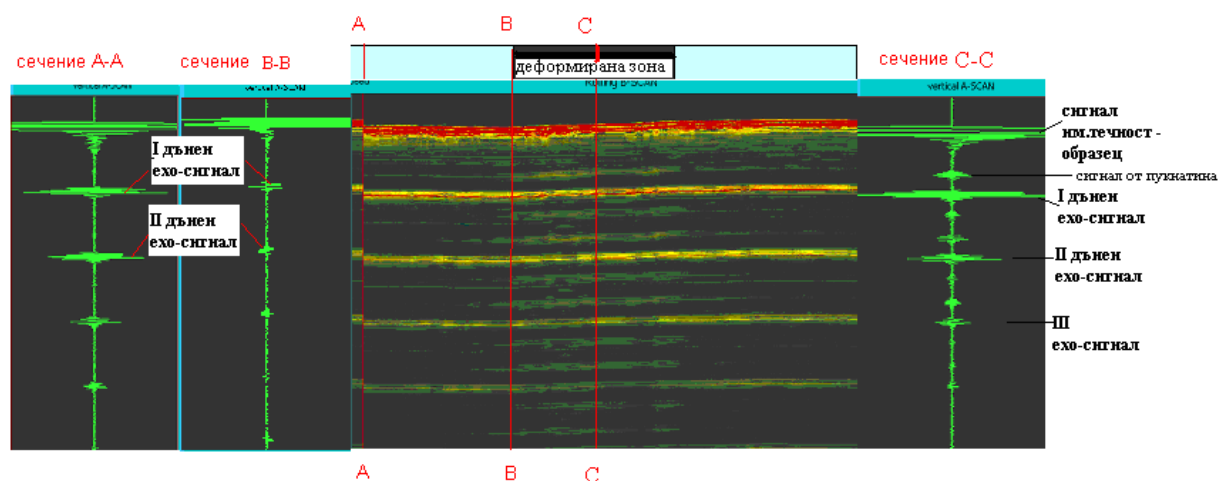


Фиг.4 А-скан изображения на ултразвукови сигнали от зоната на деформиране при образци с различна степен на деградация вследствие на умора

Фигура 5 представя ултразвукови сигнали, получени по дължина на един образец. В деформираната зона са регистрирани сигнали, които са силно видоизменени и затихнали в сравнение със сигналите от недеформираните части.



Фиг.5. Ултразвукови сигнали по дължина на образец



Фиг.6. В-скан изображение на ултразвукови сигнали при сканиране на образец

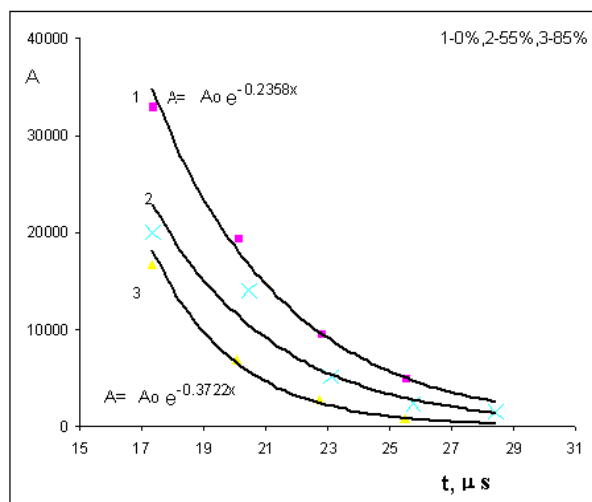
На фиг. 6 с дадено В-скан изображение по дължината на образец с максимална уморна деградация в едно сечение по ширина. Зоната на деформиране, локализирана около изрезите е ясно различима. Наблюдават се няколко поредни ехо сигнали от дъното

(срещуположната страна). В местата без деформация се наблюдават само дънни ехо-сигнали (сечение А-А, А-скан). При същото работно усилване в участък от деформираната зона се наблюдава затихване на дънните сигнали, сечение В-В, А-скан. В друга част от деформираната зона (сечение С-С) освен дънните сигнали се виждат и други сигнали, които се дължат на пукнатини, вследствие на уморното натоварване.

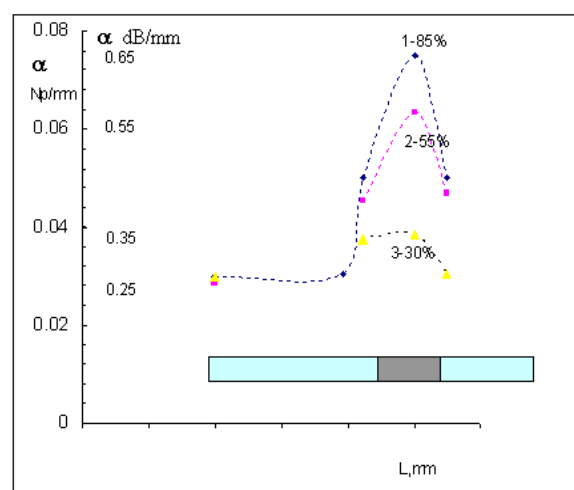
Количествено затихването на ултразвуковите вълни се определя при използване на метода на многократните еха. Амплитудата на преминаващата през материал с определена дължина вълна затихва по експонента, като $\alpha\alpha$ е коефициент на затихване ($\text{Np}/\mu\text{s}$), t – времето на преминаване на ултразвука в материала:

$$A = A_0 e^{-\alpha\alpha t}$$

На фиг. 7 са показани експонентите при затихванията на ултразвукови сигнали от ненатоварен образец, образец с деградация 55 и 85%. Коефициентът на затихване α в Np/mm се получава като се раздели стойността на $\alpha\alpha$ на експериментално определената скорост на ултразвуковите вълни в материала. На фиг. 8 е дадено изменението на коефициента на затихване при различен брой цикли на умора, респ. различна степен на деградация. Най-голямо е затихването на ултразвуковите вълни в образца с максимален брой цикли на натоварване. Различими са образците, преминали по-малко цикли на умора (криви 2 и 3). Не са регистрирани изменения в затихването извън деформираната област.



Фиг.7

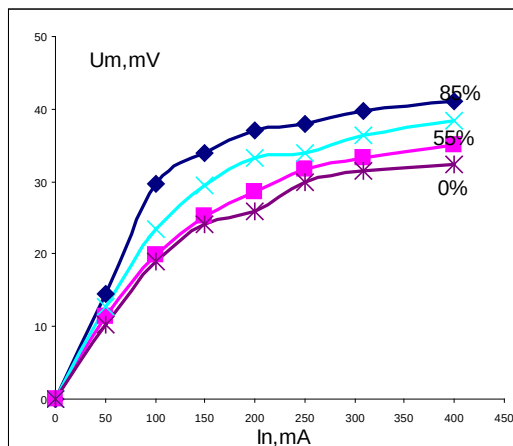


Фиг.8

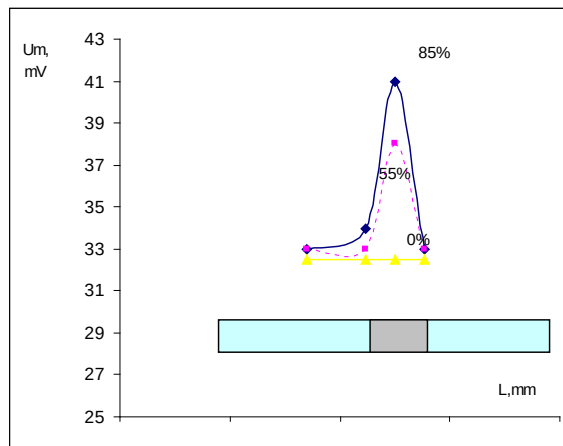
Изследвания с шум на Баркаузен

Магнитошумовите изследвания са проведени с уред MULTITEST MC10. Той е предназначен да измерва магнитошумово напрежение U_m , което се получава при пренамагнитване на феромагнитни материали. Измерванията са извършени при различни токове на намагнитване. Направени са измервания при различна ориентация на магнитошумовия преобразувател. Измерванията са в точки по линия по дължината на образца, преминаваща през зоната на умора. Резултатите при различни токове на намагнитване са показани на фиг.9. След циклични натоварвания стойностите на магнитошумовото напрежение се увеличават спрямо тези от образца без умора. На фиг. 10 е показано разпределението на магнитния параметър (магнитошумово напрежение) по дължината на образца при максималния ток на намагнитване $I_n=400\text{ mA}$. В деформираната зона от образца е регистрирано максимално увеличаване на магнитния параметър с около 24 % спрямо недеформираната част при образци с

максимален брой уморни натоварвания и 85% степен на деградация на микроструктурата.



Фиг. 9



Фиг.10

Заклучение

- Състоянието на умора се идентифицира с използване на метод на магнитните шумове и ултразвуков метод
- Умората предизвиква увеличаване на магнитошумово напрежение и затихване на ултразвуковите сигнали, получени от деформираната област.
- Комбинацията от двата метода може да се използва за диагностика на конструкции, подложени на променливи натоварвания
- Необходимо е продължаването на изследванията с едновременно прилагане на методи с различна физична основа за намиране на критерии за идентифициране и разграничаване на състояние на умора от механични натоварвания, от термични натоварвания или поради други причини, както и за локализиране на зони в критично състояние

Литература

1. Анчев В., Физика на металите, ВМЕИ-София, 1990.
2. Христов Ст., Изпитване на материалите, ВМЕИ-София, 1989.
3. T. Ohtani K. Nishiyama, S. Yoshikawa, H. Ogi, M. Hirao, Ultrasonic attenuation and microstructural evolution throughout tension-compression fatigue of a low-carbon steel, *Materials Science and Engineering A* 442 (2006) 466–470
4. Hirotsugu Ogi, Takayuki Hamaguchi, Masahiko Hirao, In-situ monitoring of ultrasonic attenuation during rotating bending fatigue of carbon steel with electromagnetic acoustic resonance, *Journal of Alloys and Compounds* 310 (2000) 436–439
5. X. H. Min and H. Kato, Change in ultrasonic parameters with loading and unloading process in cyclic loading of aluminium alloy, Internet, http://www.lbl.gov/ritchie/Library/PDF/ROR_IJFract99.pdf
6. V. V. Mishakin, M. Yu. Naumov, S. V. Mishakin, and N. V. Kassina, Development of an Acoustic Method for Assessing the Damage to Metal Alloys before Formation of a Macrocrack *Journal of Nondestructive Testing*, 2007, Vol. 43, No. 10, pp. 677–682.
7. M. Hirao, H. Ogi, N. Suzuki and T. Ohtani, Ultrasonic attenuation peak during fatigue of polycrystalline copper, *Acta mater.* 48, 517±524, (2000)

8. To Kang, Hun-Hee Kim, Sung-Jin Song, Hak-Joon Kim, Characterization of fatigue damage of Al6061-T6 with ultrasound, NDT&E International 52 51–56 (2012) .
9. Yoshio Arai, Hideaki Naomi and Islam Md. Nurul, Evaluation of Low Cycle Fatigue Crack Initiation Life using Scanning Acoustic Microscope, Proceedings of the XIth International Congress and Exposition June 2-5, 2008 Orlando, Florida USA, 2008 Society for Experimental Mechanics Inc.
10. S. Palit Sagar, N. Parida, S. Das, G. Dobmann, D.K. Bhattacharya, Magnetic Barkhausen emission to evaluate fatigue damage in a low carbon structural steel, International Journal of Fatigue 27 (2005) 317–322
11. Vincent A , L. Pasco M. Morin , X. Kleber , M. Delnondedieu Magnetic Barkhausen noise from strain-induced martensite during low cycle fatigue of 304L austenitic stainless steel Acta Materialia 53 (2005) 4579–4591
12. R. Francisco DI LORENZO, Measurement of damage in steel ABNT 8620, caused by fatigue using END – Magnetic Barkhausen Noise, http://www.ndt.net/article/ndtnet/2011/38_DiLorenzo.pdf

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2012”	Варна 10 - 12.10.2012 г. София 07 - 08.12.2012 г.
Година XIV	□ Брой 14	Декември 2012 г.

ТЕОРЕТИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЧУВСТВИТЕЛНОСТТА НА МОДА А₀ НА ВЪЛНИТЕ НА ЛАМБ КЪМ КОРОЗИЯ В СТОМАНЕНИ ИЗДЕЛИЯ

Красимир Стайков

Резюме: Изследвана е теоретично чувствителността на мода А₀ на вълните на Ламб в диапазона 0.3 MHz.mm - 1.6 MHz.mm към изкуствени несъвършенства, имитиращи повърхностна локална корозия в стоманени изделия от листов материал. Изчислен е коефициентът на отражение в зависимост от дебелината на изделието и работната честота и резултатите са представени във вид на номограми. Специфицирани са зоните с висока чувствителност към корозия при безразрушителен контрол с мода А₀.

Въведение

През последните години безразрушителният контрол на изделия от листов материал с нормални вълни (вълни на Ламб) придобива все по-широко практическо приложение, поради някои предимства, които притежава пред традиционните методи за дефектоскопия на изделия от листов материал, като висока скорост на контрол и възможност за контролиране на труднодостъпни участъци от изделията. Особен интерес предизвиква възможността за използването им за регистриране на корозия, особено когато тя е концентрирана локално на определени места в изделието [1]. Такъв тип корозия обикновено се явява сериозен концентратор на напрежения, който значително намалява якостните показатели на конструкцията и може да доведе до сериозни аварии в съоръженията.

При изпитване с вълни на Ламб на изделия от листов материал, когато се цели голям обхват на контрола, е най-целесъобразно да се използват модите от нулев порядък А₀ и S₀ на вълните на Ламб [2]. Освен, че притежават висока енергия, те са единствените моди, които съществуват при ниски честоти, което понижава количеството и амплитудата на сигналите, породени от други моди в А-изображенията (т. нар. кохерентен шум), като по този начин значително се увеличава обхвата на контрол и се улеснява интерпретацията на сигналите от изпитването.

Друг фактор, който допълнително влияе върху избора на определена мода и работна точка при контрол в вълни на Ламб е чувствителността им към определен тип несъвършенства. Освен чрез метода на крайните елементи, съществуват няколко аналитични метода за теоретичното определяне на коефициентите на отражение и пропускане на вълните на Ламб от различни типове изкуствени несъвършенства, като един от най-използваните е метода на Бреховских [3], развит за нормални вълни от Л.Г. Меркулов и И.П.Фирсов [4-6]. Същността на този метод се състои в това, че в граничните условия на задачата за разпространение на нормални вълни в пластини с повърхностни нецялостности, в първо приближение, тези неравности се заменят с малки напрежения разпределени върху повърхнината на гладка пластина. И. П. Фирсов и А. Скордев в последствие развиват метода и получават теоретичните решения за дифракция от дълги

канали с косинусоидална, триъгълна и трапецовидна форма, като представят кривата на сечение на канала във ред на Фурие- суперпозиция на косинусоиди с различни размери [7-9].

Интерес от гледна точка на контрола с голям обхват на стоманени изделия представлява мода A0 в диапазона 0.3 MHz.mm – 1.6 MHz.mm. Основните причини за това са дискутирани в [1]. В този диапазон, ако се вземе в предвид факта, че по-голямата част от отговорните изделия от листов материал в индустрията са с дебелини между 1 mm и 20 mm, се получава, че работните честоти за възбуждане на мода A0 трябва да бъдат между 80 KHz и 300 KHz [1].

Цел на работата е да се изследва теоретично чувствителността на мода A0 в диапазона 0.3 MHz.mm – 1.6 MHz.mm към трапецовидни канали, които наподобяват повърхностна локална корозия в изделията и да се специфицират зоните с висок коефициент на отражение в зависимост от работната честота и дебелината на изделията.

Теоретична основа

За определяне на коефициента на отражение на вълните на Ламб от плитки (до 10% от дебелината на листа) повърхностни канали се използва методът на Бреховских, състоящ се в замяната на неравностите на повърхнината на обекта с разпределени по определен начин напрежения [3]. Проблемите за дифракция на вълните от “върховете” на трапецовидните и канали са решени чрез представяне на каналите във вид суперпозиция от косинусовидни канали, при което се осигурява плавност на пространствените промени на физичните характеристики. Методът е приложим за канали, с дълбочина по-малка от четвърт дължина на вълната на съответната мода ($b < \lambda_m/4$) и при широчини по-големи от половин дължина на вълната ($c > \lambda_m/2$), което го прави подходящ за изследване на чувствителността на вълните на Ламб към дефекти тип „локална корозия” [8-9].

Енергетичният коефициент на отражение на една и съща мода от повърхностен канал, съгласно [8] се представя в следния вид:

$$\tilde{R}_m^a = - \frac{[E'_{mm}(-k_m)]^2 b^2}{M_{mm}^2} \frac{N_{mm}^2}{4}$$

където:

b е дълбочина на канала; E'_{mm} , N_{mm} и M_{mm} са функции отчитащи, параметрите на канала, материала на пластината и характеристиките на модата при съответната честота и дебелина на пластината [4-9];



Фиг.1 Модел на контролния отражател

За целите на изследването е използван контролен отражател, представен на фиг. 1. Той представлява трапецовиден канал с дълбочина 10% от дебелината на пластината. Широчината на канала е 20 mm, а ъгъла на наклон на стените е 30°. Каналът е представен в ред на Фурие, като пресмятанията в настоящия числен модел са с 4 члена на реда, при

което са разкрити неопределеностите при пресмятането на отражението в зоната на върха на канала.

Амплитудните коефициенти на отражение са пропорционални на енергитичните и могат да дадат представа за амплитудите на сигналите, от гледна точка на практическото приложение на резултатите. Връзката между двата коефициента може да се изрази чрез:

$$\tilde{R}_m^a = (R_m^a)^2$$

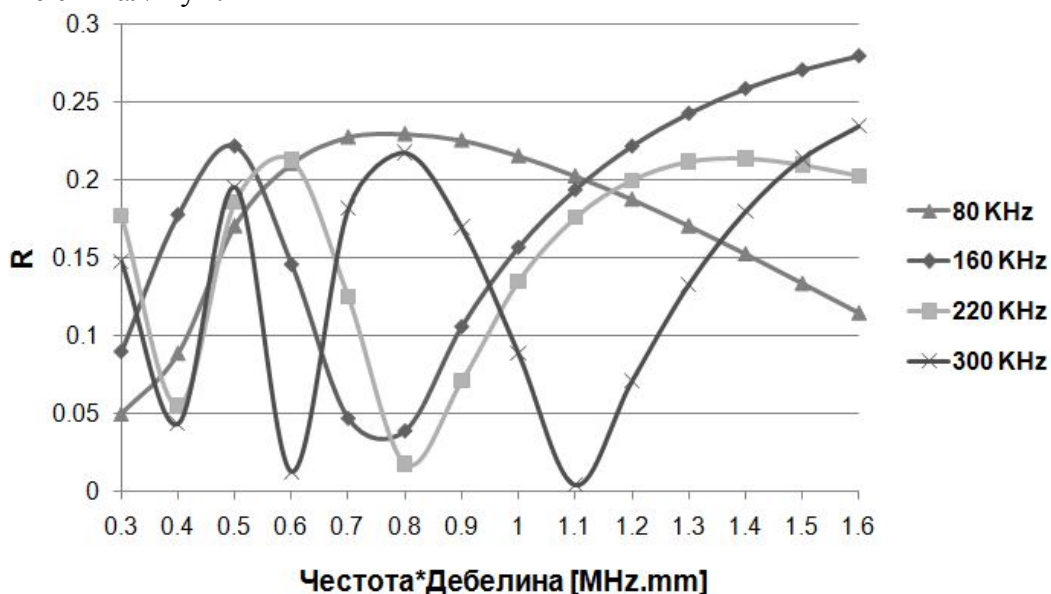
където енергетичният коефициент на отражение $\tilde{R}_m^a$ се свежда до амплитуден коефициент на отражение R_m^a .

Резултати и дискусия

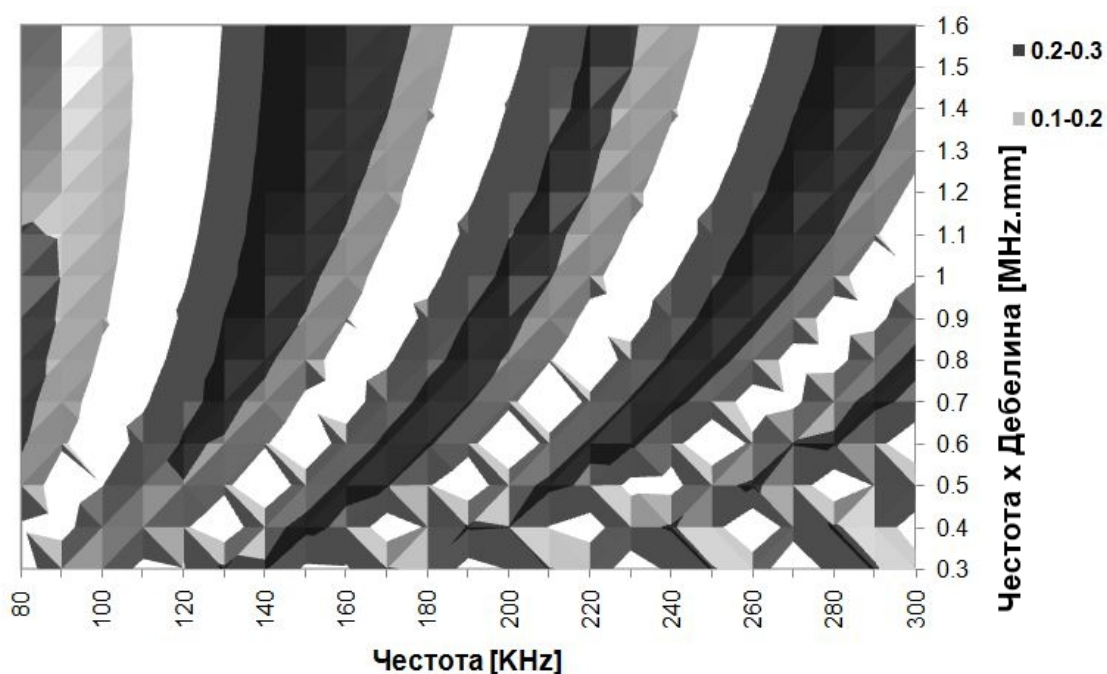
Чрез софтуерния продукт MATHCAD™ бяха изчислени амплитудните коефициенти на отражение на мода A0 от контролния отражател в диапазона 0.3 MHz.mm – 1.6 MHz.mm за честоти от 80 KHz до 300 KHz. Монотонната зависимост на коефициента на отражение от дълбочината на изкуственото несъвършенство доказват достоверността на получените резултати.

На фиг. 2 са представени резултатите за честоти 80 KHz, 160 KHz, 220 KHz, 300 KHz. Функцията има сложен осцилиращ характер, като се редуват области с висок и нисък коефициент на отражение. С увеличаване на честотата се увеличава броя на екстремумите в изследвания работен диапазон.

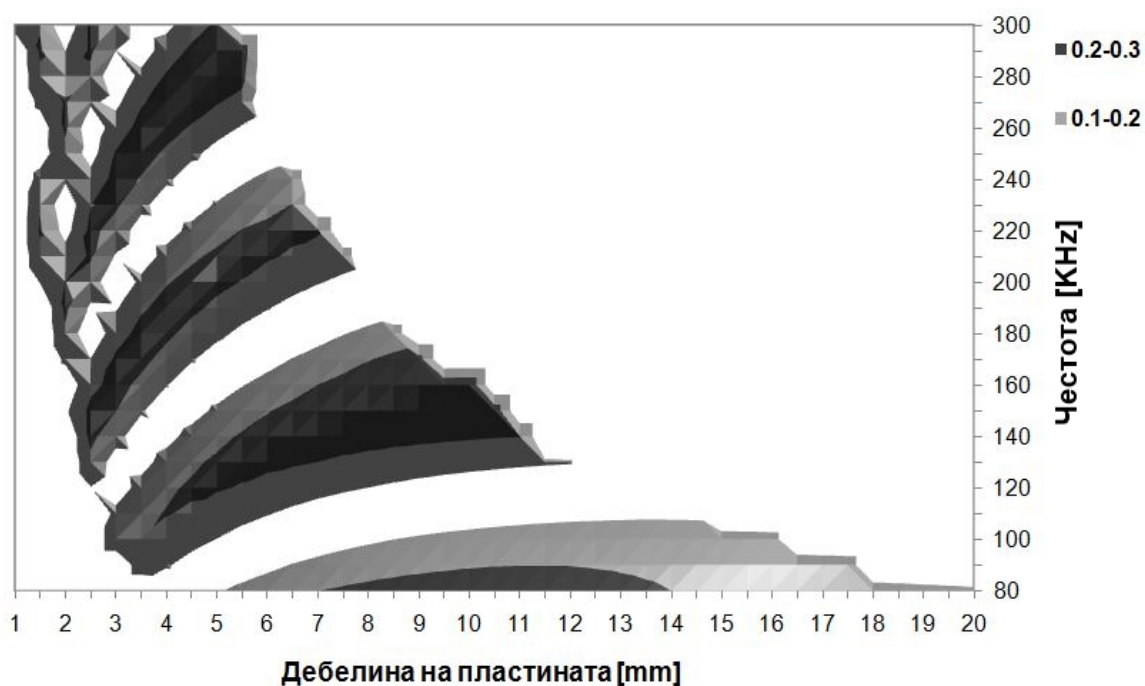
На фиг. 3 е представена номограма, показваща зависимост на амплитудният коефициент на отражение на мода A0 от контролния отражател в диапазона 0.3 MHz.mm – 1.6 MHz.mm за честоти от 80 KHz до 300 KHz. Със светлосив цвят са обозначени зоните с коефициент на отражение между 0.1 и 0.2, а с тъмносив цвят- зоните с коефициент на отражение над 0.2. От гледна точка на практическото приложение на мода A0 в дефектоскопията, вземайки в предвид характеристиките на контролния отражател, интерес биха имали работните точки с коефициент на отражение надвишаващ 0.1. При такъв коефициент разлика в амплитудата между падащия и отразения сигнал от дефекта е под 20 dB, което при реален контрол с нормални вълни ще доведе до задоволително отношение сигнал/шум.



Фиг. 2 Коефициент на отражение на мода A0 в диапазона 0.3 MHz.mm – 1.6 MHz.mm в зависимост от честотата на възбуждане



Фиг.3 Препоръчителни работни зони при контрол с мода A_0 в диапазона 0.3 MHz.mm – 1.6 MHz.mm в зависимост от честотата на възбуждане



Фиг.4 Препоръчителни работни зони при контрол с мода A_0 в зависимост от дебелината на изделието и честотата на възбуждане

Зоните с коефициент на отражение над 0.2 са препоръчителни, като при тях разликата в амплитудата на падащия и отразения сигнал от дефекта е под 14 dB. Интерес представлява факта, че с увеличаване на произведението от честотата и дебелината на изделието се увеличават зоните с висок коефициент на отражение, което се дължи на покачване на съотношението на дебелината към дължината на генерираната вълната.

На фиг. 4 е представена аналогична номограма, но амплитудният коефициент на отражение на мода A_0 е представен в зависимост от работната честота и дебелината на изделието. От номограмата се вижда, че при дебелини на изделията до 14 mm, за целия диапазон, съществува поне една работна точка, в които коефициента на отражение надвишава 0.2. Изделия с дебелина над 14 mm, коефициента на отражение е в границите 0.1-0.2. В честотния диапазон 140 KHz – 200 KHz се наблюдава най-добра чувствителност

на мода A_0 , като при честота 160 KHz и дебелини между 8 и 10 mm коефициента на отражение надвишава 0.25. От това следва, че при използване на пиезо-електрично възбуждане за постигане на висока ефективност при контрол с мода A_0 е препоръчително резонансната честота на пиезо-елемента да бъде в този честотен диапазон.

Изводи

Получените резултати показват, че мода A_0 в диапазона 0.3 MHz.mm – 1.6 MHz.mm има добра чувствителност към несъвършенства, наподобяващи локална корозия и може да се използва надеждно за регистриране на такива дефекти в стоманени изделия. Номограмите може да се приложат при реален контрол с мода A_0 за определяне на оптималните честоти на възбуждане в зависимост от честотата и дебелината на изделието.

Литература

- [1] Стайков К., Изследване на чувствителността на фундаменталната асиметрична мода на вълните на Ламб към дефекти в изделия от листов материал, Сборник с доклади от конференция „Машинознание и машинни елементи” София, 2011
- [2] Cawley P., Alleyne D., The use of lamb waves for the long range inspection of large structures, *Ultrasonics* 34, 1996, 287-290
- [3] *Бреховских Л. М., О распространении поверхностных Релеевских волн вдоль неровной границы упругого тела, Акустический журнал, 1959, т.V, вып.3.*
- [4] *Меркулов Л. Г., И.П.Фирсов Рассеяния симметричных волн Лэмба в пластине с неровными поверхностями, Дефектоскопия, 1968, №5.*
- [5] *Меркулов Л. Г., И.П.Фирсов Рассеяния упругих нормальных волн в пластине с двумерным распределением поверхностных неровностей, Акустический журнал, 1970, №1.*
- [6] *Фирсов И.П., Рассеяние нормальной волны на неравноностях пластин, занимающих конечную плоскость, Акустический журнал, 1971, №2.*
- [7] Скордев, А.Д, Фирсов, И.П. – Дифракция на вълните на Ламб от повърхностен канал при нормално падане–Научни доклади на НТС по машиностроене, кн. 31, София 1974.
- [8] Скордев Ал., Ив.Фирсов Отражение на ултразвуковите вълни на Ламб от трапецовидни и триъгълни канали, Сборник доклади от V Национална конференция по дефектоскопия с международно участие (Варна-Дружба) т.П, С., изд.НТС по машиностроене, 1977.
- [9] *Скордев Ал. Исследование дифракции волн Лэмба на поверхностных неровностях типа канавок и разработка методики эталонирования чувствительности при ультразвуковом контроле тонких листов. Диссертация, 1975 г. Таганрогский радиотехнический институт.*

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2012”	Варна 10 - 12.10.2012 г. София 07 - 08.12.2012 г.
Година XIV	□ Брой 14	Декември 2012 г.

НИСКОЧЕСТОТЕН ПИЕЗОЕЛЕКТРИЧЕН ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ ЗА БЕЗРАЗРУШИТЕЛЕН КОНТРОЛ НА СТОМАНЕНИ ИЗДЕЛИЯ С МОДА A₀ НА ВЪЛНИТЕ НА ЛАМБ

Красимир Стайков

Резюме: Разработен е пиезо-електричен преобразувател за контрол на стоманени изделия от листов материал, чрез който може да се възбужда самостоятелно мода A₀ на вълните на Ламб в диапазона 0.3-1.6 MHz.mm. За целта е използван призматичен пиезо-елемент от оловно-циркониев титанат с надлъжна поляризация. За повишаване на разрешаващата способност и понижаване на мъртвата зона на преобразувателя, пиезо-елемента е демпфиран. Проведени са експерименти за установяване на степента на насоченост на вълновия фронт, ефективността на преобразователя в нерезонансен режим, както и обхвата на контрол.

Въведение

Разработването на нови методи и апаратура за регистриране и оценка на несъвършенства е една от основните цели на съвременната ултразвукова дефектоскопия. Основна задача се явява разработването на нови и по-ефективни осезатели. Като се вземат в предвид многомодния и дисперисионния характер на нормалните вълни, за надеждното им възбуждане и приемане, към преобразователите са поставени по-високи изисквания спрямо конвенционалните ултразвукови осезатели, което се отразява негативно и на тяхната цена. Поради тази причина в продуктовата гама на по-голяма част от фирмите, привечащи апаратура за ултразвуков безразрушителен контрол, липсват такива преобразуватели.

Простата конструкция, високата чувствителност, ниската себестойност, малките размери и възможността за насочване на вълните дават на пиезо-електричните преобразуватели значително предимство пред останалите методи за генериране на вълни на Ламб. При използване на високи честоти (над 1 MHz), най-удобен е метода на клина в контактен вариант, при който чрез промяна на ъгъла на падане на вълновия сноп може могат да се селектират отделни моди на вълните на Ламб. В нискочестотния ултразвуков диапазон обаче, за да се създаде модална селективност и да се възбуди определена мода с дадена фазова скорост по метода на клина е необходимо пиезо-елемента и клина да бъдат със значителни размери, което е нефункционално от практическа гледна точка [1].

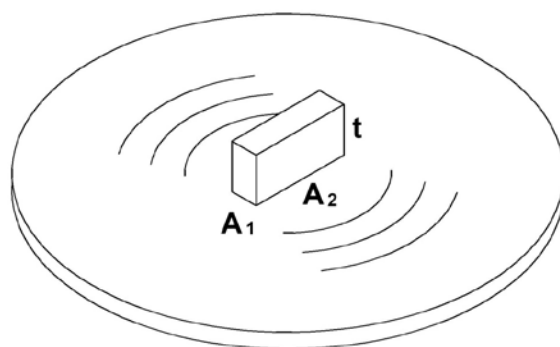
От друга страна обаче, използването на малки пиезо-елементи повишава лентата на фазовата скорост, давайки възможност за възбуждане на моди с ниска фазова скорост като мода A₀ под 1.6 MHz.mm. Мода A₀ в диапазона 0.3-1.6 MHz.mm притежава някои специфични характеристики, което я прави от особено значение за безразрушителния контрол [2]. Възбуждане на мода A₀ може да бъде постигнато и с нормален осезател, при използване на достатъчно малък пиезо-елемент, като това ще доведе до отпадане на редица недостатъци при използване на плексигласов клин, като големи размери и маса, повишена зона на влияние на гернериращия импулс, в следствие на многократните отражения на вълните в клина, загуба на част от енергията, в резултат от отраженията на вълните на границите на отделните части на клина и др. Според закона на Снелиус, генериране на вълна на Ламб с нормален осезател ще резултира в безкрайна фазова

скорост. При малки източници обаче, спектъра на фазовата скорост е широк, като по този начин става възможно да се генерират и моди с ниска фазова скорост и колкото по-малък е източника толкова по-ефективно могат да бъдат генерирани те [1]. Основния проблем на метода е липсата на модална селективност, произтичаща от широката лента на фазовата скорост на източниците. Така при дадената честота на генериращия сигнал ще се генерират всички съществуващи моди. При генериране на фундаменталната асиметрична мода A_0 в честотния диапазон 0.3 - 1.6 MHz.mm в стоманени изделия обаче, този недостатък не е от значение, тъй като тя е единствена асиметрична мода, която съществува в този диапазон и тъй като амплитудата на нормалната компонента на преместванията на мода A_0 е значително по-висока от тази на мода S_0 , използването на малки надлъжно поляризирани пиезо-елементи, разположени нормално към повърхността на изделието, в този честотен диапазон би довело до самостоятелно възбуждане на мода A_0 [2].

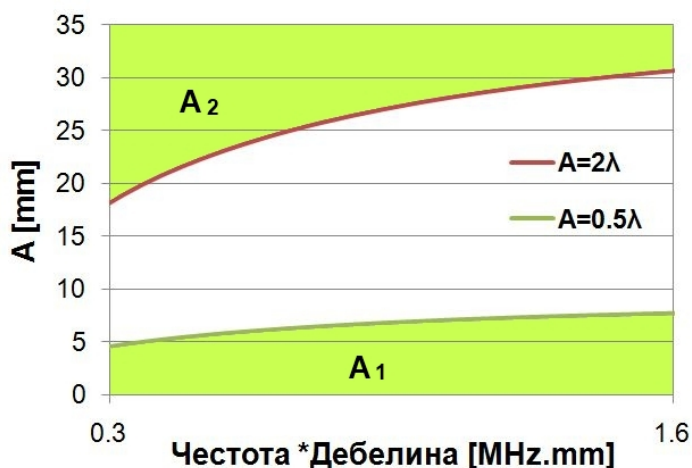
Избор на материал и размери на пиезо-елемента

Тъй като нормалната компонента на преместванията на мода A_0 е доминираща, за производство на преобразувателя трябва да се използва пиезо-елемент с надлъжна поляризация, като направлението на поляризация трябва да е перпендикулярно на повърхността на изделието. За материал на пиезо-елемента бе избрана керамиката оловно циркониев титанат P181 на Pi Ceramic. Формата и размерите на пиезо-елемента са много важни, тъй като влияят на повечето характеристики на преобразувателя. От дебелината на пиезо-елемента зависи неговата резонансна честота, при която преобразувателя ще работи най-ефективно. Вземайки в предвид теоретичните изследвания върху чувствителността на мода A_0 в диапазона 0.3-1.6 MHz.mm, представени в [3], е препоръчително пиезо-елемента да има такава дебелина, че резонансната честота да е между 140 KHz и 200 KHz. Поради тези съображения бе избран пиезо-елемент с дебелина 9 mm и резонансна честота 170 KHz.

При предварителните експерименти бе установено, че пиезо-елементи с дискова форма са неподходящи за възбуждане на вълни на Ламб, тъй като генерираната вълна е със кръгъл фронт и се разпространява във всички посоки около генериращия осезател (не съществува насоченост на вълновия фронт), което значително покачва присъствието на фантомни индикации в А-изображенията, породени от отражението на вълната от различни елементи на изделието. Освен това при контрол с такъв преобразувател точното локализиране на несъвършенствата е затруднено. Поради тази причина за прототипа на преобразувателя е използван пиезо-елемент с призматична форма. При внимателен подбор на размерите, с такъв пиезо-елемент може да се получи насоченост на полето на преобразувателя. Размерите на пиезо-елемента трябва да бъдат такива, че в едното направление пиезо-елемента да действа като точков източник, а в другото не (фиг. 1). За ефективно възбуждане на мода A_0 и за да се получи добра насоченост на фронта на вълната, размерът му в направление на разпространение на вълните A_1 трябва да бъде по-малък от половин дължина на вълната [1], а размера A_2 е препоръчително да бъде по-голям от два пъти дължината на вълната. Тъй като дължината на вълната на мода A_0 в диапазона 0.3-1.6 MHz.mm се изменя в зависимост от фазовата скорост и честотата, при избора на размери бяха взети под внимание тези изисквания при резонансна честота на пиезо-елемента (170 KHz) (фиг. 2). От фигурата се вижда, че за да изпълнява изискванията за целия диапазон, размерът A_1 трябва да е по-малък от 5 mm. От друга страна ако този размер е прекалено малък, активната площ на пиезо-елемента ще се понижи значително.



Фиг. 1 Насоченост на полето при използване на призматичен пиезо-елемент



Фиг. 2 Влияние на размерите на пиезо-елемента от дължината на вълната на мода A_0

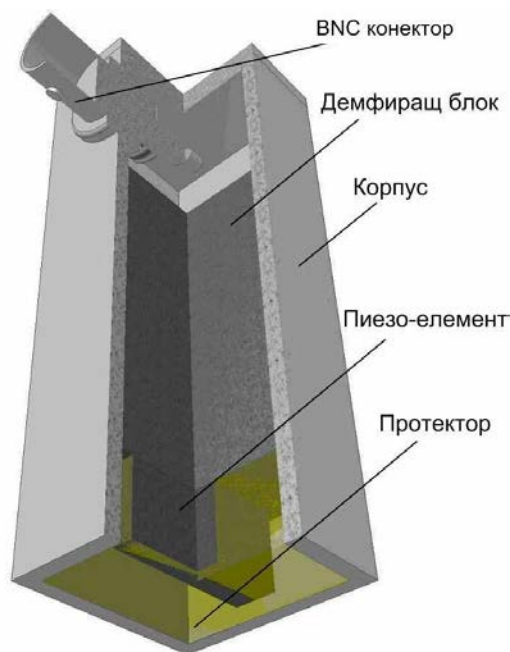
Колкото е по-голям размерът на пиезо-елемента, перпендикулярен на направлението на вълните, толкова по-добра ще бъде насочеността на вълновия фронт. Това изискване обаче влиза в противоречие с изискването за компактност и ниска маса на преобразувателя. Освен това, при провеждане на експерименти с различни пиезо-елементи, бе установено, че ако този размер не е прекалено голям, то резонансната честота на пиезо-елемента в това направление може да попадне в желания работен честотен диапазон на преобразователя, като това повлиява положително на ефективността на пластината при честоти по-ниски от резонансната честота на пластината по-дебелина на пиезоелемента и условно повишава работния и честотен обхват. Поради тези съображения от Pi Ceramic беше произведен пиезо-елемент с призматична форма с размери 18x5 mm и дебелина 9 mm.

Конструкция и методика на производство на преобразувателя

От проведените експерименти с пиезо-елемента бе установено, че е наложително той да бъде демпфиран, тъй като след преустановяване на подаване на напрежение към електродите му, пиезо-елемента продължава да трепти свободно. Този ефект значително повишава мъртвата зона и понижава разрешаващата способност на контрола с нормални вълни, като би ограничил значително метода [4,5]. При нискочестотния безразрушителен контрол с вълни на Ламб, когато се цели голям обхват на контрола, е необходимо да се намери оптималния акустичен импеданс на демпфиращия блок на осезателя, който да позволява едновременно максимален обхват и чувствителност и задоволителна разрешаваща способност по дължина на изделието.

За демпфиращия блок бе избран композитен материал от епоксидна смола и волфрамов прах [5]. След проведените експерименти бе установено, че при 50% тегловно съдържание на волфрамов прах в демпфиращия блок, влияят незначително върху амплитудата на сигнала, но значително редуцират широчината на импулса. След

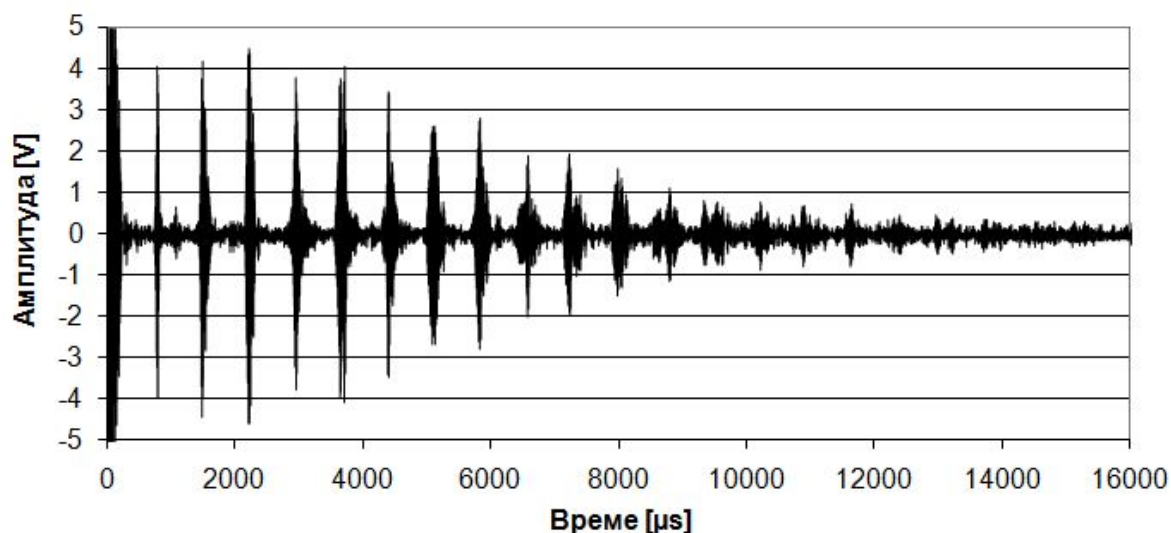
измерване на скоростта на надлъжните ултразвукови вълни в демфиращия блок и плътността му бе установено че акустичния импеданс е 5 MRayl . Използваният волфрамов прах е с чистота 99.9% и диаметър на частиците $10 \mu\text{m}$. Използвайки демфиращ блок с дебелина 30 mm се оказва достатъчно за избягване на получаването на фантомни еха, които могат да се получат от отраженията от задната страна на демфиращия блок. Пиезопластината се предпазва от механични наранявания посредством тънък слой от епоксидна смола. Схема и снимка на конструирания ултразвуков преобразувател е представена на фиг. 3.



фиг.3 Конструкция на нискочестотен преобразувател

Експериментално изследване на функционалността на преобразувателя

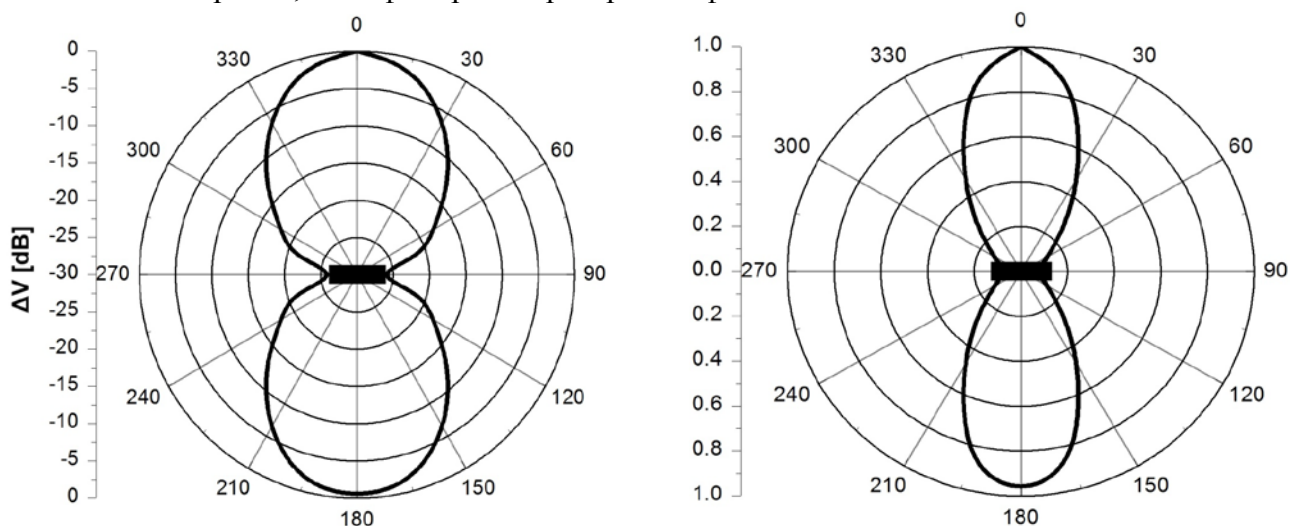
Първоначално бяха проведени експерименти за определяне на способността на преобразувателя да генерира мода A_0 в желания диапазон, както и обхвата на контрол на системата. При експериментите е използван е специално разработени функционален генератор, високо-мощен нискочестотен краен усилвател и осцилоскоп модел M520 на фирма ETC. На фиг. 4 е представено А-изображение получено при генериране на мода A_0 в бездефектна стоманена пластина с дебелина 2 mm и размери 1000x200 mm. На представеното А-изображение е използван генериращ сигнал, съставен от 7 синусоидални периода, на който е модифициран с прозорец на фон Хан. Експериментите са проведени при резонансна честота на преобразувателя в пластина с дебелина 2 mm, при което се генерира мода A_0 на вълните на Ламб при 0.34 MHz.mm . Преобразувателят е позициониран на разстояние една дължина на вълната от ръба на пластината, като вълните се разпространяват по дължина на пластината.



фиг.4 А-изображение, получено при генериране на мода А0 в стоманена пластина с дебелина 2 mm и дължина 1m

На А-изображението се виждат многократните отражения на мода А0 от ръба на пластината. От дисперсионните криви за стомана беше отчетено, че получените сигнали отговарят на мода А0. От броя на многократните отражения може да се заключи, че ръбът на пластината може да се регистрира надеждно на разстояние от преобразувателя над 20 m. При време над 7000 μ s освен основните еха, се наблюдават и други сигнали, за които бе установено, че са породени от отражението на вълните на Ламб от страничните стени на образца, в следствие на разширяването на вълновия фронт. Не се наблюдава присъствие на други моди на вълните на Ламб в А-изображението.

При аналогични условия бе установена експериментално степента на насоченост на вълновия фронт и съответно разрешаващата способност по фронта на преобразувателя. Експериментите бяха проведени по метода на пропускането, като за приемащ осезател бе използван осезател с кръгъл пиезо-елемент. При експериментите е използван образец с дебелина 2 mm и размери 1000x600 mm. Измервана е амплитудата на приетия сигнал, като позицията на приемащия осезател е сменяна през 15 □ диаметър излъчващ преобразувател, при запазване на едно и също разстояние между двата осезателя от 500 mm. Към пластина на преобразувателя е подаден синусидален сигнал съставен от 7 периода, модифициран с прозорец на фон Хан.



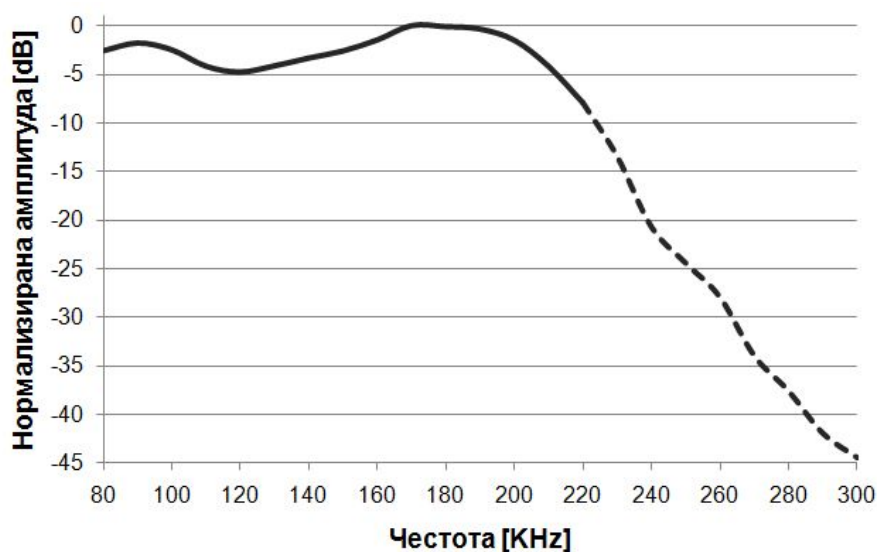
Фиг. 4 Диаграми на насоченост на вълновия фронт

Резултатите са представени на фиг.4, като на лявата диаграма отношението в амплитудата е представена в децибели, а на дясната в относителни единици. Наблюдава се

много добра насоченост на вълновия фронт. Бе установено, че при промяна на дебелината на образца и честотата резултатите са аналогични тъй като насочеността зависи основно от отношението на размерите на пиезо-елемента.

Проведени са експерименти за установяване на функционалността на преобразователя при честоти различни от резонансната му. При експериментите е използвана стоманена пластина с дебелина 4 mm и размери 1000x200 mm. Измервана е амплитудата на отражението на мода A0 от ръба на пластината, като генериращата честота е променяна от 80 KHz до 300 KHz през 10 KHz. Така мода A0 е възбудена в диапазона от 0.32 MHz.mm-1.2 MHz.mm. Резултатите са представени на фиг. 5.

На графиката при резонансната честота 170 KHz се наблюдава ясно изразен максимум в амплитудата, който отговаря на резонансната честота на пиезо-елемента в направление на поляризацията му. При честота 90 KHz се наблюдава друг екстремум. Той се дължи на факта, че тази честота съвпада с резонансната честота в направление на най-големия размер A2 на пиезо-елемента (18 mm). По този начин условно се повишава работния честотен обхват на преобразувателя в нискочестотния диапазон. При честоти над 220 KHz се наблюдава значителен спад в амплитудата на сигнала, който се дължи в голяма степен на нелинейните характеристики на усилвателя при честоти над 200KHz. При експериментите в минимална степен оказва влияние и различното затихването на вълните при различни честоти и различните работни точки.



Фиг. 5 Влияние на честотата върху амплитудата на генерирания сигнал

Изводи

Представените и дискутирани резултати при проектирането на ниско-честотния ултразвуков пиезо-електричен преобразувател дават основание да се направят следните изводи:

- Произведения прототип на нискочестотен ултразвуков преобразувател е компактен с ниска маса, което го прави удобен за работа в практически смисъл.
- Чрез използване нормални пиезо-електрични преобразуватели с малки надлъжно поляризирани пиезо-елементи, разположени нормално към повърхността на изделиято, в диапазона 0.3-1.6 MHz.mm може да бъде генерирана самостоятелно мода A0 на вълните на Ламб.
- При използване на призматични пиезо-елементи в преобразувателите, при избор на подходящи размери, може да се реализира надеждно генериране и приемане на вълните в широк честотен диапазон, както и да се осъществи насоченост на вълновия фронт.

- Чрез прилагане на слабо демфиране на пиезо-елементите може да се повиши значително разрешаващата способност на метода и намали мъртвата зона на преобразувателя, като това влияе минимално върху съотношението-сигнал-шум и съответно към чувствителността към несъвършенства и обхвата на контрол.

Литература

- [1] Rose J.L., Ultrasonic waves in solid media, Cambridge University press, 1999
- [2] Стайков К., Изследване на чувствителността на фундаменталната асиметрична мода на вълните на Ламб към дефекти в изделия от листов материал, Сборник с доклади от конференция „Машинознание и машинни елементи” София, 2011
- [3] Стайков К., Теоретично изследване на чувствителността на мода A₀ на вълните на Ламб към корозия в стоманени изделия, сп. Акустика, Национална научно-техническа конференция „Акустика 2012”, София, 2012
- [4] Allin, J.M., P. Cawley, Design and construction of a low frequency wide band non-resonant transducer, Ultrasonics 41, 147–155, 2003
- [5] Safari [A.](#), Akdoğan [E. K.](#), Piezoelectric and Acoustic Materials for Transducer Applications, Springer, 2008

ТОЧНОСТ ПРИ ОЦЕНЯВАНЕТО НА СРЕДНИЯ РАЗМЕР НА ЗЪРНАТА В ПОЛИКРИСТАЛНИ МАТЕРИАЛИ ЧРЕЗ УЛТРАЗВУКОВИ ИЗМЕРВАНИЯ

Доц. д-р Александър Попов

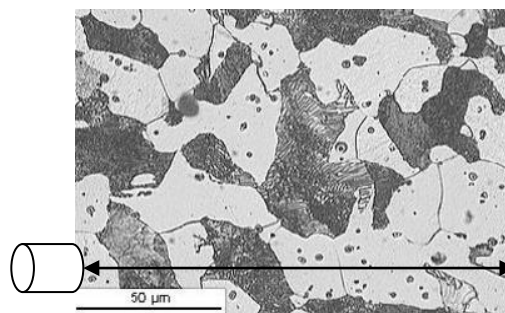
Институт по механика - БАН – София, България
Направление «Механика на деформируемое твёрдое тело»

Резюме: Получена е зависимост за оценяване на относителната грешка при оценяване на среден размер на зърната в поликристални материали чрез ултразвукови измервания: времена на разпространение и затихване на ултразвуковите вълни с отчитане на честотата, и чрез механични измервания: дебелина на образца. Изведена е зависимост на относителната грешка при безразрушително оценяване на граница на пластичност.

КЛЮЧОВИ ДУМИ: СРЕДЕН РАЗМЕР НА ЗЪРНАТА, ОТНОСИТЕЛНА ГРЕШКА, ГРАНИЦА НА ПЛАСТИЧНОСТ

Въведение

В статията е разгледана нисковъглеродна стомана, като пример за поликристален материал. Една характеристиката на структурата на този материал е „Среден размер на зърната“ - $\bar{D}$. В материалознанието [1], желязовъглеродна сплав при съдържание на въглерод – С по-малко от $\sim 0.15\% \text{C}$ се е нисковъглеродна стомана. Нейната структура представлява ферит - Ф и перлит - П, фиг.1. Ферита представлява твърд разтвор на внедряване на въглерода в модификация α - желязо ($\alpha\text{-Fe}$) т.е. $(\% \text{C}) + (\alpha\text{-Fe})$. Перлита представлява евтектоидна смес на ферит и цементит т.е. $(\alpha\text{-Fe}) + \text{Ф} + (\text{Fe}_3\text{C})$. На металографски шлиф тази структура представлява перлит (тъмни области) във феритната матрица (светли области), т.е. ферито-перлитна структура.



Фиг.1.

При $\% \text{C} < 0.08$, микроструктурата е феритна $\Rightarrow \bar{D} \approx \bar{D}_{\text{Ф}}$, където $\bar{D}_{\text{Ф}}$ е означен среден размер на феритните области в металографския шлиф на (фиг.1.).

За интервала $0.08 < \% \text{C} < 0.15$, микроструктурата е ферито-перлитна и средния размер на зърната има ефективна стойност, $\bar{D} \equiv \bar{D}_{\text{EFF}}$, където

$$\bar{D}_{\text{EFF}} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{N_{\text{Ф}}} \sum_{k=1}^{N_{\text{Ф}}} D_{\text{Ф}}(k) + \frac{1}{N_{\text{П}}} \sum_{k=1}^{N_{\text{П}}} D_{\text{П}}(k) \right),$$

D_{Π} - среден размер на перлитните области (фиг.1.) Например за положението на ултразвуковия осезател показано на фиг.1. средния размер на зърната има ефективна стойност

$$\overline{D_{EFF}} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{3} \sum_{K=1}^3 D_{\Phi}(k) + \frac{1}{2} \sum_{K=1}^2 D_{\Pi}(k) \right).$$

В металографията съществуват редица методи за определяне на $\overline{D}$ [1]. Всички те са разрушителни. Интерес за практиката представлява оценяване на $\overline{D}$ за поликристални материали (в частност нисковъглеродни стомани) без разрушаване на изпитвания образец. За целта се използва известната зависимост на Лифшиц – Пархоменко - Меркулов [2]. За $\lambda > 2\pi\overline{D}$ (λ - дължина на вълната)

$$(1) \quad \alpha_L = \varphi(\overline{D}) f^4 \psi(V_L; V_T)$$

където са въведени f - честота,

$$\varphi(\overline{D}) = \frac{8\pi^3}{375} \cdot \frac{1}{\rho^2} \cdot \mu^2 \left[\frac{4\pi}{3} \left(\frac{\overline{D}}{2} \right)^3 \right],$$

$$\psi(V_L; V_T) = \left(\frac{1}{V_L^3} \right) \left(\frac{2}{V_L^5} + \frac{3}{V_T^5} \right).$$

α_L , V_L , V_T са съответно коефициент на затихване, скорости (надлъжна и напречна) на разпространение на ултразвуковите вълни, ρ - плътност на материала, μ - коефициент на Ламе.

1. Безразрушителна оценка на $\overline{D}$

След преобразуване на (1) се получава едно кубично уравнение (с единствен реален корен) относно $\overline{D}$

$$(2) \quad \{W(V_L; V_T) f^4\} (\overline{D})^3 - \alpha_L = 0$$

$$\text{където } W(V_L; V_T) = \frac{4\pi^4}{1125} \cdot \frac{V_T^4}{V_L^3} \left(\frac{2}{V_L^5} + \frac{3}{V_T^5} \right).$$

Точността при оценяване на $\overline{D}$ се определя чрез относителната грешка

$$\frac{\Delta \overline{D}}{\overline{D}} \text{ при оценяване на } \overline{D} \text{ [4]. След}$$

провеждане на необходимите

преобразования за $\frac{\Delta \overline{D}}{\overline{D}}$ се получава

$$(3) \quad \frac{\Delta \overline{D}}{\overline{D}} \approx \pm [u(T_L; T_T; f; N) + w(l)]$$

където $w(l) = 5 \frac{\Delta l}{l}$, $u(T_L; T_T; f; N) =$

$$= \left[\left(4 \frac{\Delta T_T}{T_T} + 3 \frac{\Delta T_L}{T_L} + \frac{4}{3} \frac{\Delta f}{f} + \frac{1}{3} \frac{\Delta(dN)}{N} \right) \right]$$

T_L и T_T са съответно времена на разпространение на надлъжни и напречни ултразвукови вълни,

$$\frac{dN}{N} : \frac{\Delta \alpha_L}{\alpha_L} = \frac{1}{2n} \left[\frac{\Delta(dN)}{dN} - \frac{\Delta l}{l} \right] \text{ при}$$

$$\alpha_L \equiv \frac{N_m - N_{m+n}}{2nl_x} \equiv \frac{1}{2n} \frac{dN}{l_x}, l - \text{дебелина}$$

на измервания образец, f - честота.

2. Измервания

2.1. Технически средства

Технически средства за измерване на акустични характеристики на материали (сорости на разпространение и коефициенти на затихване на надлъжни и напречни ултразвукови вълни - $V_L, V_T, \alpha_L, \alpha_T$) са:
- Ултразвуково устройство US-Key с USB2 на Лесоеур, Франция. Лаптоп с конвенционални характеристики. С US-Key точността на измерване на времето на разпространение на ултразвуковите вълни е 0.001 μ s.

- Калибрационен блок – CBV ($V_L = 5.93$ mm/ μ s), фирма Sonatest, Англия

- Осезатели с X-срез и Y-срез на пиезо-елемента съответно за надлъжни и напречни ултразвукови вълни с честота 1.25 MHz до 10 MHz на фирми Sonatest, Англия и Panametrics, САЩ

- Цифров микрометър – Digimatic Micrometer на фирма Mitutoyo, Япония с характеристиките: Обхват 0-30 mm; Отчет 0.0001 mm; Точност $\pm 0.5 \mu$ m.

2.2. Представяне на резултата от измерването

В метрологията е приет подход за определяне на неопределеност на резултата от измерването на скоростите [5]. Разширена неопределеност на измерването е

$$(4) \quad X^D \pm \left(\frac{1}{n}\right)^{1/2} t\left(1 - \frac{\alpha}{2}; (n-1)\right)$$

където X^D - действителна стойност на измерваната случайна величина X , $S(X)$ - комбинирана стандартна неопределеност на измерването X , квантил на разпределението на Стюdent - $t\left(1 - \frac{\alpha}{2}; (n-1)\right)$, обем на извадката - n , α - ниво на значимост, вероятност $Pr = 1 - \alpha$.

В математическата статистическата една от характеристиките на случайните величини (измерваните величини) е доверителен интервал. Зависимост (4) не представлява нищо друго освен интервална оценка - доверителен интервал на измерваната случайна величина X [6]. Тъй като извадките, в разглеждания случай, обикновено с малък обем и сравнително голямо разсейване, то подходящо е да се използват доверителни интервали по медианните оценки за средната стойност - X_m и за разсейването - S_m . Ако експериментални данни са $\{x(k); k=1, \dots, n\}$ и, то доверителния интервал е

$$(5) \quad X_m \pm \left(\frac{1}{n}\right)^{1/2} t\left(1 - \frac{\alpha}{2}; (n-1)\right)$$

където

$$X_m = \begin{cases} x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} & n - \text{нечетно} \\ \frac{1}{2} \left(x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)} \right) & n - \text{четно} \end{cases};$$

$$S_m = 1.48 \operatorname{med}_{1 \leq i \leq n} |x(i) - X_m|$$

$$X^D \rightarrow X_m$$

3. Оценка на относителната грешка при измерване на $\bar{D}$

Взет е образец образец от стомана марка 20 с $\bar{D} = 22 \mu\text{m}$ (0.022 mm; Бал 8), $\delta = 30 \text{ mm}$. Измерванията се провеждат с техническите средства описани в т.2.1. За този образец ултразвуковите измервания [3] са :

$$V_L = 5.92 \text{ mm}/\mu\text{s}; (T_L = 4.899 \mu\text{s})$$

$$V_T = 3.25 \text{ mm}/\mu\text{s}; (T_T = 8.909 \mu\text{s}),$$

$$\Delta T_T \equiv \Delta T_L = 0.001 \mu\text{s},$$

$$\frac{\Delta T_T}{T_T} 100\% = 0.01\%; \frac{\Delta T_L}{T_L} 100\% = 0.02\%,$$

$$\frac{\Delta(dN)}{N} 100\% = \frac{0.1}{70} 100\% = 0.14 \%,$$

$$\frac{\Delta f}{f} 100\% \approx 9\% [4].$$

Получени са оценки за относителната грешка при измерване на $\bar{D}$ т.е. $\frac{\Delta \bar{D}}{\bar{D}}$

при различни относителна грешка при измерване на дебелината на образца

т.е. $\frac{\Delta l}{l}$ (таблица 1) и за доверителен

интервал за сл.в. $\bar{D}$ (таблица 2).

Таблица 1

$\frac{\Delta l}{l} \%$	Относителна грешка за средния размер на зърната, $\frac{\Delta \bar{D}}{\bar{D}} 100\%$
4% [1]	$\pm 32.2 \%$
2% [2]	$\pm 22.2 \%$
1% [3]	$\pm 17.2 \%$
0.5% [4]	$\pm 14.7 \%$

където

[1] - MOROW, Англия ; INSIZE, Китай
[2] - TESA, Швейцария ; INSIZE, Китай
[3], [4] - MITUTOYO, Япония

Таблица 2

$\frac{\Delta l}{l} \%$	$(\bar{D}_m \pm W S_m)$
4% [1]	$(22 \pm 10) \mu\text{m}$
2% [2]	$(22 \pm 6) \mu\text{m}$
1% [3]	$(22 \pm 6) \mu\text{m}$
0.5% [4]	$(22 \pm 5) \mu\text{m}$

$$\text{където } W \equiv \left(1 + \frac{1}{n}\right)^{1/2} \cdot t\left(1 - \frac{\alpha}{2}; (n-1)\right);$$

$$Pr = 1 - \alpha; Pr = 95\%, \bar{D}_m \equiv X_m.$$

4. Безразрушително оценяване на граница на пластичност - σ_s

В материалознанието е известна зависимостта на Хол-Петч [1,7] между граница на пластичност (σ_s) и средния размер на зърната ($\bar{D}$) в поликристални материали

$$(6) \quad \sigma_s = \sigma_0 + K_y \bar{D}^{-1/2}$$

къето σ_0 и K_y - константи на материала, подлежат на определяне.

Зависимостта (6) е за ниско въглеродни стомани (до 0.15 %C) т.е. въглеродни конструкционни стомани обикновено качество (АСт0, АСт1, АСт2) и въглеродни конструкционни стомани качествени (05кп, 08кп, 10, 15). За тези класове стомани в литературата [7] са дадени стойностите на σ_0 и K_y , а именно $\sigma_0 = 72 \text{ МПа}$, $K_y = 23.9 \text{ МПа.мм}^{1/2}$.

Относителната грешка [4] при оценяване на граница на пластичност е

$$(7) \quad \frac{\Delta\sigma_s}{\sigma_s} = \pm \left(\sigma_0 + \frac{1}{2} K_y \frac{\Delta\bar{D}}{\bar{D}} \right)$$

В разписан вид зависимостта (7) е

$$(8) \quad \frac{\Delta\sigma_s}{\sigma_s} = \pm \{XXX\}$$

където е въведено означението

$$\{XXX\} \equiv \left\{ \sigma_0 + \frac{K_y}{2} [u(T_L; T_T; f; N) + w(l)] \right\}$$

Крайният резултат при безразрушително оценяване на граница на пластичност, за нисковъглеродни стомани се записва във вида

$$(9) \quad \sigma_s = \left(\sigma_0 + K_y (\bar{D})^{-1/2} \right) \pm \frac{\Delta\sigma_s}{\sigma_s}$$

където $\frac{\Delta\sigma_s}{\sigma_s}$ се определя от (8).

Заклучение

За нисковъглеродни стомани е анализирано понятието „Среден размер на зърната” - $\bar{D}$. При $0.08 < \%C < 0.15$ е Получена зависимост за ефективен среден размер на зърното - $\bar{D}_{EFF}$.

Изведена е зависимост за определяне на относителната грешка при оценяване на среден размер на зърната чрез ултразвукови измервания: времена на разпространение и затихване на ултразвуковите вълни с отчитане на честотата, и чрез механични измервания: дебелина на образца.

Анализирани са възможностите за представяне на резултатите от измерванията. Разписан е доверителен

интервал за измерваните величини получени от извадка с малък обем и сравнително голямо разсейване.

Изведена е зависимост на относителната грешка при оценяване на граница на пластичност от относителната грешка при оценяване на среден размер на зърното.

Литература

1. Гуляев А.П., Металловедение, Металургия, Москва, 1986.
2. Физическая акустика, том IV, Б, под ред. У.Мезон, изд. Физматлит, Москва, 1963, Э.Пападакис, Затухание ультразвука, обусловленное рассеянием в поликристаллических.
3. Алешин Н.П. и др., Методы акустического контроля металлов, Машиностроение, Москва, 1989.
4. Андреев М, В.Люцканов, Лабораторна физика, изд. Техника, София, 1975
5. Радев Хр., Метрология и измервателна техника, Справочник, Софттрейд, София, 2008.
6. Закс III., Теория статистических выводов, МИР, Москва, 1975.
7. Деформационное упрочнение и разрушение поликристаллических материалов, Под ред. В.И. Грефилова, Наукова думка, Киев, 1987.

МОДИФИЦИРАН МЕТОД ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА НИСКОЧЕСТОТЕН АУДИО УСИВАТЕЛ С ОТЧИТАНЕ КОМПЛЕКСНИЯТ ХАРАКТЕР НА ТОВАРА – ЧАСТ.1.

Пламен Ангелов Ангелов, Милена Димитрова Ангелова
 Център по информатика и технически науки, Бургаски Свободен Университет,
 Сан Стефано N 62, Бургас 8001, тел: +359 56 900403, e-mail: pangelov@bfu.bg

Абстракт:

В настоящата статия се представя модифицирана методика за синтез на линеен аудио усилвател клас АВ с отчитане на комплексният характер на товара. Сравнението на между предложената методика и известните методи показва значително разминаване при определяне на основните параметри, като захранващо напрежение и избор на изграждащи компоненти.

Abstract:

In the present article we produce modification methods to determine the basic parameters of the linear audio amplifier with complex load. The compilation between known methods and our modification define some differences between basic parameters like power supply voltage and correct determine of the basic parts.

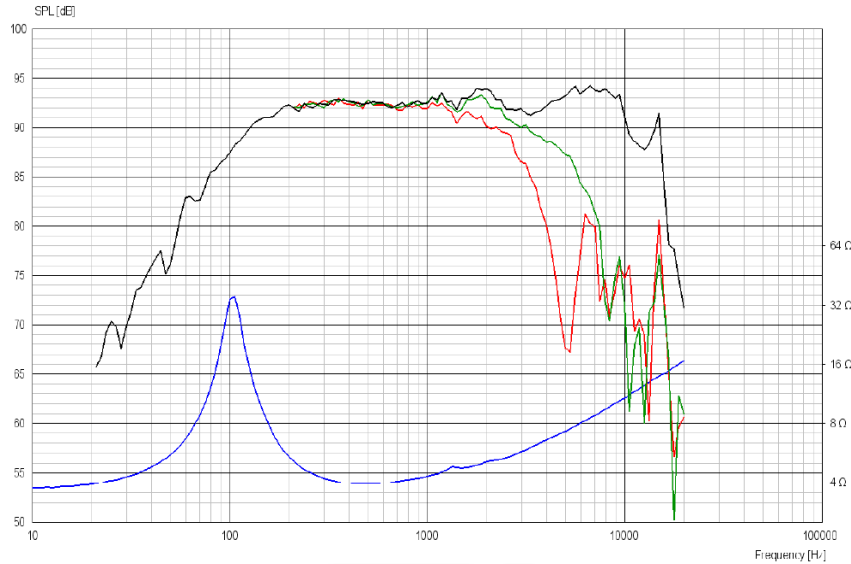
Въведение.

В аудио усилвателите се налага съгласуване между високото изходно съпротивление на транзисторите и малкото съпротивление на товара. За да се осигури необходимият изходен ток и ниско изходно съпротивление, безтрансформаторните крайните стъпала работят по схема общ колектор. Усилването по напрежение се осъществява от предусилвателя, докато изходното стъпало работи като усилвател по ток. От друга страна товарният импеданс не е чисто активен и стойността му зависи от работната честота. Примерно изменение на звуковото налягане на високоговорител с изменение на честотата е показано на фиг.1. При синтез на Hi-Fi аудио усилвател този факт ще предизвика допълнителна несиметрия в работата на стъпалото, от където се влошава и качеството на изходния сигнал. За да се постигне максимален ефект трябва при проектиране на усилвател да се отчете честотното изменение на товара.

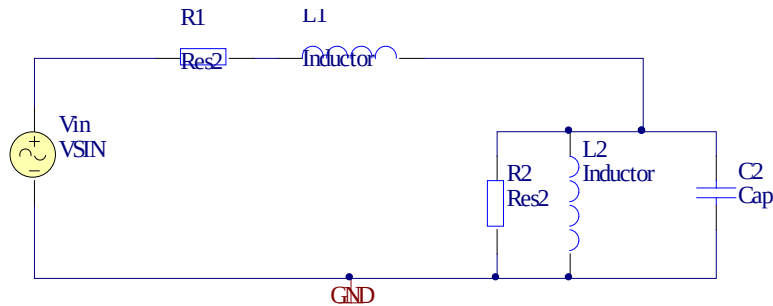
В предишна статия публикувана в сп. Акустика 2010 вече беше разработен модифициран метод за оценяване на ефективността при клас „АВ” с отчитане импедансната характеристика на товара. Тук е важно да припомним отчитането импедансната характеристика, чрез еквивалентна заместваща схема. В предложеният модифициран метод за проектиране се отчита еквивалентната електрическа схема на високоговорителя и неговата честотната характеристика показана на фиг.1. По този начин всички тези параметри участват в оценката на различни параметри и определят коректния избор на изграждащите компоненти. За тази цел ще бъде разгледана еквивалентната заместваща схема на високоговорител показана на фиг.2. За определянето на еквивалентните параметри R_2 , L_2 , C_2 се използват познатите изрази [5],[6]:

$$R_2 = \frac{(B.L)^2}{R_{ms}}, L_2 = C_{ms} \cdot (B.L)^2, C_2 = \frac{M_{ms}}{(B.L)^2} \quad (1)$$

където: съпротивление за постоянен ток на избрания високоговорител – R_{dc} ; - собствена индуктивност на бобината на високоговорителя – L_0 ; - Коефициент на електромеханична връзка - $B.L$; гъвкавост на механичната система на високоговорителя – C_{ms} ; маса на подвижната система на високоговорителя – M_{ms} ; механични загуби на високоговорителя – R_{ms} .



Фиг.1. От справочна информация за високоговорител Discovery – 15M/4624G00 [7]



Фиг.2. Еквивалентна заместваща схема на високоговорител [5], [6]

Нека от посочената принципна схема на фиг.2 преобразуваме паралелният трептящ кръг в последователен с изразите:

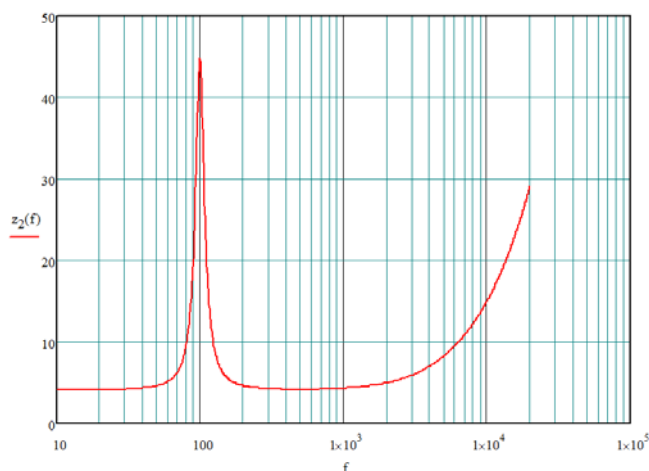
$$\begin{aligned} R_s(f) &= \frac{G_2}{G_2^2 + B(f)_2^2}, \\ X_s &= \frac{B_2}{G_2^2 + B(f)_2^2} \\ G_2 &= \frac{1}{R_2} \\ B_2(f) &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_2} - 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_2 \end{aligned} \quad (2)$$

Следва серийно представяне на отделните компоненти [8] и сумиране на активните и реактивни съставки. Получените честотно зависими компоненти характеризират поведението на високоговорителя с изразите:

$$\begin{aligned} R(f) &= R_1 + R_2 \frac{1}{1 + \eta^2 \cdot (\kappa^{-1} - \kappa)^2} \\ X(f) &= 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_1 + R_2 \frac{\eta^{-1} \cdot (\kappa^{-1} - \kappa)}{1 + \eta^2 \cdot (\kappa^{-1} - \kappa)^2} \quad (3) \\ Z_{load}(f) &= \sqrt{R(f)^2 + X(f)^2} \end{aligned}$$

С изведените изрази се провежда числен експеримент, който показва сравнението между очаквани и получени резултати. За да се верифицира еквивалентният електрически модел за избраният високоговорител извеждаме графика на импедансната характеристика. Изследването извършваме с помощта на програмен продукт MathCAD при следните параметри: съпротивление за постоянен ток на избрания високоговорител – $R_{dc}=3,2\Omega$ - собствена индуктивност на бобината на високоговорителя – $L_0=230\mu H$; - Коефициент на електромеханична връзка - $B.L=5,3Tm$; гъвкавост на механичната система на високоговорителя – $C_{ms}=0,41mm/N$; маса на подвижната система на високоговорителя – $M_{ms}=6,2g$; механични загуби на високоговорителя – $R_{ms}=0,69kg/s$. След заместване на получените данни в израз.1. за стойностите на елементите L_2 , R_2 , C_2 се получава: $L_2=12mH$, $C_2=220,7\mu F$; $R_2=40,71\Omega$. Когато тези резултати бъдат заместени в еквивалентната заместваща схема, за изменението на импеданса се получава графиката на фиг.3. Сравнението полученият резултат с препоръките на производителя (фиг.1.) показва, идентична характеристика. Това означава, че изведените математически зависимости достатъчно точно описват изменението на товара и могат да бъдат използван за определяне на активната изходната мощност с израз (4):

$$P_l(f) = I^2 \cdot R(f) = \frac{U_{lm}^2}{2} \frac{R(f)}{R(f)^2 + X(f)^2} \quad (4)$$



Фиг.3. Числен експеримент за определяне на импедансната характеристика на товара Discovery – 15M/4624G00 [6]

Модифицирана методика за синтез на усилвател клас АВ

1) Принципна схема на аудио усилвателя

В настоящата статия се разглежда безтрансформаторна схема на усилвател с двуполлярно захранване - фиг.4. [1-4]. Разглежданото драйверно стъпало (оградената част от схемата) включва биполярните транзистори T_5 и T_6 , диодната група D_1 до D_4 , операционен усилвател OU с верига за захранване и входна група C_1 и R_{10} . Транзистора T_5 заедно с ценер диода D_6 и резисторите R_5 и R_{11} съставя токов генератор, който има за цел да осигури режима АВ на крайното стъпало. Полученият колекторен ток за T_5 отпушва диодите D_1 - D_4 . За контрола на тези диоди се използва изходния сигнал от операционен усилвател OU . Захранващото напрежение към усилвателя е стабилизирано с помощта на групата R_{12} , D_7 , R_{12} и D_7 . По този начин се постига стабилност на управляващото напрежение на усилвателя независимо от изменението на захранването.

Известни изходни данни за аудио стъпалото:

- ефективна изходна мощност - P_i ;
- честотна лента $f_l \div f_h$;
- входно напрежение U_i ;
- всички горепосочени електрически параметри на избраният високоговорител Discovery – 15M/4624G00 [6].

2) Следваща стъпка е определяне на амплитудата на изходното напрежение:

$$U_{lm}(f) = \sqrt{\frac{2 \cdot P_i \cdot (R(f)^2 + X(f)^2)}{R(f)}} \quad (5)$$

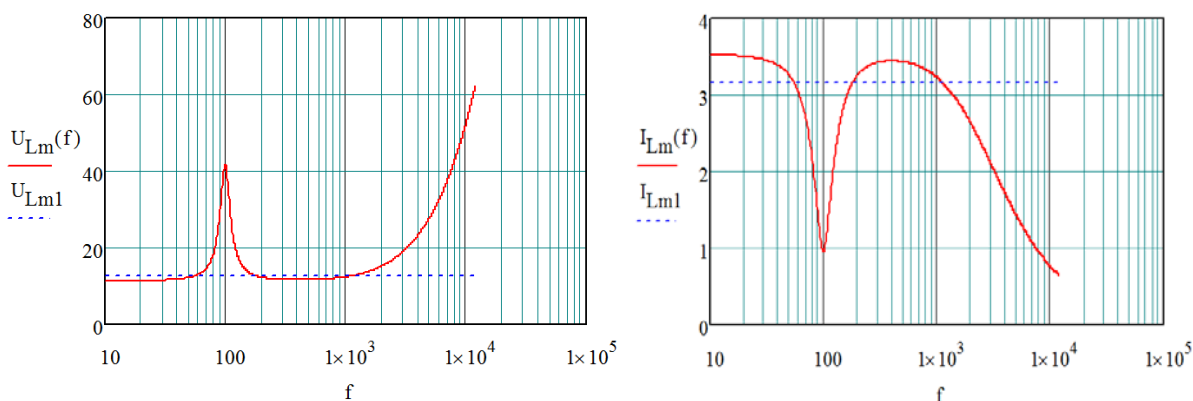
Изведеният израз показва честотната зависимост на изходното напрежение според честотната характеристика на товара Z_{load} . С помощта на този параметър се съгласува изходното съпротивление на стъпалото в зададената честотна област.

Подробното извеждане на израз (5) е показано в статия „Modification method to project the audio power stage with complex load” публикувана в ICEST 2012 [8]. По тази причина тук ще припомним единствено полученият резултат за избраният високоговорител:

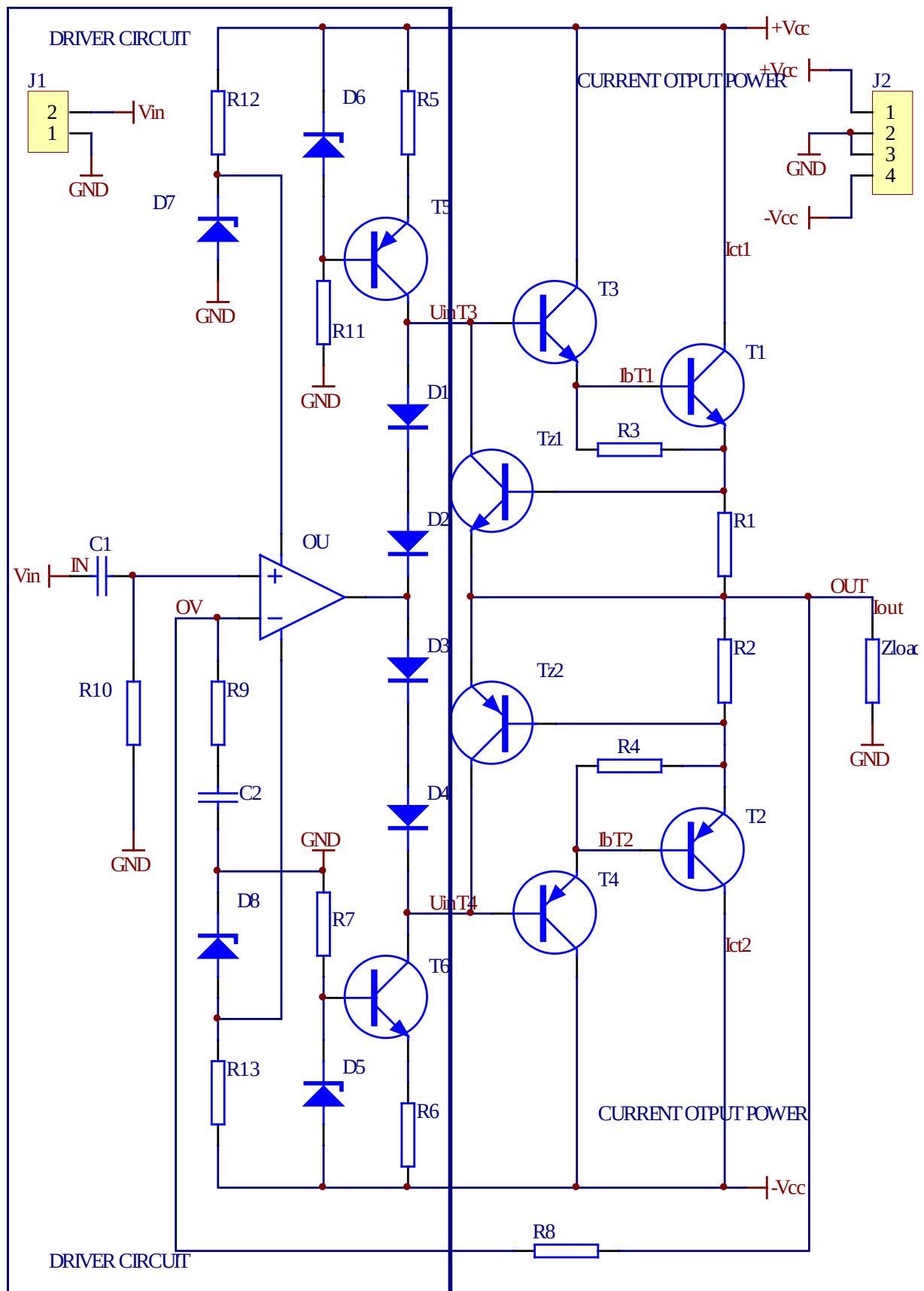
$$P_i = 20W ; f_l = 40Hz ; f_h = 12kHz ; R_1 = 3,2\Omega ;$$

$$L_1 = 230\mu H \quad L_2 = 12mH \quad C_2 = 220,7\mu F \quad R_2 = 40,71\Omega$$

След пресмятане на изходното напрежение се получава следното графично сравнение:

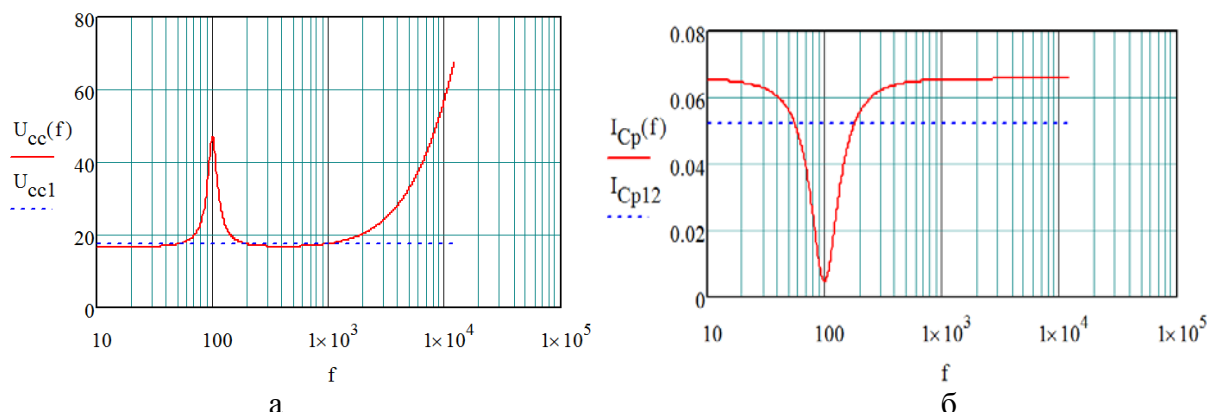


Фиг.5. Сравнителен числен експеримент определящ големината на изходното напрежение и ток през усилвателя



Фиг.4. Обща принципна схема на нискочестотен усилвател клас АВ. Вътрешната линия ограда драйверното стъпало.

На фиг.5. с пунктирна линия е нанесена очакваната стойност на напрежението (U_{lm1}) и тока (I_{Lm}), получена при активен товар. Сравнението на двата резултата показва прецизиране на методиката до 400%, особено при високите работни честоти $f_h = 10,5kHz$. Така определените стойности за тока и напрежението създават предпоставка за различен параметри на крайните транзистори [8]. Резултата от проведеният експеримент показва изменението на захранващото напрежение и тока на покой на следващата фигура:



Фиг.6. Сравнителен числен експеримент определящ големината на захранващото напрежение и тока на покой през крайните транзистори

Големината на товарният ток се изразява от познатият израз за изходната мощност:

$$P_l = \frac{U_{lm} \cdot I_{lm}}{2} \Rightarrow I_{lm} = \frac{2 \cdot P_l}{U_{lm}} \quad (6)$$

където:

I_{lm} - максимална стойност на товарния ток;

U_{lm} - максимална стойност на напрежението върху товара;

P_l - ефективна изходна мощност на стъпалото.

Проведеният числен експеримент за товарният ток е показан на фиг. 6.б. Графичното сравнение на двата резултата показва занижена консумация при две честоти $f_1 = 100Hz$ и $f_2 = 10,5kHz$, причина за което са резонансните свойства на товара.

Заклучение:

В представената статия се посочва изследване на нискочестотно стъпало, при което се отчитат основните параметри на товара. Именно тази особеност се отразява в последователността на проектиране. Проведени са няколко числени експеримента, който спомагат за по-прецизното определяне на:

- амплитудата на изходното напрежение (или ток) е честотно зависима, което определя различен избор на градивните компоненти;
- избор на различен колекторен ток на покой за крайните транзистори;
- избор на различно захранващо напрежение на схемата;

При проектиране на транзисторно стъпало клас АВ се отчита честотното изменение на изходния импеданс. Еквивалентната заместваща схема на товара се представя с неговият собствен капацитет и индуктивност (последователно - паралелна заместваща схема). При настоящото изследване не се отчитат механичните параметри на товара. Очаквани предимства при отчитане на честотното изменение на товара са:

- Максималната стойност на напрежение върху товара (фиг.5.) се различава с 300% спрямо познатите методи за оценка;
- Максималният товарен ток (фиг.5.) се различава с 50% спрямо познатите методи;
- Големината на хранящото напрежение е от съществено значение при оценка на усилвателя (фиг.6.а.). Изведеният резултат по този метод показва разлики до 300% спрямо известните методи за синтез;
- Отчетеният максимален колекторен ток (фиг.6.б.) показва с 20% по-високо натоварване на изходните транзистори спрямо известните методи.

Използвана литература:

- [1] Г. Ненов „Усилватели изчисляване, измерване, регулиране” С. Техника 2000;
- [2] В. Златаров „Електронни аналогови схеми и устройства” С. Техника 1994;
- [3] И. Немигичев „Аналогова схемотехника” Габрово изд. В. Априлов 2006;
- [4] И. Атанасов „Ръководство за курсово проектиране на нискочестотни усилватели” ТУ Варна 2000;
- [5] Макро модел на нискочестотно озвучително тяло тип band-pass Екатеринаслав Събев Сираков – списание „Акустика”, 2008;
- [6] Band-Pass Loudspeaker Systems with Single Vent, Ekaterinoslav S. Sirakov – ICEST 2009;
- [7] Discovery 15M/4624G00. Scan Speak 2012, N.C. Madsensvej 1 6920 Videbaek, Denmark, www.scan-speak.dk;
- [8] Modification method to project the audio power stage with complex load Pl.Angelov, ICEST 2012.

МОДИФИЦИРАН МЕТОД ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА НИСКОЧЕСТОТЕН АУДИО УСИВАТЕЛ С ОТЧИТАНЕ КОМПЛЕКСНИЯТ ХАРАКТЕР НА ТОВАРА – ЧАСТ.2.

Пламен Ангелов Ангелов, Милена Димитрова Ангелова
 Център по информатика и технически науки, Бургаски Свободен Университет,
 Сан Стефано N 62, Бургас 8001, тел: +359 56 900403, e-mail: pangelov@bfu.bg

Абстракт:

В настоящата статия се представя продължението на модифицирана методика за синтез на линеен аудио усилвател клас АВ с отчитане на комплексният характер на товара. Сравнението на между предложената методика и известните методи показва значително разминаване при определяне на основните параметри, като захранващо напрежение и избор на всички основни компоненти на усилвателя.

Abstract:

In the present article we produce modification methods to determine the basic parameters of the linear audio amplifier with complex load. The compilation between known methods and our modification define some differences between basic parameters like power supply voltage and correct determine of the basic parts.

1. Модифицирана методика за проектиране на усилвател клас АВ

Посочената по-долу методика представлява продължение на анализа посочен в част.1. на едноименната статия. За подробен анализ и оценка е използван високоговорител Discovery 15M/4624G00 [7]. Анализа продължава с определяне на допълнителни параметри:

- Определяне на максималната загубна мощност за всеки от транзисторите T_1 и T_2 ;
- Оразмеряване на охлаждащ радиатор за транзистори T_1 и T_2 ;
- Определяне на големината за всеки от резисторите R_1 и R_2 ;
- Определяне на разсейваната мощност за всеки от резисторите R_1 и R_2 ;

1.1. Определяне на максималната загубна мощност за всеки от транзисторите T_1 и T_2

Определяне на загубната мощност $P_{C1,2}$, която се разсейва в колекторния преход на всеки един от транзисторите T_1 и T_2 може да се обобщи с израз (1):

$$P_{C1,2}(f) = 0,02 \frac{U_{CC}^2}{Z_{load}^2(f)} \cdot R(f) + I_{Cp1,2} \cdot U_{CC} \quad (1)$$

където:

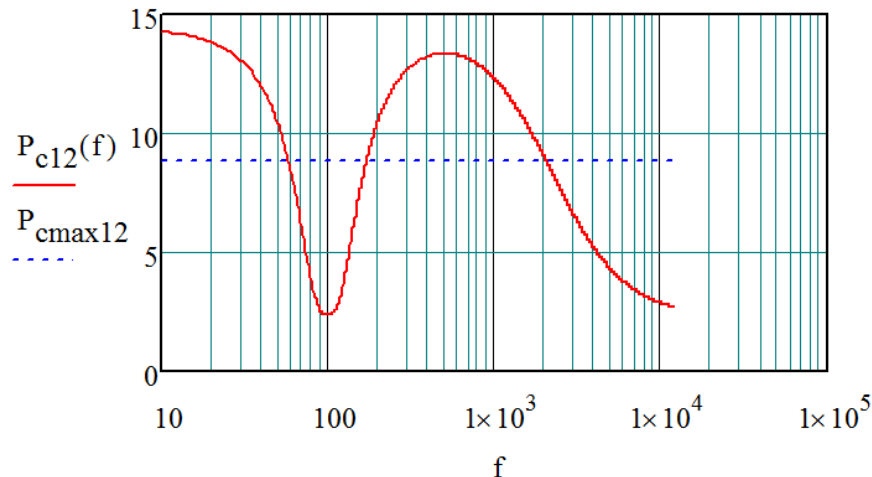
$P_{C1,2}$ - загубната мощност за всеки от транзисторите T_1 и T_2 . За разлика от класическата методика тук се отчитат едва 2% от мощността отдавана върху товара. Тази разликата произлиза от честотната зависимост на високоговорителя.

U_{CC} - стойността на това напрежение се отчита графично след пресмятане на израз (15);

$Z_{load}(f)$ - модул на комплексният импеданс, стойността е получена при пресмятане на израза за комплексният импеданс на товара;

$I_{Cp1,2}$ - колекторния ток на покой за всеки от транзисторите T_1 и T_2 .

При известни параметри на товара с помощта на получения израз се определя максималната загубна мощност за всеки от транзисторите T_1 и T_2 . Полученият резултат е показан на фиг.1.



Фиг.1.Числен експеримент за определяне на максималното колекторно напрежение отдавана мощност за всеки от транзисторите T_1 и T_2

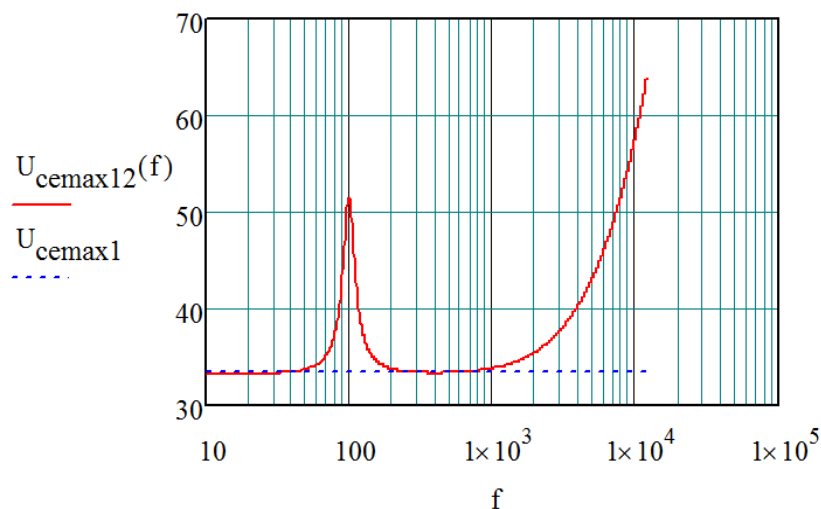
От графиката се избира максималната стойност на мощността $P_{c12}=12W$ (за изведеният честотен обхват). Тук се забелязва значително намаляване на загубите при първа $f_1=100Hz$ и втора $f_h=10,5kHz$ резонансни честоти. Причина за това са резонансните параметри на избраният високоговорител.

1.2. Избор на транзисторите T_1 и T_2

Отчитайки честотните свойства на товара, за допустимо обратно напрежение $U_{CE\max1,2}$ можем да обобщим следния израз [1],[2],[3] и [4]:

$$U_{CE\max1,2}(f) \geq 0.5 \cdot (U_{CC} + U_i(f)) \quad (2)$$

Нека направим числен експеримент за определяне на максималното напрежение U_{ce} за всеки от транзисторите T_1 и T_2 . Полученият резултат е показан на фиг.2.



Фиг.2. Числен експеримент за определяне на максималното колекторно напрежение за всеки от транзисторите T_1 и T_2

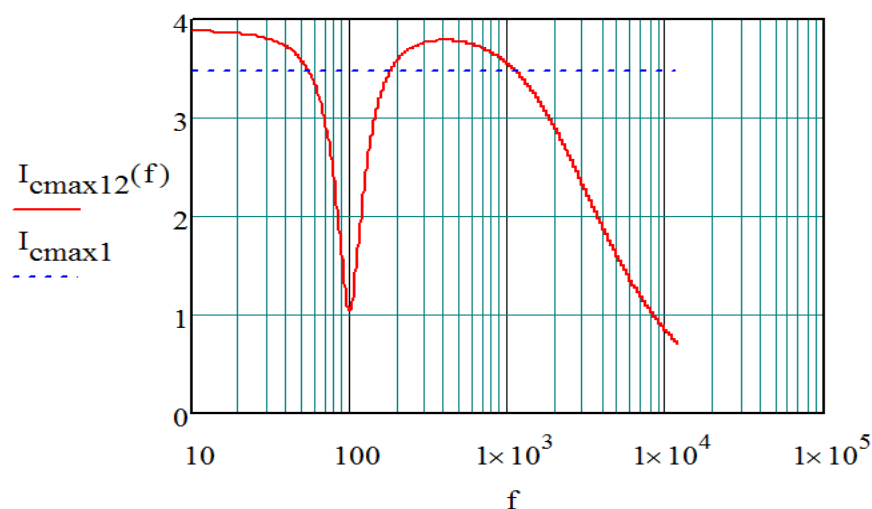
Получената графика показва, че ограничението на захранващото напрежение се диктува от резонансните свойства на товара. Така получената максимална стойност за напрежението $U_{cmax12} = 64V$ (фиг.2.) е определяща при избор на подходящ транзистор.

1.3. Определяне на максималният колекторен ток за всеки от транзисторите T_1 и T_2

След внимателно проучване на всички известни методи за синтез [1-4] за колекторният ток се извежда израз:

$$I_{Cmax1,2} \geq 1.1 \cdot I_{lmax} \quad (3)$$

Числен експеримент показващ поведението на колекторният ток с отчитане на импедансната характеристика на товара е показан на фиг.3. От полученият резултат може да се направи извода: Максималният ток през транзисторите се ограничава в моментите на собствен резонанс на високоговорителя.



Фиг.3. Числен експеримент за определяне на максималният колекторен ток за всеки от транзисторите T_1 и T_2

1.4. Оразмеряване на охлаждащия радиатор на всеки от транзисторите T_1 и T_2 .

В началото се определя топлинното съпротивление между корпуса на транзистора и околна среда с познатият израз [4]:

$$R_{thca} = R_{thja} - R_{thjc} \quad (4)$$

Известно е, че определянето на желаното топлинно съпротивление на охлаждащия радиатор се използва израз [4]:

$$R_{thra} = R_{thca} - R_{thcr} \quad (5)$$

където:

$R_{thcr} = (0,2 \div 2), K/W$ – топлинно. съпротивление между корпуса на транзистора и радиатора. Технически параметър който зависи от типа на използваната изолация.

Начални условия: околна температура – $T_{nom} = 25^{\circ}C$; работна температура на транзистора – $T_a = 65^{\circ}C$; максимално допустима температура $T_{jmax} = 150^{\circ}C$.

При тези допускания за големината на топлинното съпротивление се получава честотна зависимост от вида:

$$R_{th}(f) = \frac{T_{j\max} - T_a}{P_{c12}(f)} \quad (6)$$

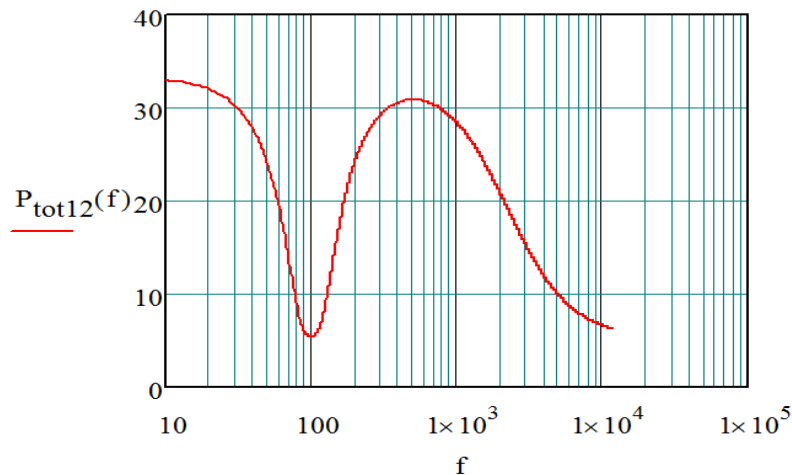
След като знаем, че $R_{thjc} = 0.7R_{th}$ [4] и стойността за R_{th} се замести в израз.6. за честотната зависимост на топлинното съпротивление R_{thjc} ще получим израза:

$$R_{thjc} = 0.7 \cdot \frac{T_{j\max} - T_a}{P_{c12}(f)} \quad (7)$$

Тогава за оценка на отдадената топлинна мощност P_{tot} ще се получи:

$$P_{tot12}(f) = 1.1 \cdot \frac{T_{j\max} - T_{nom}}{R_{thjc}(f)} \quad (8)$$

Познаването на импедансната характеристика показва две гранични температури и промяна в топлинното съпротивление R_{thjc} . В този случай за големината на отдаваната топлинна мощност ще получим графиката от фигура 3.



Фиг.4. Числен експеримент за определяне на отдадената топлинна мощност за всеки от транзисторите T_1 и T_2

За коректния избор на съставен транзистор следва определяне на граничната честота. При всички известни методи за синтез на усилватели от този клас се използва идентичен израз за определяне на максималната транзитна честота[1],[2],[3],[4]:

$$f_t = (5-10) \frac{f_h}{\sqrt{M_{h1,2}^2 - 1}} \quad (9)$$

където:

$M_{h1,2}$ – допустими нелинейни изкривявания в честотна област $f_l \div f_h$;

f_h - горна гранична честота на работа за стъпалото.

При зададени изкривявания $M_{h12} = 0.4dB$ и горната гранична честота $f_h = 17kHz$ се получава $f_t = 372kHz$.

След определяне на всички параметри се избира комплементарна двойка транзистори с различна проводимост и близки технически параметри. При избора трябва да се отчете неравенството $P_{tot1,2избран} \geq 1.2 \cdot P_{tot1,2изчислен}$ (без радиатор), ако това условие не е

изпълнено се включва охлаждащ радиатор за всеки от транзисторите T_1 и T_2 . В този случай подходящи транзистори са: 2N6473- NPN и 2N6475-PNP, със следните параметри: $U_{ce}=100V$, $I_{cmax}=5A$, $f_t=20MHz$, $h_{21e}=30-150$, $P_{tot}=30W$.

1.5. Определяне на охлаждащ радиатор за избраните транзистори

Изброените параметри показват необходимост от проектиране на охлаждащ радиатор. Площта на този радиатор се определя с израз (10) [4]:

$$S(f) = \frac{650 \cdot C}{R_{thra}(f) - \frac{3,3 \cdot \sqrt[4]{C}}{\sqrt{G_{th} \cdot d}}} [cm^2] (10);$$

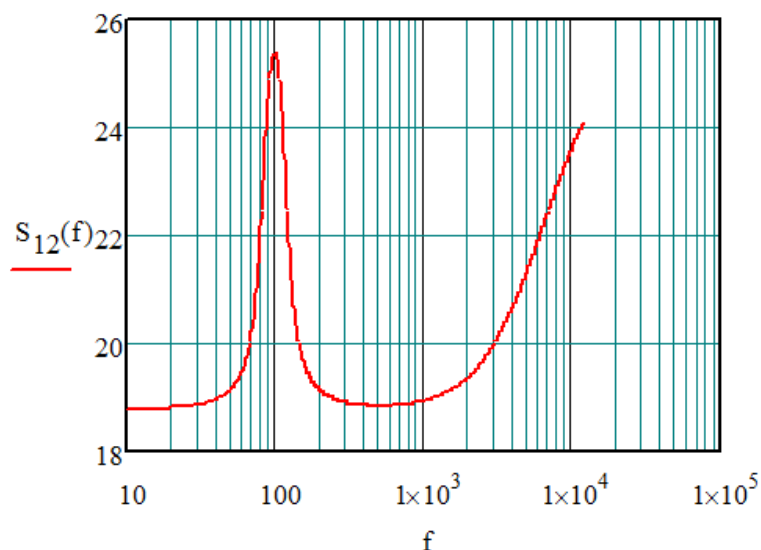
където:

G_{th} – топлинна проводимост на материала използван за радиатор, най-често се предпочита меден радиатор при който $G_{th} = 3.5-4 [W/K.cm]$;

d – дебелина на металната плоча на радиатора (в милиметри);

$C = 1$ – коефициент, зависещ от разположението на радиатора [2].

Промяната в познатият израз се състои в честотната зависимост на израз (9) При заместване на всички известни параметри се получава графиката:



Фиг.5.Числен експеримент за определяне на отдадената топлина за всеки от транзисторите T_1 T_2

Получената графика насочва вниманието към значително по-висока площ на радиатора при натоварване на транзистора с комплексен товар.

1.6.Определяне големината на всеки от резисторите R_1 и R_2

Следва определяне на големината на всеки от резисторите R_1 и R_2 с израза:

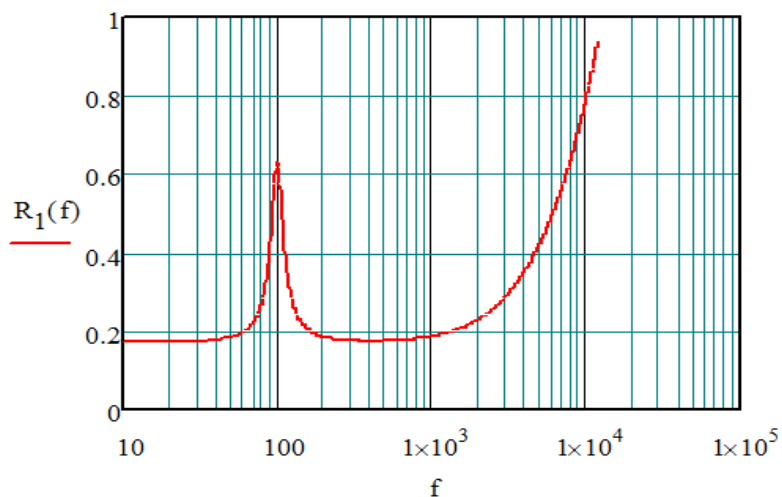
$$R_1(f) = R_2(f) = \frac{U_{R12max}}{I_1(f)} (11)$$

където:

U_{R12max} - максималното напрежение върху резистора, което ще предизвика задействане на токовата защита. Границите на това напрежение са 0.6-0.8V за силициеви транзистори;

$I_1(f)$ - честотната зависимост на колекторния ток за всеки от транзисторите T_1 и T_2 .

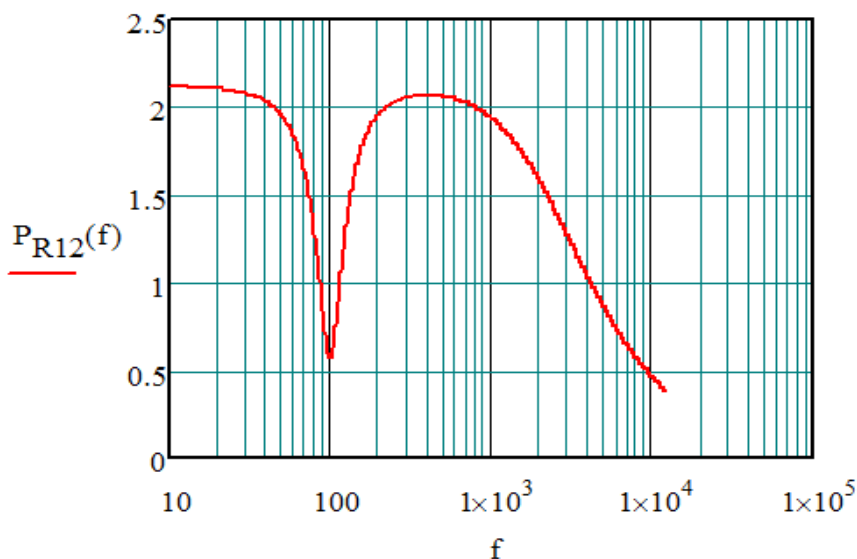
След като заместим получените стойности в израз (11) за изменението на резистор $R_1(f)$ ще получим следната графика:



Фиг.6. Числен експеримент за определяне на съпротивлението $R_1(f)$

1.7. Определяне на разсейваната мощност от резисторите R_1 и R_2 :

$$P_{R12} = U_{R12 \max} \cdot I_{l \max} \quad (12)$$



Фиг.7. Числен експеримент за определяне на разсейваната мощност върху резистор R_1

След отчитане на резултатите от фиг.6. и фиг.7. се избира стандартна стойност на съпротивлението $R_1 = R_2 = 0,6 \Omega / 2W$.

Заклучение

Предложеният нов подход за синтез и оценка на аудио усилвател се свежда до отчитане на импедансната характеристика на товара в процеса на проектиране. Проведени са няколко числени експеримента, който допълнително спомагат за по-прецизно определяне на:

- Максималната мощност отдадена от колекторният преход на транзисторите T_1 и T_2 ;
- Максималното колекторно напрежение на транзисторите T_1 и T_2 ;
- Максималният колекторен ток за всеки от транзисторите T_1 и T_2 ;
- Прецизно определяне площта на охлаждащият радиатор;

- Определяне на съпротивления R_1 и R_2 с отчитане на честотната характеристика на товара.

При проектиране на транзисторно стъпало клас АВ се отчита честотното изменение на изходния импеданс. Еквивалентната заместваща схема на товара се представя с неговата еквивалентна заместваща схема [5],[6]. В процеса на проектиране изменението на изходния импеданс определя значителни различия в стойностите на елементите:

- Отчетената от фиг.1. максималната разсейвана мощност от транзисторите T_1 и T_2 се различава с 20% спрямо традиционните методи за оценка;
- Отчетената стойност за колекторното напрежение $U_{cemax12}$ от фиг.2. показва разминаване с 200% спрямо познатите методи;
- Изведеният метод за оценка на максималният колекторен ток I_{cmx12} показва разминаване с 10%;
- Получената стойност за площта на охлаждащият радиатор се различава с 25%;
- Прецизното определяне на съпротивления показва разминаване с 300% спрямо известните методи за оценка.

Използвана литература:

- [1] Г. Ненов „Усилватели изчисляване, измерване, регулиране” С. Техника 2000;
- [2] В. Златаров „Електронни аналогови схеми и устройства” С. Техника 1994;
- [3] И. Немигенчев „Аналогова схемотехника” Габрово изд. В. Априлов 2006;
- [4] И. Атанасов „Ръководство за курсово проектиране на нискочестотни усилватели” ТУ Варна 2000;
- [5] Макро модел на нискочестотно озвучително тяло тип band-pass Екатеринаслав Събев Сираков, списание „Акустика” 2008;
- [6] Band-Pass Loudspeaker Systems with Single Vent Ekaterinoslav S. Sirakov – ICEST 2009;
- [7] Discovery 15M/4624G00. Scan Speak 2012, N.C. Madsensvej 1 6920 Videbaek, Denmark, www.scan-speak.dk;
- [8] Modification method to project the audio power stage with complex load Pl.Angelov, ICEST 2012.

ОСОБЕНОСТИ НА РАЗДЕЛИТЕЛНИТЕ ВЕРИГИ В ДИФЕРЕНЦИАЛНИТЕ УСИЛВАТЕЛИ

Христо Живомиров Караиванов,
Георги Иванов Димитров

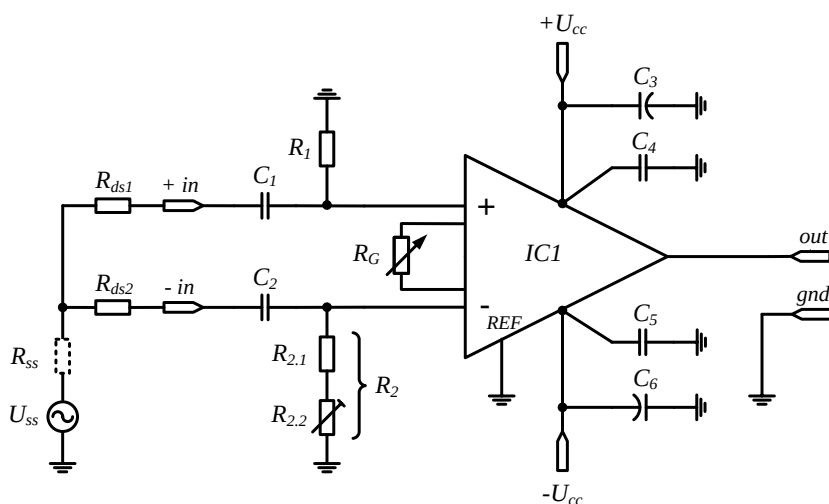
Технически университет - Варна

I. Въведение

В съвременната схемотехника, все повече се използват диференциалните усилватели. Тяхната роля е особено изразена в аудиотехниката, хидроакустиката и измервателната техника, където се ползват като входни устройства, балансни усилватели, входен интерфейс към аналого-цифрови преобразователи и пр. Често се налага на входа на тези устройства да присъства разделителна верига, представляваща по същество високочестотен филтър. Нейното правилно проектиране е от съществено значение, особено, ако се цели постигане на висока стойност на коефициента на потискане на синфазните сигнали (*common-mode rejection ratio, CMRR*). Тема на публикацията, е разглеждането на този въпрос.

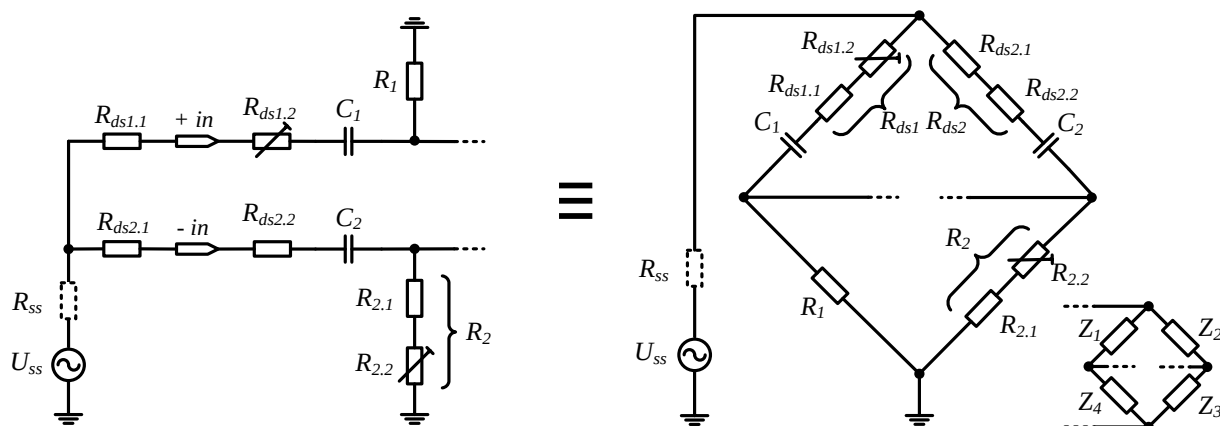
II. Теоретичен анализ

На фиг. 1 е дадена принципна електрическа схема на съвременен ИДУ в режим на работа със синфазни сигнали [1]. Обозначени са вътрешното съпротивление R_{ss} на източника U_{ss} , както и съпротивленията R_{ds1} , R_{ds2} , характеризиращи несиметрията по пътя на сигнала към инвертиращия и неинвертиращия вход на усилвателя. Последната може да се дължи на несиметрия в източника на диференциален сигнал, разлика в съпротивленията на свързващите проводници, контактните съпротивления, различните загуби в разделителните кондензатори и др.



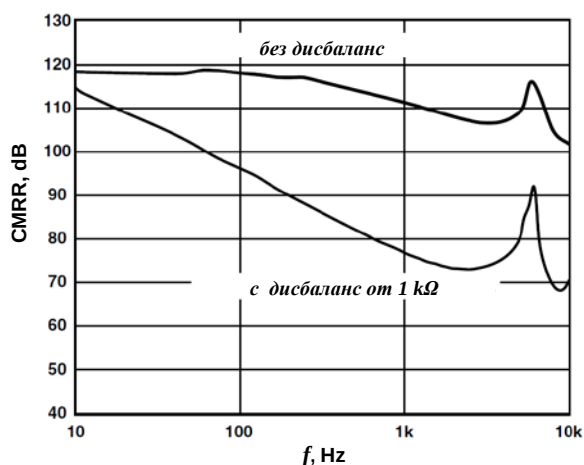
Фиг. 1. Принципна схема на ИДУ с източник на синфазен сигнал

Разделителните вериги на усилвателя, образуват мост, както е показано на фиг. 2. При отчитане съпротивления на несиметрия R_{ds1} , R_{ds2} , се получава класически мост на Вин (*Max-Wien bridge*) [2, 3, 4]. При това съпротивлението на източника на синфазен сигнал R_{ss} , не влияе върху параметрите на разделителните вериги, бидейки извън моста.



Фиг. 2. Еквивалентна схема на входната верига на ИДУ, при взета предвид несиметрия на източника на диференциален сигнал

В случай, че мостът не е уравновесен (или което е все едно, времеконстантите на разделителните вериги на двата входа са различни), то синфазни напрежения, подадени на входовете на усилвателното стъпало, пораждаат диференциално входно напрежение. Ефектът е посочен в [1], без да е подробно разгледан и представлява сериозен проблем, тъй като при равни други условия, води до влошаване на *CMRR* на целия усилвател, независимо и въпреки употребата на ИДУ с висок собствен такъв. Пример за влошаване на *CMRR*, поради дисбаланс е показан на фиг. 3 [5].



Фиг. 3. Зависимост на *CMRR* от честотата и дисбаланса на входните съпротивления на двата входа за ИДУ AD8230

Условието за равновесие на моста на Вин, може да се изведе от общото условие [2, 4]:

$$\dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_3 = \dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_4 \quad (1)$$

При заместване в (1), съгласно означенията на фиг. 2, за реалната и имагинерна част, се записва съответно [2, 4]:

$$\Re \quad R_1 \cdot R_{ds2} = R_2 \cdot R_{ds1} \quad (2)$$

$$\Im m \quad R_1 \cdot X_{C2} = R_2 \cdot X_{C1} \quad (3)$$

Анализът показва, че за едновременно изпълнение на двете условия, е необходимо регулиране на поне два параметъра, като поне един от тях участва независимо в уравненията (т.е. среща се само в едното от тях). От практическа гледна точка, най-удобно е, да се регулират стойностите на резисторите R_1 или R_2 и R_{ds1} или R_{ds2} . Тъй като последните са до голяма степен априорно неизвестни, то необходимо е да се добавят два резистора $R_{ds1.2}$ и $R_{ds2.2}$, единият от които (например $R_{ds1.2}$) изпълнен като тример, отговарящи на условията:

- стойност един порядък по-голяма от очакваната стойност на $R_{ds1.1}$ и $R_{ds2.1}$;
- $R_{1.2} \approx 1,5 \cdot R_{2.2}$.

Изходното напрежение на небалансирания мост на Вин, може да се изведе, ако лявата и дясна част се разгледат като делители на напрежение. При това [2]:

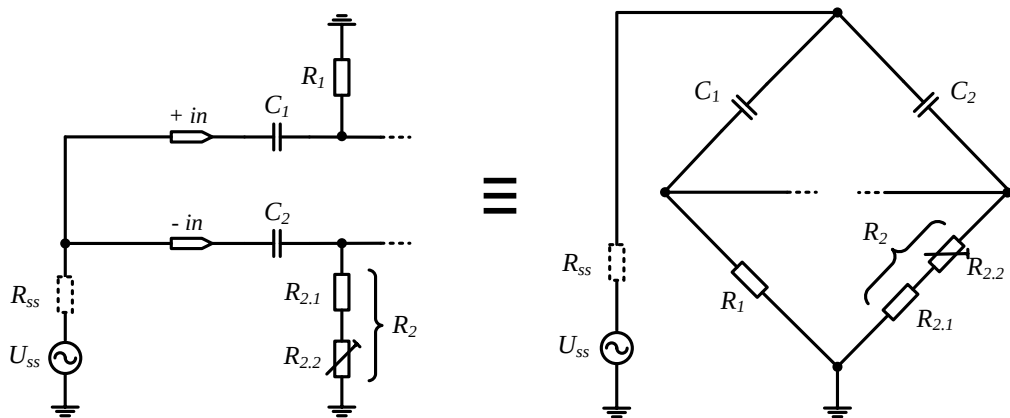
$$\dot{U}_{unbal} = \dot{U}_{ss} \left(\frac{R_1}{\dot{Z}_{eq1}} - \frac{R_2}{\dot{Z}_{eq2}} \right), V, \quad (4)$$

където:

$$\dot{Z}_{eq1} = R_1 + R_{ds1} - jX_{C1}, \quad (5)$$

$$\dot{Z}_{eq2} = R_2 + R_{ds2} - jX_{C2}, \quad (6)$$

В практиката обикновено е изпълнено условието $R_{ds1} \approx R_{ds2} \ll R_1$. В този случай, влиянието на съпротивленията R_{ds1} и R_{ds2} може да се пренебрегне, при което схемата от фиг. 2, се преобразува във вида показан на фиг. 4.



Фиг. 4. Еквивалентна схема на входната верига на ИДУ, с пренебрегване несиметрията на източника на диференциален сигнал

Формира се верига, известна още като мост на де Саути (*C. V. de Sauty bridge*) [3, 4]. Условието за неговото балансиране, се свежда до израз (3) и може да се изпълни с

промяна стойността на R_2 , реализиран като резистор с фиксирана стойност $R_{2,1}$ и много-оборотен тример $R_{2,2}$. При избора на стойности се препоръчва:

$$R_{2,1} = 0,9 \cdot R_1, \Omega \quad (7)$$

$$R_{2,2} = \frac{R_1[(1+\delta_R)(1+\delta_C) - 0,9(1-\delta_R)(1-\delta_C)]}{(1-\delta_{R_{2,2}})(1-\delta_C)}, \Omega, \quad (8)$$

където: $\delta_R, \delta_C, \delta_{R_{2,2}}$ – толеранси съответно на резисторите, кондензаторите и тримера. По този начин се обезпечава настройка на моста, при най-лошия случай на съвпадение посоката на толерансите на компонентите. При толеранс $\pm 10\%$ за кондензаторите и тримера и $\pm 5\%$ за резисторите, $R_{2,2} = 0,5 \cdot R_1$.

Напрежението на дисбаланса U_{unbal} , което в конкретния случай се явява диференциално напрежение U_{diff} на входа на усилвателя, може да се намери съгласно изрази (4) ÷ (6), полагайки $R_{ds1}, R_{ds2} = 0$. След преобразуване, се записва:

$$\left| \frac{\dot{U}_{diff}}{\dot{U}_{ss}} \right| = \frac{\left| \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta R}{R} \cdot \frac{\Delta C}{C} \right|}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{\omega}{\omega_{RC}} \right)^2 \right] \cdot \left[1 + \left(1 + \frac{\Delta R}{R} \right)^2 \cdot \left(1 + \frac{\Delta C}{C} \right)^2 \right]}}, \quad (9)$$

където: $\frac{\Delta R}{R} = \frac{R_2 - R_1}{R_1}$ – относителна разлика на резисторите;

$\frac{\Delta C}{C} = \frac{C_2 - C_1}{C_1}$ – относителна разлика на кондензаторите;

ω , rad/s – текуща честота;

$\omega_{RC} = \frac{1}{RC}$, rad/s – гранична честота на RC-групата.

Анализът на израз (9) показва, че при $\frac{\omega}{\omega_{RC}} \rightarrow \infty$, независимо от отношенията $\frac{\Delta R}{R}$

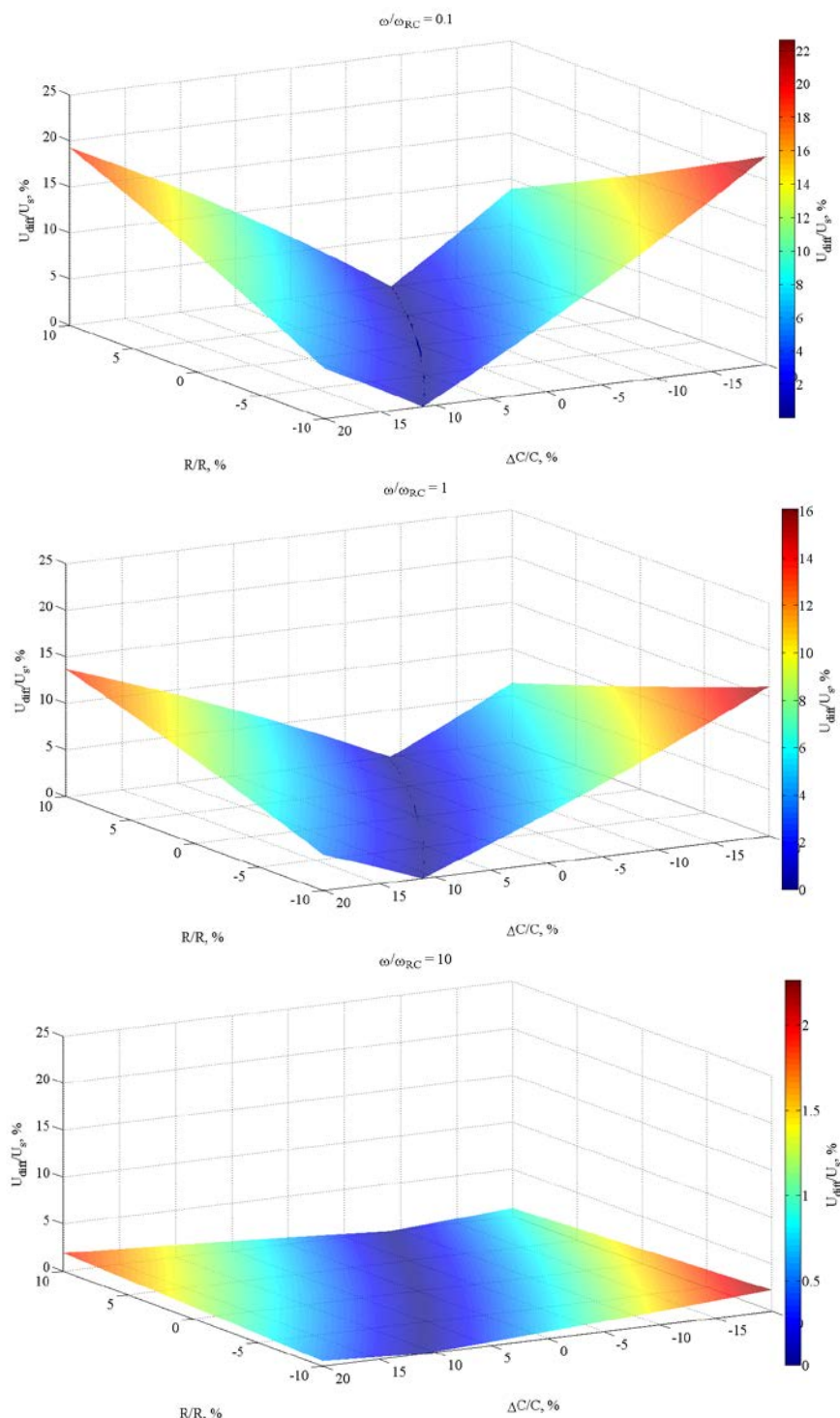
и $\frac{\Delta C}{C}$, $\left| \frac{\dot{U}_{diff}}{\dot{U}_{ss}} \right| \rightarrow 0$, а при $\frac{\omega}{\omega_{RC}} \rightarrow 0$:

$$\left| \frac{\dot{U}_{diff}}{\dot{U}_{ss}} \right| \approx \frac{\left| \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta R}{R} \cdot \frac{\Delta C}{C} \right|}{\sqrt{1 + \left(1 + \frac{\Delta R}{R} \right)^2 \cdot \left(1 + \frac{\Delta C}{C} \right)^2}} \quad (10)$$

Графичната зависимост на $\left| \frac{\dot{U}_{diff}}{\dot{U}_{ss}} \right|$ от отношенията $\frac{\Delta R}{R}$ и $\frac{\Delta C}{C}$, при параметър $\frac{\omega}{\omega_{RC}}$

е показана на фиг. 5, при зададени рамки на толеранса на компонентите в моста от $\pm 10\%$ за кондензаторите и $\pm 5\%$ за резисторите. Дадената зависимост, показва че настройката на

моста трябва да се извършва при честота $\omega \ll \omega_{RC}$ и максимален коефициент на усилване на ИДУ, при което дисбалансът ще бъде най-добре изразен.



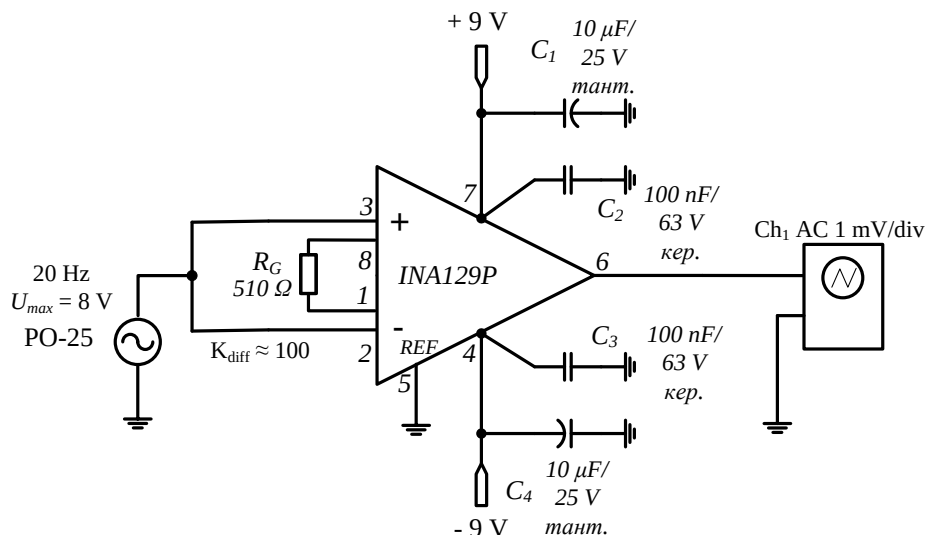
Фиг. 5. Зависимост на отношението U_{diff}/U_{ss} от толеранса на компонентите изграждащи входните разделителни вериги

Трябва да се отбележи, че балансирането на входните вериги на ИДУ, води в общия случай до различно по стойност еквивалентно активно съпротивление спрямо двата входа. Така възниква входно напрежение на несиметрия (*input offset voltage*), което е необходимо да бъде нулирано по един от известните за това начини [1], или елиминирано с разделителен кондензатор на изхода на усилвателя.

В заключение може да се посочи, че са налични интегрални схеми, изпълняващи роля на автоматично балансиращ се мост, компенсирайки разлики в използваните компоненти и несиметрия по пътя на синфазните сигнали, чиято архитектура, схемотехника и действие са разгледани в [6].

III. Експериментални изследвания

На фиг. 6 е показана принципната схема на подаване на синфазен сигнал без прехвърлящи RC -вериги на инструментален диференциален усилвател INA129P. Чрез резистора R_G се задава диференциалният коефициент на усилване по формулата $G_{diff} = 1 + 49,4 \text{ k}\Omega / R_G [\text{k}\Omega]$ и за използвания в схемата резистор $G_{diff} = 97,8 \approx 100$.



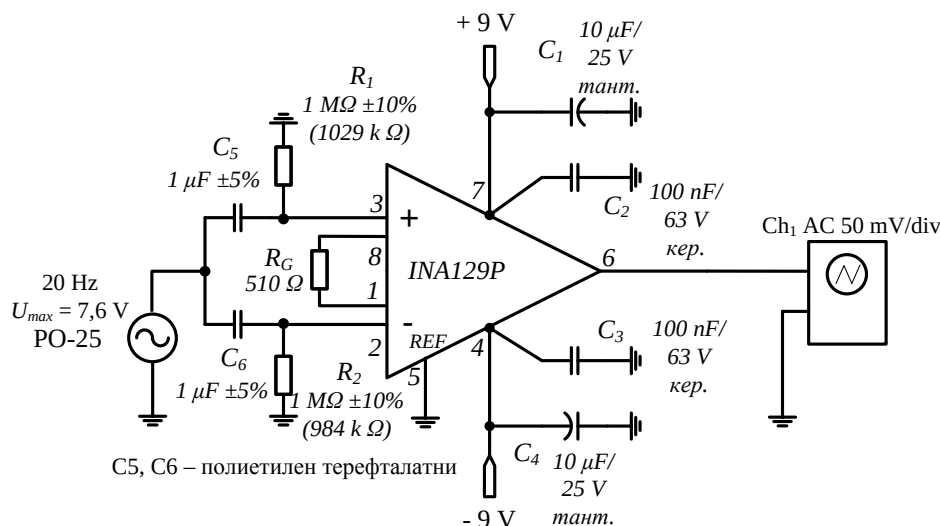
Фиг. 6. Първоначално подаване на синфазен сигнал без прехвърлящи RC вериги

При подаване на входен синусоиден сигнал с честота 20 Hz и амплитуда 8 V, на осцилоскопа, включен в изхода се наблюдава много слаб сигнал, който се маскира от шумовете, с амплитуда, която трудно може да се определи, но е под 1 mV, което дава $CMRR > 78 \text{ dB}$.

На фиг. 7 е показана принципната схема на подаване на синфазен сигнал с прехвърлящи RC -вериги на същия усилвател, при еднакви останали условия. При синфазен сигнал с амплитуда 7,6 V (над тази стойност изходната синусоида се изкривява, получават се пропадания на върха, амплитудата на входа е близка до захранващото напрежение), на изхода се получава синусоида с амплитуда 100 mV, което дава $CMRR = 37,6 \text{ dB}$. Измерените стойности на резисторите R_5 и R_6 са дадени в скоби.

За балансиране на входните прехвърлящи вериги, последователно на по-малкия резистор (в случая R_2), се включва многооборотен миниатюрен потенциометър със съпротивление $RP \approx 1,5 \div 2 \cdot |R_1 - R_2|$, свързано като променлив резистор. В случая $RP = 68 \text{ k}\Omega$. Чрез изменение съпротивлението на променливия резистор се постига минимум на U_{out} . За изследваната схема $U_{out \text{ min}} = 3 \text{ mV}$. Невъзможността за пълно нулиране се обяснява с паразитно проникване на сигнал през монтажа на входните прехвърлящи вериги.

В общия случай, условието за баланс на входния мост от фиг. 7 е $C_5 \cdot R_1 = C_6 \cdot R_2$. Оттук следва, че $R_1 / R_2 = C_6 / C_5$. Не винаги балансиращият променлив резистор ще се включва последователно на по-малкия резистор.



Фиг. 7. Подаване на синфазен сигнал с прехвърлящи RC -вериги

Ако $R_1 / R_2 > 1$ (е по-големият) и също $C_6 / C_5 > 1$, но с по-голяма стойност, то балансиращият променлив резистор трябва да се включи последователно на R_1 , за да „повдигне“ отношението до това на C_6 / C_5 . За да не се налага да се измерват елементите на входната верига, може променливият резистор да има максимално съпротивление $20 \div 30 \%$ от номиналното на входния резистор. Така ще може да се регулира отношението R_1 / R_2 под и над това на C_6 / C_5 . Това улеснение се „заплаща“ с по-остър минимум на балансирането.

IV. Заключение

Представен е теоретичен анализ на RC -разделителни вериги, както и експериментално изследване на нейното действие в опитен образец на съвременен инструментален диференциален усилвател (ИДУ).

Теоретично изведена и опитно доказана е възможността за компенсация на несиметрията в разделителните вериги, с което значително се подобрява $CMRR$ на усилвателното устройство.

Получените аналитични и експериментални резултати, могат успешно да се използват при проектиране, тестване и настройка на различни диференциални и инструментални усилватели за нуждите на аудиотехниката, хидроакустиката, измервателната техника и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. Zumbahlen. Linear Circuit Design Handbook. Analog Devices, 2008.
2. U. Bakshi, A. Bakshi, K. Bakshi. Electrical Measurements and Instrumentation. Pune, Technical Publications, 2009.
3. J. Keithley. The Story of Electrical and Magnetic Measurements: From 500 BC to the 1940s. New York, IEEE Press., 1999.
4. J. Bird. Electrical Circuit Theory and Technology. Oxford, Newnes, 2010.
5. C. Kitchin, L. Counts. Designer's Guide to Instrumentation Amplifiers. Analog Devices, 2006.
6. Achieving Optimum $CMRR$ with Differential Input A/D Converter THAT Corporation Design Note 133.pdf. THAT Corporation, 2011.

ИЗСЛЕДВАНЕ НЯКОИ ПАРАМЕТРИ НА АУДИО СИГНАЛИТЕ

**Христо Живомиров,
Диляна Пламенова**

Технически университет - Варна

I. Въведение

Публикацията е посветена на изследването на основните параметри на аудиосигналите. Направено е запознаване с тяхната същност, като е обърнато внимание най-вече на динамичния диапазон, коефициента на амплитудата и спектралния състав. Засегнат е въпросът за статистическото разпределение на моментните стойности на сигнала. Приложено е изследване на описаните параметри, като са обхванати няколко типа изследвани образци: бял шум, розов шум, музикални произведения от различни жанрови категории и човешка реч на български и английски език.

II. Общи положения

2.1. Динамичен диапазон (*Dynamic Range*)

Динамичният диапазон на сигнал се описва, като съотношение между максималната $u_{\max}$ и минималната $u_{\min}$ моментна стойност, която той може да получи [1, 2]:

$$D = 20 \log_{10} \frac{u_{\max}}{u_{\min}} = 20 \log_{10} \frac{u_{\max}}{u_{\text{noise}}}, \text{ dB}, \quad (1)$$

като последната е ограничена обикновено от нивото на шума.

Максималният динамичен диапазон за цифрова аудио система с равномерно квантуване по ниво, се изчислява като [3]:

$$D_{\text{ADC}} = 20 \log_{10} \left(\frac{2^q}{1} \right) = 6,02 \cdot q, \text{ dB}, \quad (2)$$

където: q – брой на използваните битове, bit.

Максималното съотношение сигнал/шум (*Signal-to-Noise Ratio, SNR*) за посочената цифрова аудио система е [3]:

$$\text{SNR}_{\text{ADC}} = (1,76 + 6,02 \cdot q), \text{ dB} \quad (3)$$

2.2. Коефициент на амплитудата (*Crest-factor, Peak-factor*)

Коефициентът на амплитудата, наречен още пик-фактор е съотношение между върховата (пикова) стойност и ефективната стойност на сигнала [4]:

$$Q = \frac{U_{\max}}{U_{\text{rms}}} \quad (4)$$

За синусоидален сигнал пик-факторът е $\sqrt{2}$, а за случаен сигнал варира в рамките $5 \div 7$ [7].

2.3. Някои особености на практическия спектрален анализ

При практическата реализация на спектралния анализ с програмни продукти (напр. MATLAB®, LabView® и др.), трябва да се вземат под внимание някои особености. На първо място – избора на прозоречни функции (*windowing*). Употребата на конкретен прозорец зависи от много фактори и няма ясно установени правила, но съществуват някои препоръки, дадени в [5]. При това за спектралния анализ на случайни процеси се препоръчва прозорец на Ханинг (*Hanning*). Допълнително трябва да се отчете възможността за застъпване между отделни сегменти от изследвания сигнал (*overlapping*), по време на спектралния анализ. Това води до ефект на нарастване на резолюцията [6, 7]. Най-ефективно от гледна точка на бързодействие, се смята застъпването от 50 % [3, 6], но значително повишаване на резолюцията се постига при по-големи стойности, достигащи до 99 % [7].

2.4. Случайни процеси. Общи сведения и характеристики

Случайният (стохастичен) процес (*probabilistic process*), е математически модел за представяне на случайния сигнал (*random signal*). За сигнали със случаен характер, може да се смятат и звукотехническите сигнали – говор, музика, акустичен шум и др. [8]. Те представляват ергодичен процес, чиито характеристики могат да се определят само по една единствена, но с достатъчна продължителност реализация.

Условието за ергодичност е авто-корелационната функция $R(\tau)$ да клони към нула, когато аргументът $\tau \rightarrow \infty$, т.е. [3, 9]:

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} R(\tau) = 0 \quad (5)$$

Условието за достатъчна дълга реализация T се определя с [10]:

$$T \gg \tau_R, \quad (6)$$

където τ_R - времето на корелация, s. Определя се като периода от време, достатъчен за намаляване на степента на авто-корелацията $R(\tau)$ под предварително определена стойност, обикновено $0,02 \div 0,1$ [3, 9, 10].

Допълнителен интерес представляват средната стойност (*mean value*) на сигнала, имаща смисъл на постоянна съставна [3, 10]:

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad (7)$$

където: N – общ брой на дискретите на сигнала x , както и средноквадратичното (стандартно) отклонение (*standard deviation*), имащо смисъл на ефективна стойност на сигнала [3, 10]:

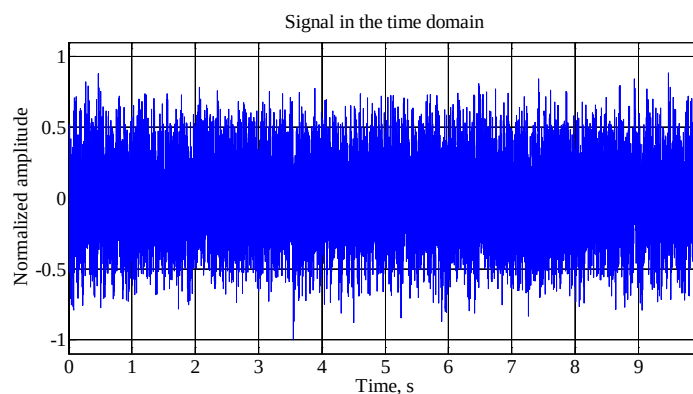
$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)^2} \quad (8)$$

III. Експериментални изследвания

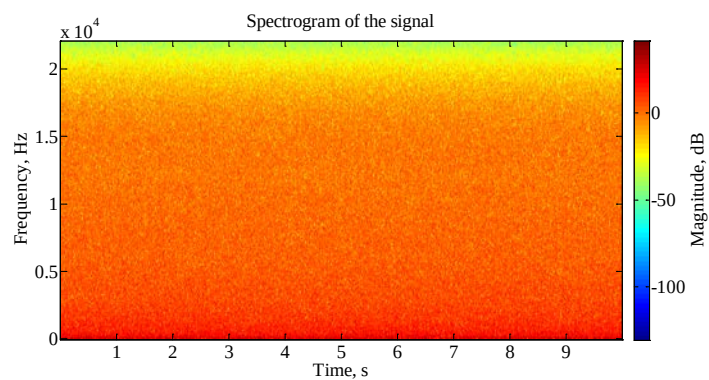
В табл. 1 са дадени резултати от изследвания на музикални произведения от различни жанрове, както и специфични сигнали: бял и розов шум, човешка реч на английски и български език и акапелен женски вокал. Музикалните произведения са изследвани с авторски програмен продукт, работещ в средата на Matlab® (достъпен на <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/38837-sound-analysis-with-matlab-implementation>), като предварително са конвертирани от *.mp3 в *.wav формат. Възможностите на програмния продукт включват: изобразяване на сигнала във времевата област, в честотната област (по два начина), изобразяване на разпределението на моментните стойности, получаване на информация за пик-фактора Q , динамичния диапазон D , средноквадратичното отклонение σ и средната стойност μ .

Таблица 1 Резултати от изследвания на параметри на звукотехнически сигнали

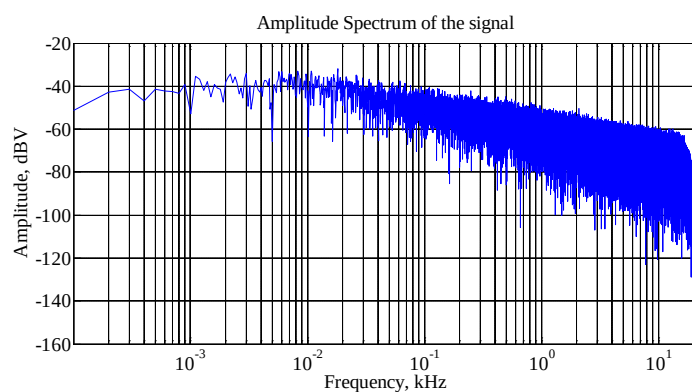
№	Изпълнител	Заглавие	Жанр	D , dB	Q , dB	σ
1	-	Бял шум 10 s	Тестови сигнал	90,30	9,40	0,33
2	-	Розов шум 10 s	Тестови сигнал	89,41	13,35	0,21
3	Лили Иванова	Без радио не мога	Естрада	90,30	17,2	0,18
4	Паша Христова	Една българска роза	Естрада	90,11	15,67	0,16
5	БТР	Цвете от луната	Рок	90,31	12,94	0,22
6	Сигнал	Да те жадувам аз	Рок	90,31	14,84	0,18
7	Мирослав Костадинов (Миро)	Губя контрол	Поп музика	90,31	12,76	0,23
8	Robyn Rihanna Fenty (Rihanna)	Unfaithful	Поп музика	90,22	14,59	0,18
9	Славка Калчева	Бяла роза	Народна музика	90,31	10,60	0,17
10	Оркестър „Дико Илиев“	Дунавско хоро	Народна музика	90,20	11,30	0,22
11	Ludwig van Beethoven	Ode To Joy , 9th symphony	Класическа музика	86,22	13,80	0,23
12	Antonio Lucio Vivaldi	The four seasons	Класическа музика	71,80	14,80	0,21
13	Wolf	The Wolf's Spirit	Транс / Хаус	90,31	11,65	0,26
14	Wolf (feat. 737)	No Time	Транс / Хаус	90,31	11,85	0,25
15	Акапелно изпълнение - жена	-	-	88,65	12,29	0,16
16	Българска реч - мъж	-	-	87,98	15,89	0,16
17	Английска реч - мъж	-	-	87,92	21,99	0,07



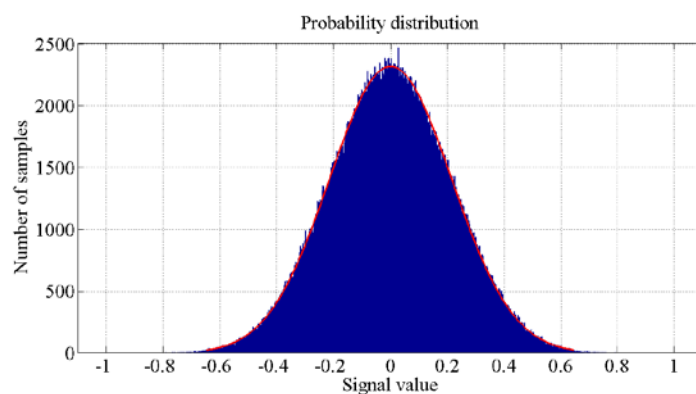
Фиг. 1. Сигнал №2 във времевата област



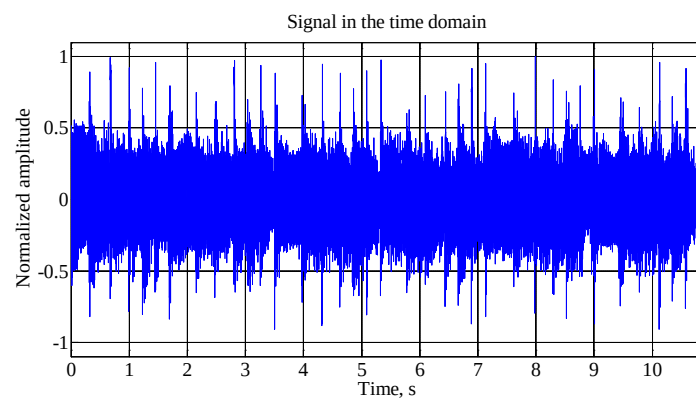
Фиг. 2. Спектрограма на сигнал №2



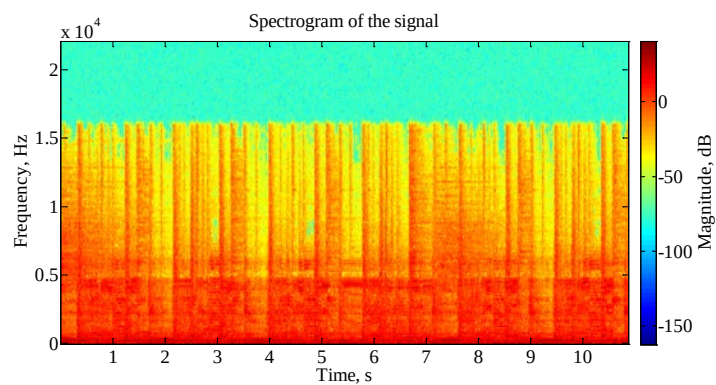
Фиг. 3. Спектр на сигнал №2



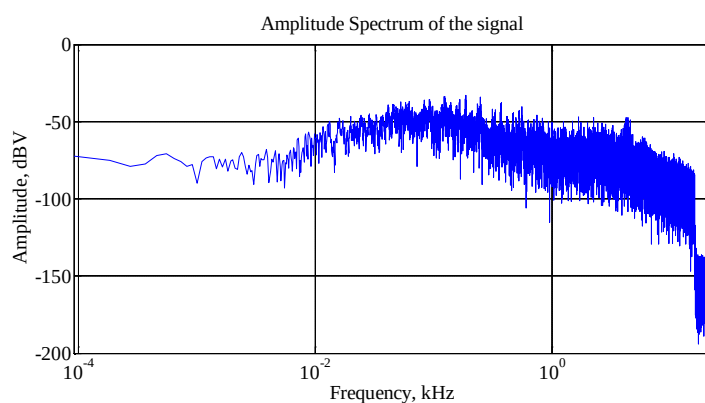
Фиг. 4. Разпределение на моментните стойности на сигнал №2



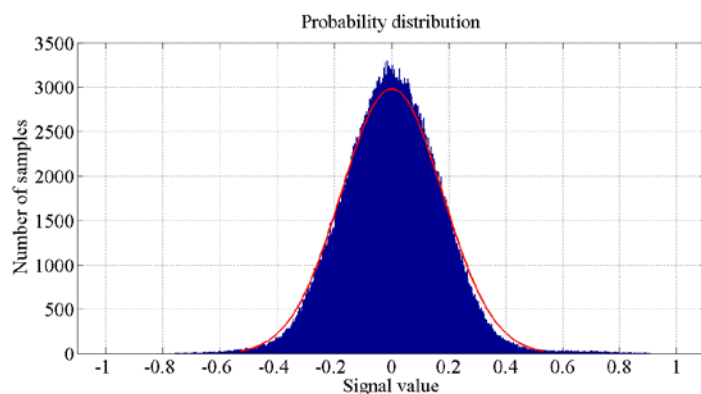
Фиг. 5. Сигнал №5 във времевата област



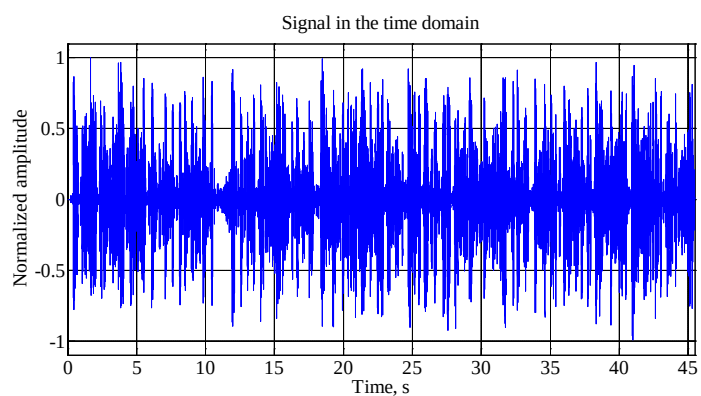
Фиг. 6. Спектрограма на сигнал №5



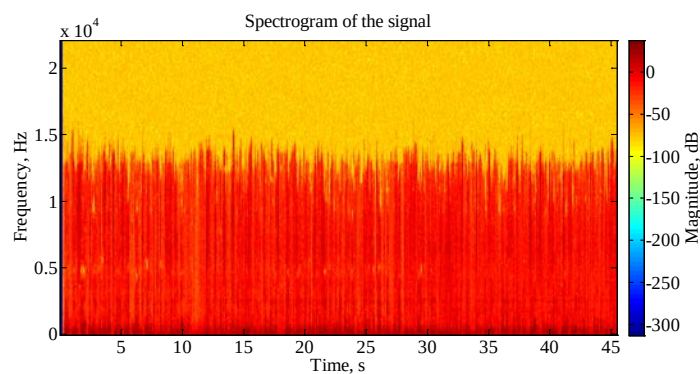
Фиг. 7. Спектър на сигнал №5



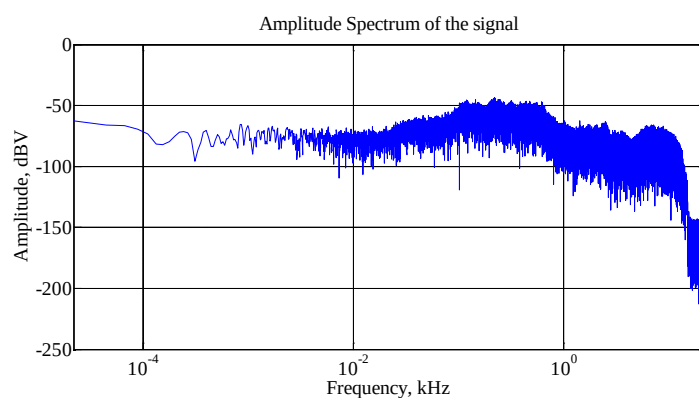
Фиг. 8. Разпределение на моментните стойности на сигнал №5



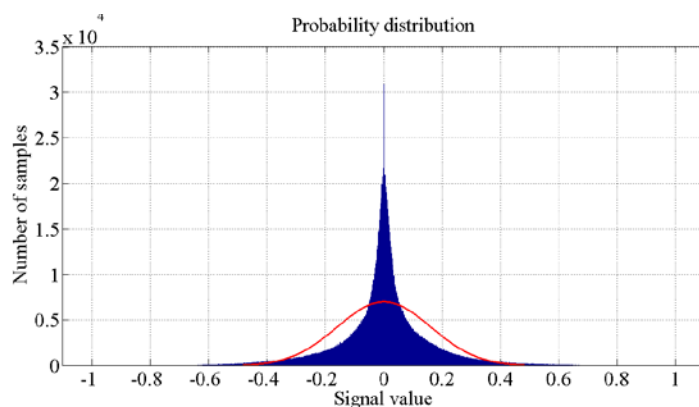
Фиг. 9. Сигнал №16 във времевата област



Фиг. 10. Спектрограма на сигнал №16



Фиг. 11. Спектр на сигнал №16



Фиг. 12. Разпределение на моментните стойности на сигнал №16

Анализът на експерименталните данни, показва някои основни зависимости в изследваните сигнали. Прави впечатление, че нискочестотните съставки на сигнала преобладават имат по-високо ниво, което може да се види на спектрограмите и фигурите изобразяващи спектъра, като преобладават съставките с честоти между 100 Hz и $2 \div 3$ kHz. Може да се отбележи още резкия спад на нивото на сигнала с честота над $17 \div 18$ kHz, дължащ се на антиалайзинг филтъра, пред аналогово-цифровия преобразувател.

Разпределението на амплитудите, позовавайки се на изследванията, може да бъде определено в общия случай като нормално стандартно разпределение, който факт съвпада с теорията и практиката [8, 11]. Последното означава, че по този параметър изследваните сигнали могат да се описват, при първо приближение, като розов шум. При речевите сигнали малките амплитуди преобладават (фиг. 12), т.е. разпределението е нормално с дисперсия $\sigma^2 < 1$.

Измерените стойности на пик-фактора ($10 \div 20$ dB) и динамичния диапазон ($80 \div 90$ dB), съвпадат с очакваните стойности, характерни за сигнали, моментните стойности на които се описват със нормално разпределение и 16 bit-во кодиране.

IV. Заключение

Публикацията описва изследването на основните параметри и характеристики на аудиосигналите. Накратко са посочени и обяснени главните от тях, като са представени и стойностите, които най-често придобиват.

Разгледан е въпроса за спектралния анализ на непериодични дискретни сигнали, каквито са болшинството от съвременните сигнали в аудиотехниката. Направено е разглеждане относно статистическото разпределение на моментните стойности на аудиосигналите. Всички изследвани параметри от експеримента потвърждават основните теоретични положения и съвпадат с резултати от практиката: динамичен диапазон на аудиосигналите около 90 dB, пик-фактор $10 \div 20$ dB ($3 \div 10$ пъти), нормално разпределение на моментните стойности, в повечето случаи – стандартно, с изключение главно на човешката реч. Изследванията се явяват основа за генерализиране на изводите направени в публикация [12], като настоящата се явява нейно продължение.

Получените експериментални резултати, могат успешно да се използват в аудиотехниката: звукозапис, звуковъзпроизвеждане и др.; обработката на аудио сигнали: компресия, реверберация и пр., както и при анализ и проектиране на аудио усилватели.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. Sigismondi. Audio Signal Processors.pdf. Shure Inc., www.shure.com, 2008.
2. D. Bohn. Audio Specifications RaneNote145.pdf. Rane Corp., www.rane.com, 2000.
3. D. Manolakis, V. Ingle. Applied Digital Signal Processing. Cambridge, Cambridge University Press, 2011.
4. Crest Factors and Power Analyzers Technical Brief TB103.pdf. Xitron Tech., www.xitrontech.com, 2011.
5. Windowing: Optimizing FFTs Using Window Functions Tutorial.pdf. National Instruments, www.ni.com, 2011.
6. G. Heinzel, A. Rudiger, R. Schilling. Spectrum and spectral density estimation by the Discrete Fourier transform (DFT), including a comprehensive list of window functions and some new flat-top windows. Germany, Hannover, Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik, 2002.
7. Understanding FFT Overlap Processing Fundamentals.pdf. Tektronix Inc., www.tek.com, 2009.
8. I. Tashev, A. Acero. Statistical Modeling of the Speech Signal. IWAENC 2010, August 30 - September 2 2010, Tel Aviv, Israel.
9. Г. Ненов. Сигнали и системи. София, Нови знания, 2008.
10. Н. Начев. Измерване на характеристиките на случайни процеси: Част 1. Измерване на математичното очакване, дисперсията, функцията и плътността на разпределението. София, ТУ-София, 2010.
11. M. Mijic, D. Masovic, D. Pavlovic, M. Petrovic. Statistical properties of music signals. 126th AES Convention, May 7 – May 10, Munich, Germany. Proceedings of papers, p. 7702, 2009.
12. Хр. Живомиров, Ек. Сираков. Средна разсейвана мощност в режим клас В при работа със случайни сигнали. Юбилеен конгрес с международно участие „Науката и образованието в бъдещето” 50 год. Технически университет - Варна, 4 – 6 Октомври 2012, Варна. Third International Scientific Congress Proceedings, ISBN 978-954-20-0551-3, Vol. 2, pp. 77-81, 2012.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ГОВОР ВЪВ VoIP МРЕЖА

Тодорка Георгиева

Технически университет - Варна

, ул. “Студентска” 1

Тел.: 052 383 304

E-mail: tedi_ng@mail.bg

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Средствата за пренос на глас по Интернет протокол (VoIP), пренос на видео и видеоконференции по Интернет мрежата, позволяват на потребителите да поддържат едно по-високо ниво на комуникативност и информираност.

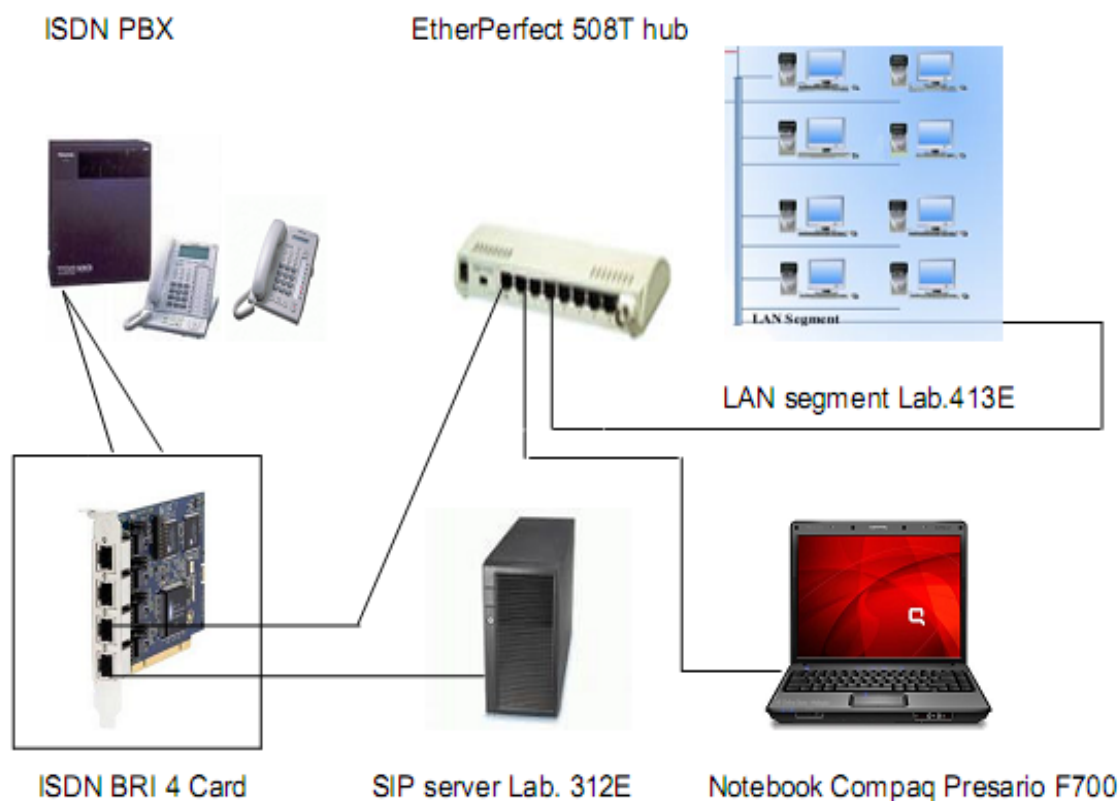
Водещите мотиви в настоящата работа са свързани именно с това, да покажат какви особености притежават и какво е развитието на VoIP технологиите в момента. Целта е да се извърши наблюдение на разпределянето на трафика при свързването на различни видове мрежи – мрежа базирана на времево разделяна на каналите (PSTN цифрова мрежа) и пакетно базирана IP мрежа (VoIP). Приоритет е влиянието на качеството на обслужване (QoS - параметри които определят качеството на обслужването), както и оптимизиране на качеството на VoIP услугите за всеки потребител, и възможностите за предлагане на модерни услуги с на развитие на технологията [1].

II. КОНФИГУРАЦИЯ

VoIP поддържа двупосочен пренос на гласов трафик по мрежи с пакетна комутация.

Качество на Обслужването (QoS) е важна характеристика за интернет комуникациите в реално време. QoS за VoIP е неразривно свързана с предаването на говор чрез PSTN и TDM централи. Има различни фактори, които влияят на качеството на речта при VoIP. Най-основните от тях са големина на пакетите, загуба на пакети, закъснение от мрежата, закъснение от чакане (в опашки), закъснение от джитер, тип на кодека и ехо. Това са факторите, които влияят най-силно на качеството на пренасяната реч [2].

За да бъдат измерванията реални, е необходимо изследваните устройства да работят на едно ниво от OSI модела. За целта е използван концентратор, който разпределя постъпващият на входа сигнал към всички участващи в конфигурацията устройства (фиг.1).



Фиг.1. Сценарий за изследване

За да се осъществи връзка между SIP сървър и ISDN PBX е необходимо да се използват специални за целта модули. Такъв модул е BRI 4 ISDN Card монтиран на шасито на ISDN централата. За връзка от страна на VoIP централата се използва Voice Gateway за определяне на адресирането на потребителите в мрежата[3].

III. РЕЗУЛТАТИ

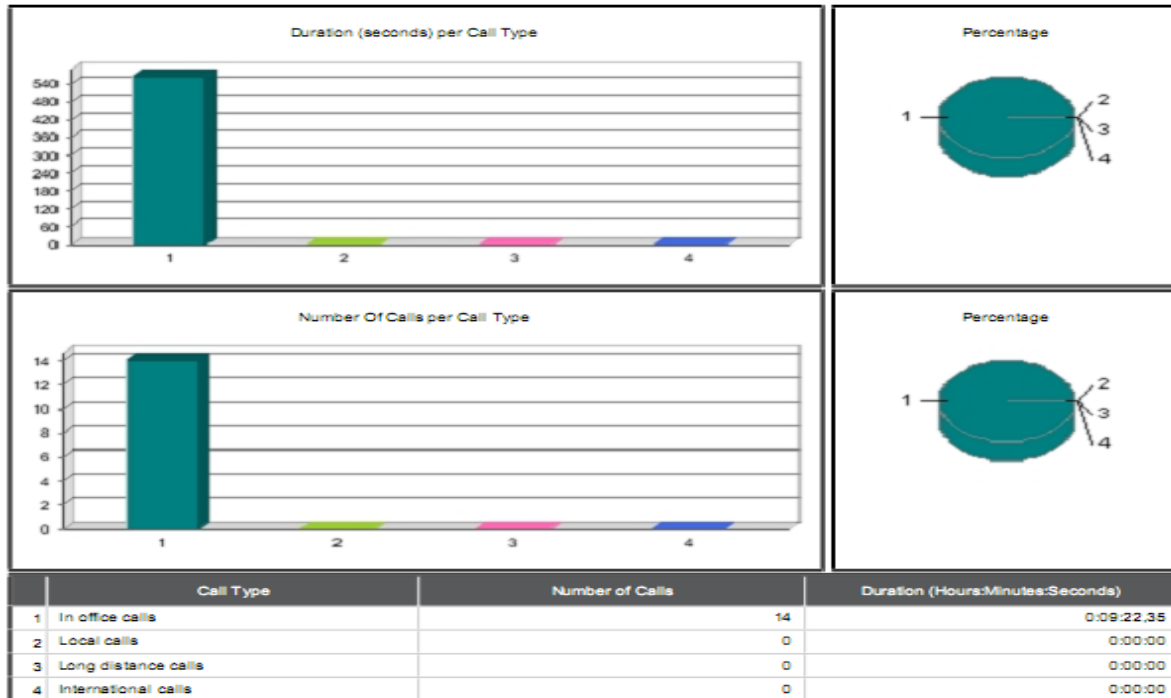
За реализиране на изследването се използват SIP софтуерни телефони и ISDN цифрови телефонни модели [4].

	Values
Number of Servers	1
Total Frames	56383
Total Bytes	12295436
Average Throughput (kbps)	342.627
Client Avg. Response Time (sec)	n/a
Server Avg. Response Time (sec)	n/a
Client Errors	0
Server Errors	0
Global Errors	0

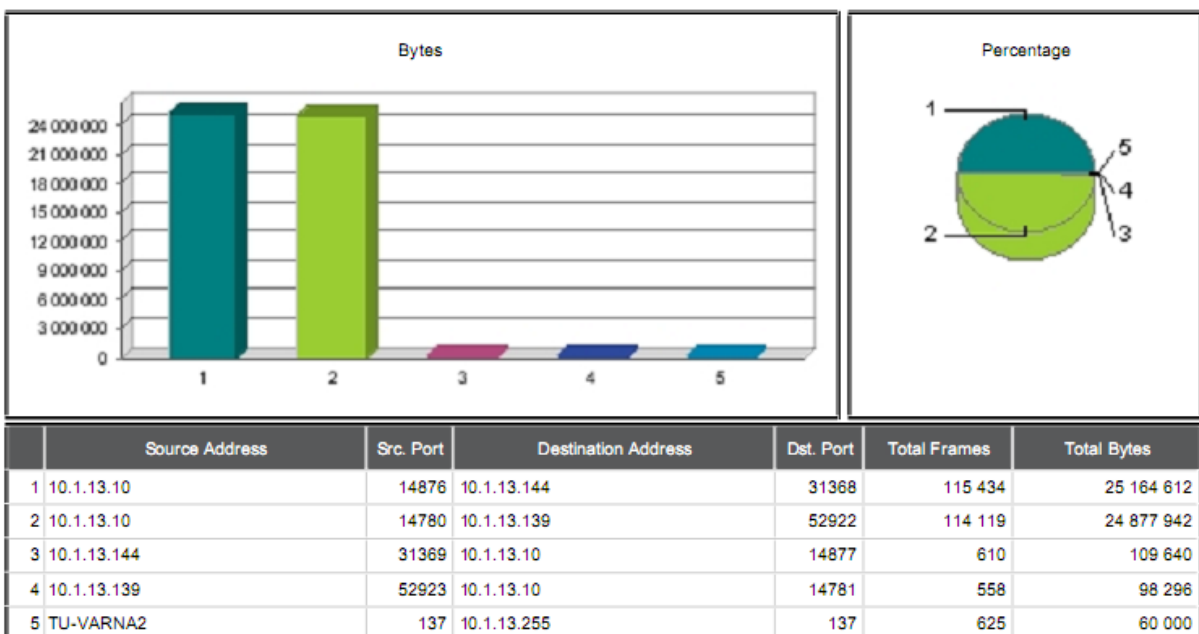
Фиг. 2 Преглед на SIP резултатите (грешки, рамки, байтове, скорост, средна производителност (kbit/s))

На Фиг. 2 са показани резултатите от обслужването на едно повикване. Статистиката е за изпратени рамки, байтове, скорост на потока и грешките. Системата не е натоварена, в резултат на което няма отчетени грешки [5].

На Фиг.3 са пояснени броят на разговорите в и извън мрежата, както и тяхната продължителността.



Фиг.3 Диаграма на SIP разговорите



Фиг.4 Диаграма на IP адресите на повикванията

На Фиг.4 е представено направлението на повикванията и IP адресите им на съответните потребители, както и информация за броя на рамките (Frames), портовете и предадената информация в байтовете.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Изградени и реализирани са връзки между VoIP и ISDN потребители, като са проведени и изследвани разговори между различни абонати.
- Реализиран е VoIP трафика.
- Извършено е наблюдение на трафика и параметрите му.
- Дефинирани са параметрите, които влияят върху QoS.
- Изследвани са параметри на говора при предаването му в различни телекомуникационни мрежи.
- Проведено е изследване на качеството на обслужване (QoS) при реализирана връзка между VoIP базирана мрежа и цифрова комуникационна централа.

ЛИТЕРАТУРА:

1. "Internet Communications Using SIP", Wiley Publishing, Inc. 2006.
2. Voice over IP: <http://test.bloophone.com/Technology.asp>
3. L Sun & E C Ifeachor, "Subjective and Objective Speech Quality Evaluation under Bursty Losses", Department of Communication and Electronic Engineering, University of Plymouth PL4 8AA, UK, pp. 1 –3, 2008.
4. "VoIP Problems": <http://www.bryte.net/ip/problems.asp>
5. Angus Ma, "Voice Over IP (VoIP) Test and Analysis", AHM Technology Corporation, 2000.

“SOUNDSCAPE, SPACEMUSIC – АСПЕКТИ, ИНТЕРДИСЦИПЛИНАРНИ СИНЕРГИИ”

Нов Български Университет
гл. ас. д-р Росица Бечева
 rbecheva@nbu.bg

Настоящата статия е поредната моя разработка посветена на проблемите на електронната музикална интерпретация, новата електронна среда и елементи за музикално творчество, практиката на актуалното музициране, музикалните и естетически параметри, идеите - исторически заложи и проявявани във философските интерпретации на електронната и компютърната музика.

Статията насочва вниманието към света на звука - електронният звук като субстанция, звука като обект и инструмент, неговата идея, съдържание и концепция, съвременните смислови значения влагани в понятието саунд и по-точно - пространствените аспекти на звука и неговия драматургичен потенциал, социалните, научни и художествени аспекти на звука, неговата интерпретация в жанровете – *Soundscape* и *Spacemusic*. Вниманието се фокусира и върху начина по който слушаме, начина по който ние интерпретираме това, което чуваме. В тази връзка се проследява преминаването от организиран звук в нова заобикаляща среда от абстракции.

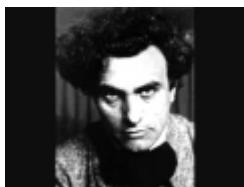
От началото на XX век разширяването на звуковата палитра не е спряло. Музикантите обръщат поглед към новите технологии, нови звуци и материали, комплекси от звуци или неизвестни тембри, шумове. Музикалните творби се обогатяват с нови звучности, търси се обновяване на градивния материал.

Малко по малко се стига до едно класифициране на звуците не според инструменталния им произход, а според техния ефект.

В конкретната музика (фр. *musique concrète*), а по-късно и в електроакустичната се наблюдава ново звуково третиране.

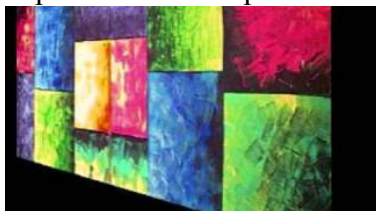
У Шефер (името му се свързва с Парижката школа: изкуството на конкретното, Групата за музикални изследвания (G.R.M.) се ражда намерението да твори посредством псевдоинструменти, както и чрез самия шум, връщането към самите извори на звука.

Първите творци на конкретна музика с електроакустичен произход обръщат поглед към звуци с най-различен произход – напр.: кокосови орехи, кречетала, железни пръти. В една част от творбите звуците с конкретен произход се смесват с електронни звуци – напр. в пиеса за лента на Варез с наименование „Електронна поема”. (Творбата е изпълнена през 1958г. по време на Световното изложение в Холандия).



Edgar Varèse (1897-1965)

В тази творба Варез осъществява мечтата си за пространствена музика „проектирайки” я с четиристотин звукови източника, разположени около 500 зрители.

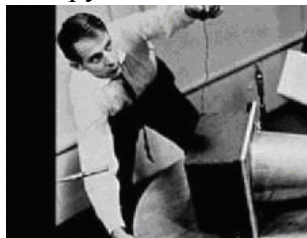


Edgar Varèse: Poème électronique (1958)

<http://www.youtube.com/watch?v=D7ALiTeKBUC>

През 1966г. е публикуван „Трактат за музикалните обекти”. Основната идея в този труд изхожда от разсъждението за музикалния феномен, в който се докосват отделните светове – на акустиката, на физиологията и естетиката.

Композитори като Щокхаузен (в Германия), Берио са далеч от концепциите на Шефер. Те са привлечени и от „фиксираните звуци”, родени от генераторите. В тяхната музика се наблюдава „сливането” между електронно и конкретно, съчетаване на инструментално и електронно.



Karlheinz Stockhausen (1928-2007)

Щокхаузен с неговата концепция изцяло да интегрира изкуството и живота - „Духът трябва да бъде музика” - казва Щокхаузен. *Неговите търсения* (още от 1963г) са свързани с новите темпорални измерения, движението на звука в пространството, търсенето на различни възможности за контролиране на различните аспекти на звука. Композиторът моделира звуковата материя използвайки различни манипулации, осъществени и посредством възможностите, предоставени от новите технологии.

Светът днес е сравняван от някои изследователи с океан от информация.

Акустичната среда е изключително разнообразна – музика и звуци от околната среда: от градски шум до биоакустични сигнали. „Пейзажът, това омагьосано пространство през което музиката се движи и в което слушателят може да странства е друга метафора”.

Звуците, които ние бихме описали като *ембиънт (среда)*, независимо дали са функционални или мистериозно отчуждени, са *положили основите на творчеството*.

Слушателите плуват в този океан. Музикантите стават виртуални пътешественици, проводници на всички сигнали в пространството.

През 1975г. Браян Ино в интервю засяга темата за промяната в слушателското поведение, говори за перспективата за вмъкването на музика в избраната от нас среда като вид парфюм или багра „...както сега ние ползваме цвета бихме могли да използваме музиката за да обогатим средата, да използваме звука за промяна на нашите настроения на почти подпорогово ниво.”

След 1978 г. той оформя тези си идеи в манифест. „Една среда се обозначава като атмосфера – пише той в бележка под линия на Музика за летища - или заобикалящо влияние:

една багра.” „Ембиънтът е предназначен за да предизвиква спокойствие и да предоставя пространство за размишление”. Според изследователя Дейвид Туп, думите на Ино са важни за проектирането на тази тенденция към отвореност на нещата в царството на дизайна.

Днес все повече музиканти създават творби, в които се опитват да уловят прозрачността на водата, опитват се да отразят с тишината хаоса и шумовите замърсявания, стремят се да правят музика която търси ново отношение между автор и слушател, автор и машина, звук и контекст.

Музика - според Питър Ламборн Уилсън - „в която ландшафтът още веднъж ще бъде облечен в значения или по-скоро в една освобождаваща го естетика.”

Различни форми на тази музика са наречени: ембиънт, дийп лисънинг, пространствена музика, саунд-арт, саунд-дизайн, електроника, постиндъстриъл, ню ейдж - или с едно единствено име покриващо всички – **нова музика**.

Терминът „Soundscape” („Звуков пейзаж”) е въведен от канадския композитор и природозащитник Raymond Murray Schafer (Р. Мъри Шейфър).



Терминът ”Звуков пейзаж” – означава звук или комбинация от звуци, които формират усещане за потапяне в среда.

Идеята за Soundscape се отнася както до природната звукова среда - състояща се от природни звуци, включително животински звуци, разговор, звуци на времето и други природни елементи, както и шумовете от околната среда, звуци с механичен произход, в резултат от използването на промишлени технологии, както и други човешки дейности.

“Звуков пейзаж е всяка колекция от звуци, почти както картината е колекция на визуалните атракции”, казва композитора Р. Мъри Шейфър. "Когато слушате внимателно звуковия пейзаж става чудо."

Терминът „Soundscape” се използва за наименование и на звукови картини създадени от човека чрез музикална композиция, саунд дизайн.

Терминът "звуков пейзаж" може да се отнася към аудио запис или изпълнение на звуци, които създават усещането за определена акустична среда, или композиции, създадени с помощта на звуците на акустичната среда, изключително или във връзка с музикални изпълнения.

Pauline Oliveros, композитор на електронна музика, дефинира термина „Soundscape” като: *понятие включващо всички вълнови форми вярно уловени от нашия слух, нашето ухо.*

Композитора и основател на World Soundscape Project (WSP) - Р.Мъри Шейфър, пише в своята книга The „Tuning of the World (1977)” („Акордирането/Настройката на света”): „това размиване на границите между музиката и заобикалящите ни звуци може да се окаже най поразяващата черта на музиката на 20 век.”

Разчитайки на Саймън Фрейзър Юнивърсити, Британска Колумбия, WSP е посветен на изследването и документирането на звуците в тяхната естествена среда. Обичайните обекти на проекта са отделните спомени и изчезващите звуци. Друга публикация - Европейски звуков дневник, представлява запис от звукови впечатления, събрани от пътуване от Швеция към Шотландия през 1975г. Всъщност проектът на Шейфър е фокусиран върху философията на акустиката и практическия звуков дизайн.

Изследването на звуковия пейзаж или изследванията свързани с разрушаването на акустичната среда вследствие шумовото замърсяване е предмет на акустичната екология. Документи относно шумовото замърсяване има все повече като цялостен, звуков подход за

контрол на шума, като се има предвид, че акустиката може да разчита на лабораторни измервания и индивидуалните акустични характеристики.

Световния форум за Акустична екология (WFAE), основан през 1993г., е международната асоциация на дъщерни организации и лица в Европа, Северна Америка, Япония и Австралия, които споделят обща загриженост за състоянието на световните звукови пейзажи. WFAE членовете представляват мултидисциплинарен спектър на лицата, занимаващи се с изучаването на социални, културни и екологични аспекти на звуковата среда.

Международни WFAE конференции се провеждат по целия свят. WFAE работи в сътрудничество с нейните най-широка мрежа от дъщерни организации за насърчаване на образованието: фонетична осведоменост и задълбочаване на разбирането на слушателите за шумовете от околната среда и техните значения; изследване на социалните, културните, научните и екологични аспекти на звуковата среда; издаване и разпространение на информация и изследвания на Акустичната Екология; защита и запазване на съществуващите природни звукове иместа; проектиране и създаване на здравословни и акустично балансирани звукови среди.

Акустичната екология намира израз в много различни области. Все повече внимание се обръща на звуковото въздействие на пътното строителство и летищата, изследването на света чрез звук, биоакустиката, въздействието на човешкия шум върху животни. *Друг важен резултат от еволюцията на акустичните изследвания е звуковия състав.*

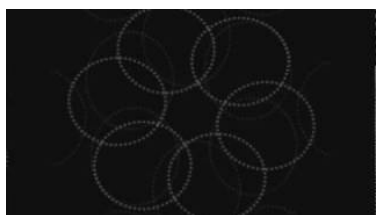
Именно възможностите за вътрешна взаимовръзка между природните звуци, човешката реч и музикалната реч, са обект на изследване и експерименти при саундскейп - и това намира конкретен резонанс и бъдещ потенциал.

Връзката между тях се определя от факта, че музиката винаги е била считана като изкуство, в което чрез изкуствено създадени инструменти се разширява и обогатява възможността за изразяване посредством използване на установеното в практиката както и посредством перцепцията.

В музиката, Soundscape композициите често са форма на електронна музика, или електроакустична и компютърна музика. Композитори, които използват Soundscape включително при изпълнения на живо са пионерите на гранулирания синтез Бари Труах и Люк Ферари, чиято Presque Rien, Numero 1 (1970 г.) е пример за ранен звуков пейзаж.



Luc Ferrari (1929 - 2005)



[Luc Ferrari - Presque rien No.1 \(1 of 3\)](http://www.youtube.com/watch?v=z2aWEM1nnNg)

<http://www.youtube.com/watch?v=z2aWEM1nnNg>

На въпроса - Какво е Spacemusic? - Стивън Хил, съосновател на радиошоу, наречено Hearts of Space (Сърцата на Космоса) - синдикат на национално ниво в САЩ, на National Public Radio и XM Satellite Radio, отговаря, че терминът "spacemusic" се използва, за да опише "съзерцателна музика, широко дефинирана, която предизвиква чувство на съзерцателен простор". "В действителност, почти всяка музика с бавно темпо и създаващи усещане за пространственост звукови образи може да се нарече

spacemusic". "Когато слушате Spacemusic и Ambient Music се свързвате с традицията на съзерцателно звуково изживяване, чиито корени са древни и разнообразни."

Spacemusic, наричана също пространствена музика, космическа музика, е общ термин, синоним на един сегмент на New Age Music и Ambient Music. Тя също така се асоциира със стилове на релаксираща музика като Lounge Music, Easy-listening Music и Elevator Music.

All music - една от най-големите в света бази данни, свързани с информация за музиката, също определя Spacemusic като поджанр на New Age Music. Spacemusic обикновено предизвиква чувство на пространствена образност и емоции или усещания за плаване, летене, движение, преместване в пространството.

„Жанра обхваща исторически, етнически и съвременни стилове. Той съчетава елементи от много култури и жанрове, смесени с разновидности на акустична и електронна Ambient Music (Атмосферна музика), вплетени в непрекъсната последователност, обединени от звук, емоция, и пространствена образност”.

Според Стивън Хил - Spacemusic може да варира по характер. Звуковата ѝ текстура може да бъде проста или сложна, може да няма конвенционални мелодични, хармонични, или ритмични характеристики, големи динамични контрасти, да бъде по-малко свързана с формалните композиционни схеми. *Тези пространствени усещания за музика могат да бъдат открити в широк спектър от жанрове. Spacemusic може да бъде използвана за разработване практиката на задълбочено слушане.* Самата музика може да доведе някои индивиди до състояния на медитация, до усещане за летене, плаване, плъзгане или кръжене. При слушане на Spacemusic със слушалки, се дава възможност за потапяне в състояния на спокойствие, съзерцание, вдъхновение, а като цяло - достигане на настроение, атмосфера на спокойствие, подпомагаща здравето, което от друга страна може да се използва като терапия за релаксация и ефективна медитация.

Композиторите на Spacemusic ни предоставят едно пътуване из космоса на въображението. Това са музикантите, които улавят космическите вибрации и рисуват своите музикални картини на безкрайността.

Що се отнася до употребата на Spacemusic – този вид музика се появява в много филмови саундтраци. Намира често приложение и в планетариуми.

Според музиковеда Джоузеф Ланца Spacemusic е „easy listening”, звучи като музиката на бъдещето, но запазва несъзнателни връзки с музиката от миналото". Композиторите на New Age Music с вдъхновение и поглед в бъдещето, създават абстрактно понятие от звуците на междוזвездната музика.

Анна Търнър (партньор на Стивън Хил, съ-домакин и оригинален съ-продуцент на "Музика от сърцата на пространството" пише през 1989г. в есе озаглавено "Space Music", че "New Age Music носи визии. Това е трансцендент на пространствена музика. Тази музика като алегория, говори за нашето настояще, за излизането отвъд границите - в пространството, за инстинктивното и безпрецедентните приключения „в рамките” на нашето съзнание”.

Gerardo "Pkh" Martinez-Casas, от Университета на Сан Франциско в Калифорния, описва SpaceMusic като „електронна, потапяща, а космическите звуци като инструмент за културно, социално и духовно осъзнаване”.

Карлхайнц Щокхаузен, през 1953 г., използва термина "Space Music", когато описва възникналата през 1952/53, електронна музика като: musique concrète, electronic tape music (музика за лента), and space music (пространствена музика), инициализирайки композиции с трансформатори, генератори, модулатори, магнетофони и т.н., или интеграцията на всички конкретни и абстрактни (синтетични) възможности в рамките на звука (също, включително и всички шумове) и контролираното проектиране на звука в пространството". В смисъла посочен тук, той заявява през 1967 г., "Някои коментират, че

моите електронни музикални звуци създават усещането за това, че човек е на различна планета или във външно пространство - космоса. Мнозина казват, че когато чуят тази музика, имат усещания сякаш леят с една безкрайно висока скорост, а след това отново - сякаш неподвижно в огромно пространство."

В началото на 1970 г., терминът "Spacemusic" е прилаган към продукцията на творци като: Вангелис, Жан-Мишел Жар, Клаус Шулце и Tangerine Dream, поради трансцендентни космически чувства на пространство, предизвикано от звука на музиката, обновено и чрез използването на зараждащия се нов инструмент – синтезатор.

Основоположникът на електронната музика в България - Симо Лазаров, също създава творби в областта на "Spacemusic".

„Колко често сме заспивали с мечтата за среща с извънземните? Аз например постоянно се опитвам да надникна в техния може би измислен, но така възможен свят. Старая се чрез електронните звуци да предам частица от невъобразимата хармония, която съзнанието ни свързва с вечния Космос. А тя е тъй човешка!" заявява авторът.

Така през 1981г. се ражда замисъла за космическа трилогия (спейс импресия), която включва следните части: "Космически кръговрат"(1984г.-1-во изпълнение на I част), "Небесни сфери"(1986 - 1-во изпълнение на II част) и "Настъплението на киборгите"(1990 -1-во изпълнение на III част). Тази тематика добива особен резонанс след концертите, на които за първи път в България се представя мултимедиен спектакъл с включване на лазерна и видео техника, светлинна партитура и други сценични ефекти за постигане на цялостно образно внушение.



[Simo Lazarov-Solar Radiation from Cosmic Circum Rotation 1990](http://www.youtube.com/watch?v=zJIXZmrB2Y4)

<http://www.youtube.com/watch?v=zJIXZmrB2Y4>

Изследвайки връзката между акустика – музика, пространствените аспекти на звука, неговия драматургичен потенциал, направих сравнение по отношение усещанията (ефекта) от звука на музиката на космическата трилогия (вж. Simo Lazarov – “Solar Radiation from Cosmic Circum Rotation”) и съвременни записи („Symphonies of the Planets 2 - NASA Voyager Recordings” - 10-минутен клип взет от "Симфонии на планетите - НАСА Вояджър записи, том 2", издаден през 1992г.; „Pulsar sound”; „Pulsar sounds”;), съдържащи записани звуци на небесни тела отвъд границите на нашата слънчева система (електромагнитни частици от различни честоти, които планетите и звездите излъчват са превърнати в звуци, които човешкото ухо може да чуе), даващи възможността да се чуят красивите песни на „планетите”, вибрациите създавани от луни и пръстени рисуващи „звукови пейзажи”.



Symphonies of the Planets 2 - NASA Voyager Recordings
<http://www.youtube.com/watch?v=UAPNfKADA7Y>



Pulsar SOUND
<http://www.youtube.com/watch?v=uHEVo-LkDrQ>



Pulsar Sounds
http://www.youtube.com/watch?v=gb0P6x_xDEU

Pulsar

Моето усещане за музиката на спейс импресията е, че тя е ярка и асоциативна. Композитора Симон Лазаров създава многопластови звукови картини, във всяка една от които музикалното развитие протича с различна интензивност. Чрез налягане на звукови полета с различна плътност се създава усещане за „пулсираща” звукова тъкан. Творецът е успял да „улови” вибрациите в пространството, да ги представи в една цялостна структура, да нарисова запомнящи се звукови картини, създаващи визия за необятния космос.



В заключение бих искала да отбележа, че целта на настоящата статия е да даде някои основни отговори и една по-широка представа за звуковите явления и звуковото третиране в жанровете Soundscape и Spacemusic.

Използвана литература:

1. Белтрандо-Патие, Мари-Клер, Западноевропейската музика от Средновековието до днес. С., Музика, 1999
2. Туп, Дейвид. Океан от звуци. С., Издателство музика, 2004
3. <http://en.wikipedia.org/wiki/Soundscape>
4. http://en.wikipedia.org/wiki/R._Murray_Schafer
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Space_music

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2012”	Варна 10 - 12.10.2012 г. София 07 - 08.12.2012 г.
Година XIV	□ Брой 14	Декември 2012 г.

MIDI DOLBY SURROUND

Компресия и кодеци на многоканален звук Венцислав Йорданов

До 80-те години понятието “surround” се е ползвало за стерео звук. Тогава започва използването на 70 мм лента за филмите и се появява трети канал, който се е ползвал за допълнителни ефекти (effect channel), като се е поставял допълнителен говорител зад слушателите. С по-широкото навлизане на 70 мм стандарта този трети канал се появява все повече и са започнали да го наричат surround channel (за по-кратко S-канал). Идеята за създаване на пространствен звук е довела до вкарване на още канали в озвучаването.

Dolby

Паралелно с киноиндустрията се е развило и видеото и са се появили Dolby Pro Logic и Pro Logic II, като последния позволява и да се слуша музика от обикновено CD, като го “разхвърля” на surround система.

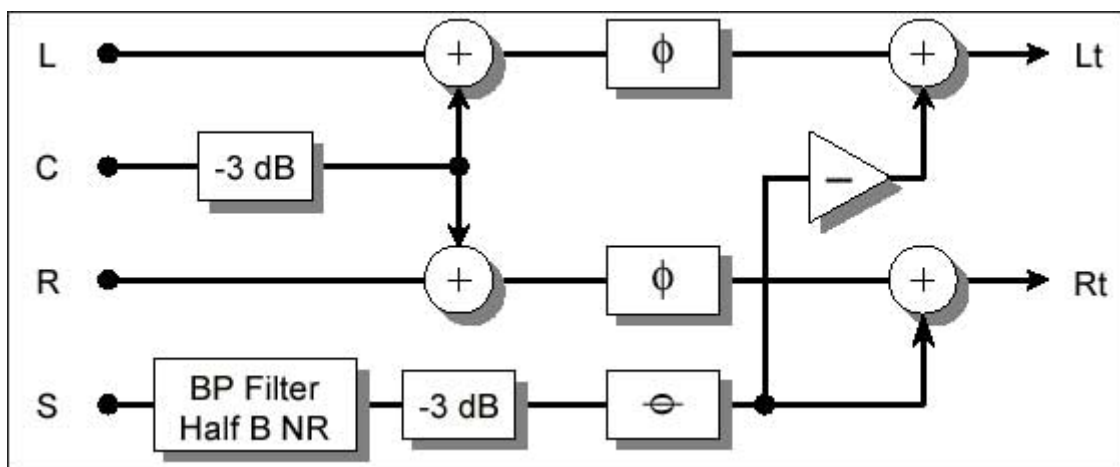
Surround всъщност е начин за създаване у слушателя на усещане за пространственост. За да разберете по-добре принципа на действие ще си припомним Dolby Surround, т.е. превръщането на 4 канала в 2.

Отляво са входните канали

- L - фронтален ляв канал.
- C - централен канал.
- R - фронтален десен канал.
- S - surround-канал.

Отдясно са изходните

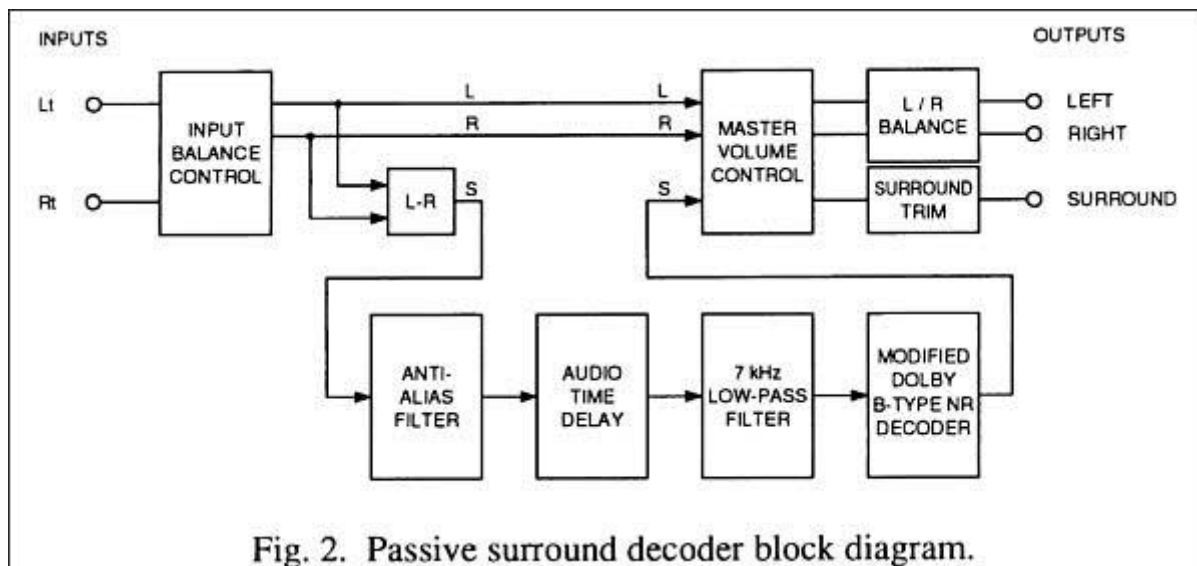
- Lt - общ ляв.
- Rt - общ десен



В процеса на преобразуване сигнала от централния канал се разделя на 2, смесва се с левия и десния поравно, и се понижава с 3 децибела. Сигнала S минава през филтър

bandpass(честотата му се ограничава в диапазона 100Hz – 7KHz) , през филтър Dolby B-type Noise Reduction за потискане на шума (много хора си мислят че долби служи само за изчистване на шума – това обаче не е така) , и фазата на сигнала се обръща по такъв начин че да се окаже в противофаза с левия и десния канал.

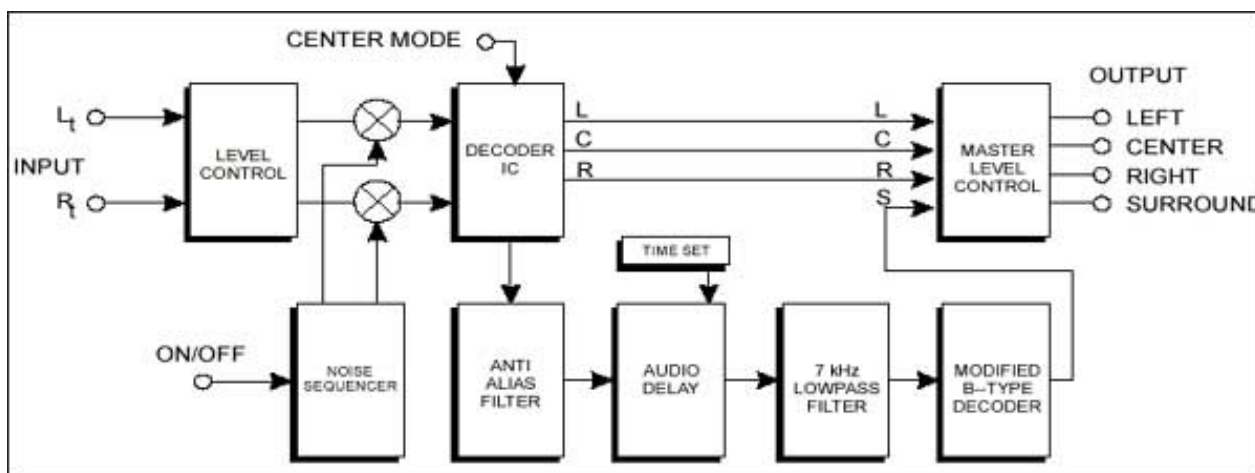
При декодирането на сигнала с пасивен декодер се получава пак S канала от Lt-Rt



При декодирането се появяват няколко проблема , един от които е проникването на сигнал от централните канали в S и обратно. Например при изменението на нивото на сигнала в Lt и Lr в S-канала проникват съставните L и R. Това се отстранява с задържане на S-канала с 10 милисекунди (така се отстранява ефекта на Хаас – сигнала от основните канали идва по-рано и локализацията на източника в мозъка на човека се асоциира с основните канали) и с орязване на честотния диапазон на канала до 7 KHz, при което другите два канала започват да се чуват по-силно и вниманието се насочва към тях. В тази конфигурация централния канал вече не присъства физически а е виртуален , т.е – центъра между левия и десния канал. Съответно за да получите удоволствие от такава система трябва да седнете точно между левия и десния канал.

Активни декодери Dolby Surround Pro Logic

Следваща стъпка в развитието е появата на декодери , които вадят звука и за централния канал.



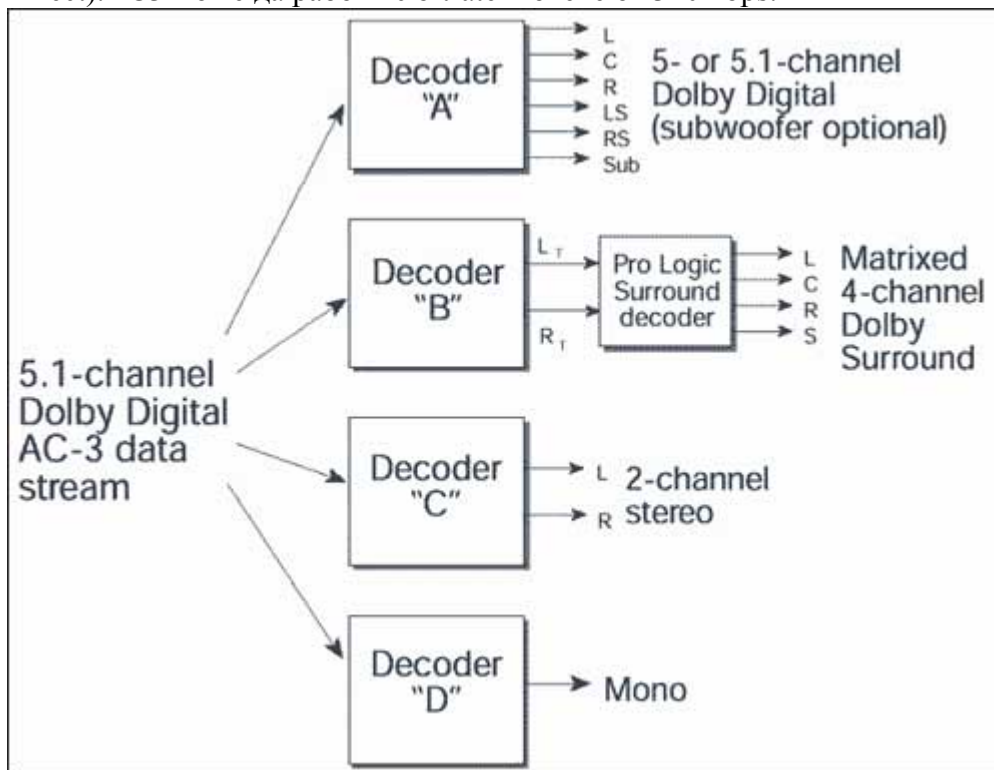
Освен познатото ви вече отделяне на S канала се събира сигнала от ляв и десен канал и се намаля с 3 децибела в следствие на което остава централния. Филтрите са малко повече , няма да ви затормозявам излишно.

DTS

Докато Dolby зае видео индустрията , в киното се използва предимно DTS. Той възниква в общи линии заради филма "Джурасик Парк" .И този стандарт поддържа 6 канала (ляв , централен , десен , ляв съраунд, десен съраунд и субуофер). Понеже ние, юзърите в дата.бг, се занимаваме предимно с компютри и цифрово видео , няма да се спирам подробно на DTS. Само ще ви кажа за успокоение че почти всички DVD плеъри (както и кинотехниката) поддържат и този стандарт.

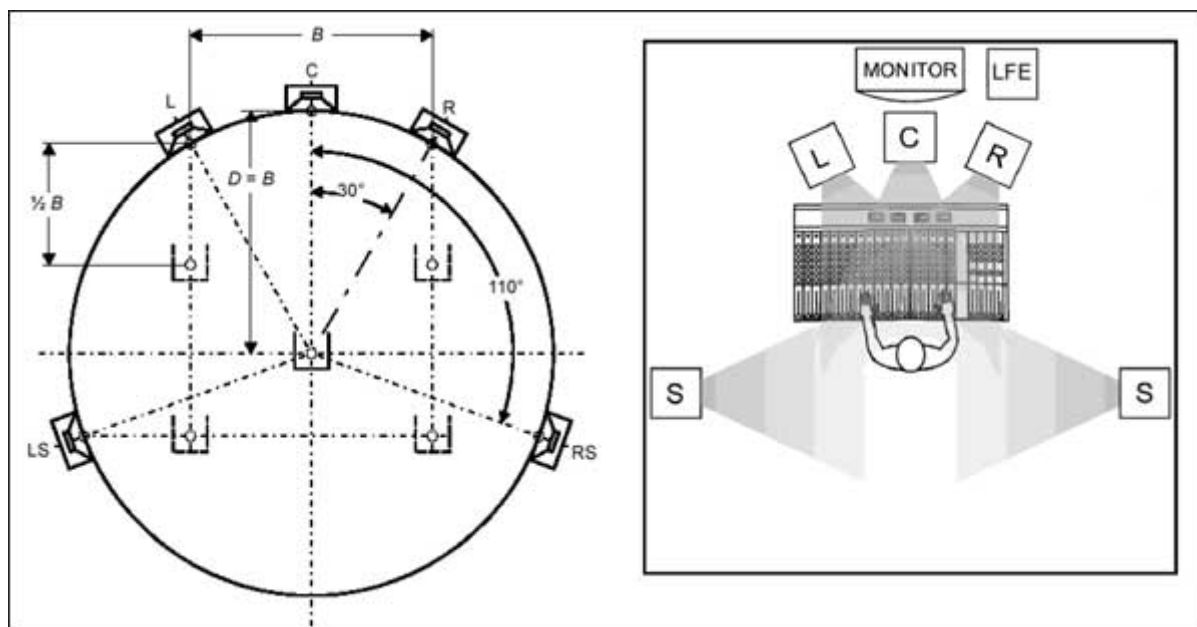
Dolby AC-3

След навлизане на цифровите технологии Dolby Labs представят стандарта Dolby Digital AC-3 (5.1), който е разработен за 35 мм лента (не че сега не се използва къде ли не). Тука вече има 5 пълночестотни канала и един субуофер с ограничен диапазон (обхвата му е около една десета от обхвата на другите говорители , което се изписва 0.1 , оттам идва и името 5.1). Файловете имат разширение *.ac3. Каналите са ляв (L) , десен (R), централен (C) , ляв съраунд (SL) , десен съраунд (SR) и субуофер (понякога се изписва LFE-channel (Low Frequency Effect)). AC3 може да работи с bitrate повече от 320 kbps.



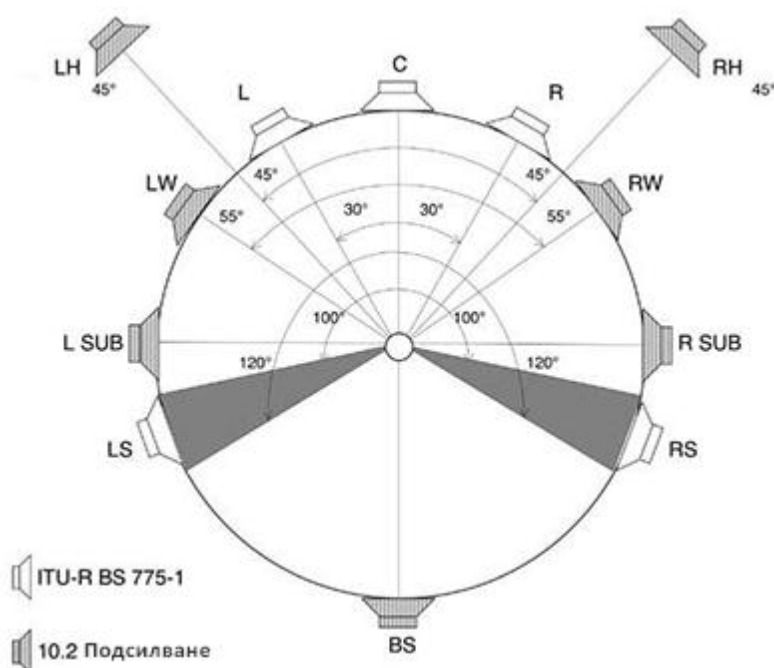
Както виждате от картинката, една от най-добрите черти на AC3 е че може да се слуша на какво ли не – на 5.1., 5.0 , на 4 канала, на 2 , та дори и на 1. Това позволява звук , кодиран с Dolby , да се ползва за излъчване от сателит и да се приема / възпроизвежда независимо от телевизора (все още доста хора ползват моно телевизори).

За да е пълно удоволствието ви от слушането на AC3 звука трябва да се намирате на равно разстояние от всички тонколони.

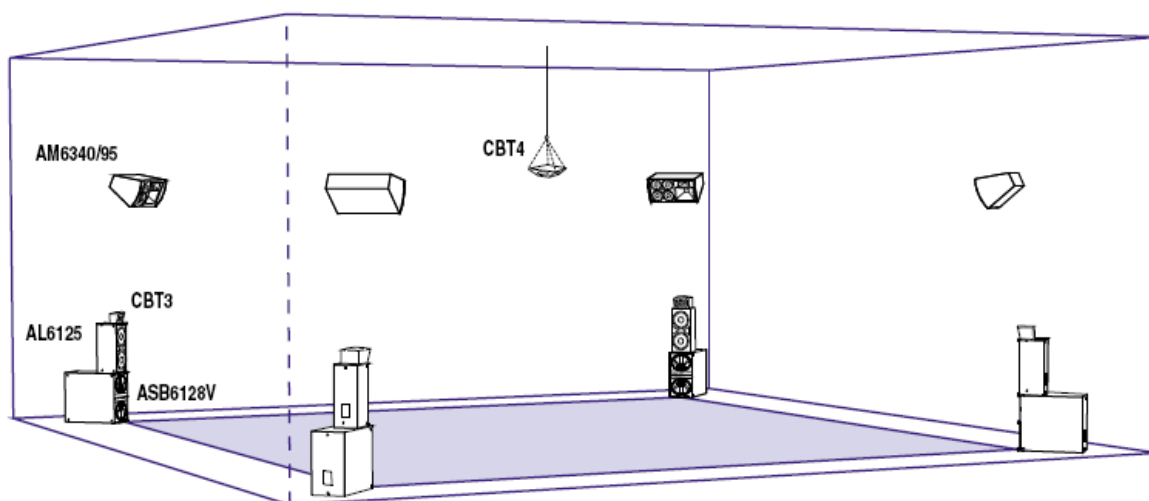
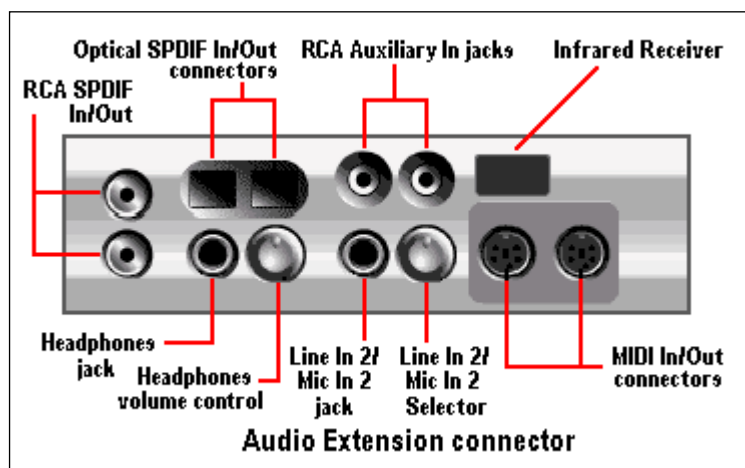


На сайта www.dolby.com има формула за изчисление в случай че няма физическа възможност слушателя да е в центъра м/у всички. Съответната формула позволява да превърнете разликите в разстоянието в секунди, с които да настроите закъснението за дадения канал. Ако Diml е разстоянието (във футове , тук всички разстояния са във футове , 1фут = 30, 48 см) от слушателя до левия канал, а Dims е разстоянието до най-близкия S канал то закъснението в милисекунди трябва да бъде разликата между Diml и Dims

Ако левия канал е на 10 фута, а S канала на 5 то трябва да имаме закъснение 5 милисекунди за да не се губи ефекта от пространствения звук.

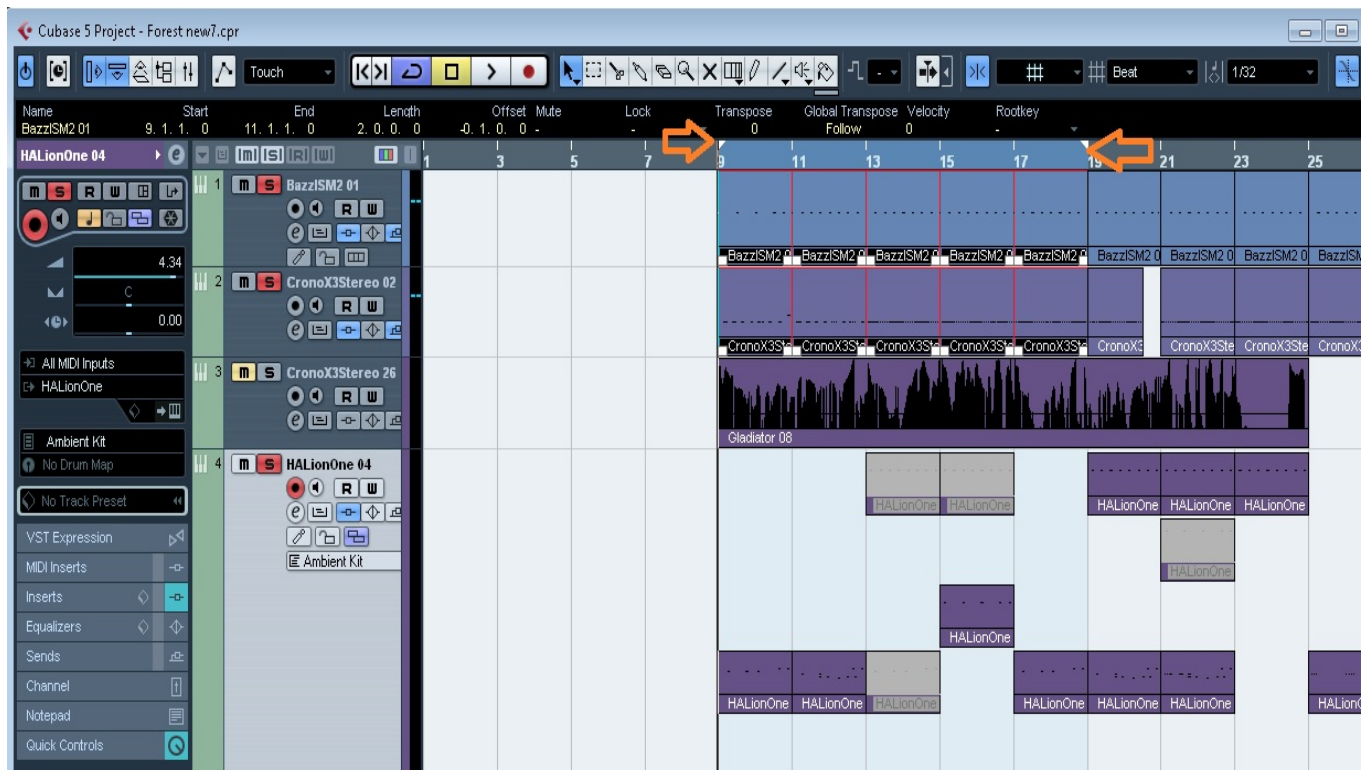
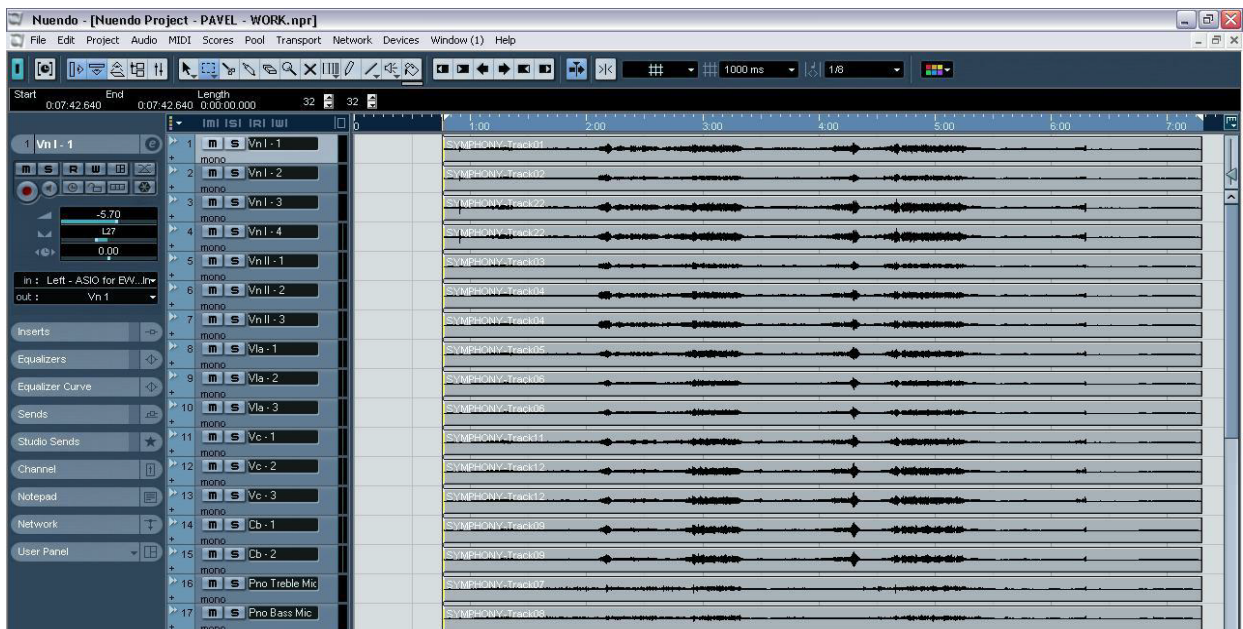


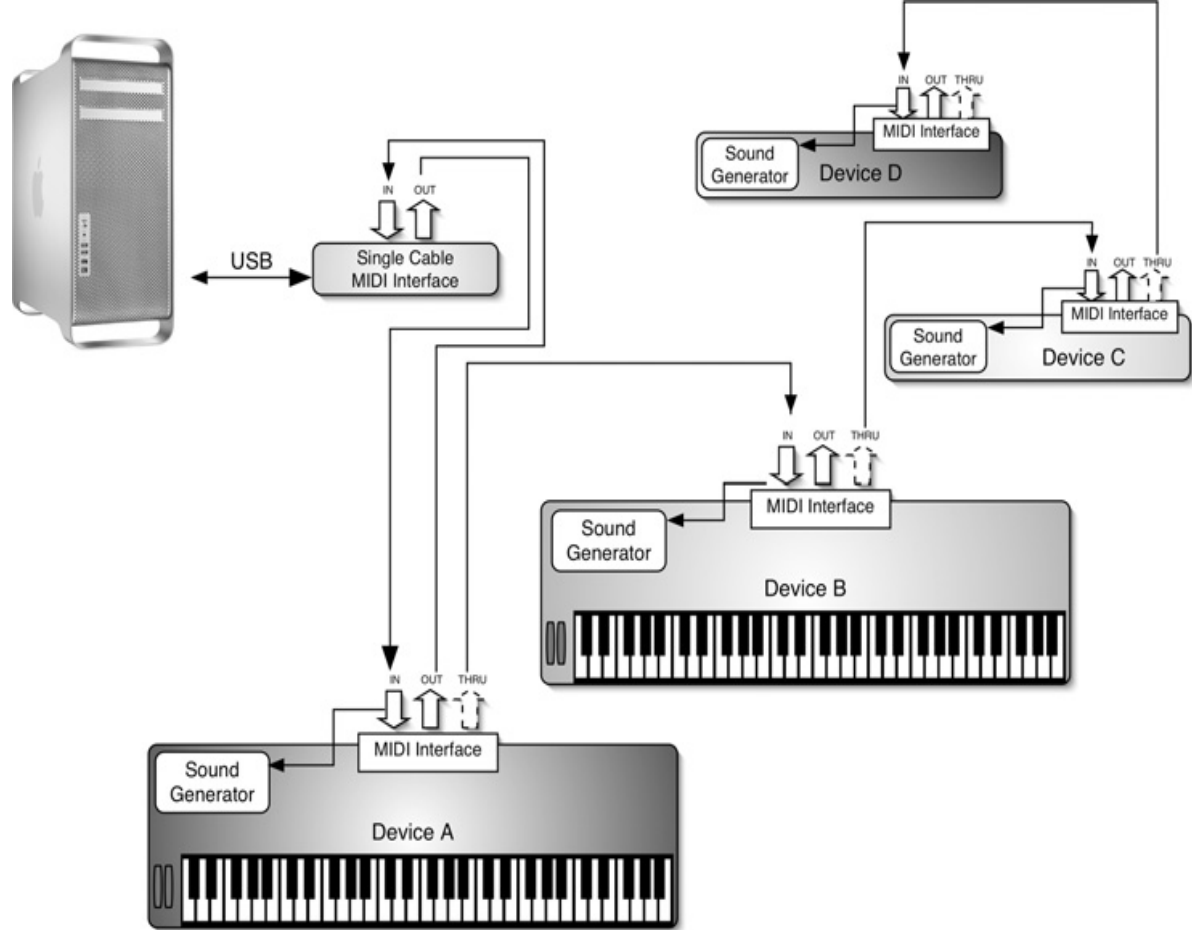
10.2-канална съраунд система



Разпределение на звука при **MIDI DOLBY SURROUND**

При използване на 2 или 3 стерео звукови карти с **MIDI** поддръжка, се използват различни процесори за, а не един **DOLBY SURROUND** процесор, както при една звукова карта с 5.1, 7.1 звуков процесор който регулира виртуално само един семпъл звук на различните звукови канали в пространството. Уникалното при този тип разпределение на звуковата картина е, че в пространството може да смесваме различни тембри на един инструмент, а в добра комбинация със закъснението в пространството, както и при активно честотно разпределение във вертикал, може да се получи още по-различна звукова картина. Основното и важно условие е да бъдат разпознати звуковите карти от компютъра в биоса, а другото е да се избират различни тембри на музикалните инструменти. Творческата идея ако е достатъчно уникална, може да се постигне звук, който е много богат на тембри.





	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2012”	ISSN 1312-4897 Варна 12 - 13.10.2012 г. София 07 - 08.12.2012 г.
		Декември 2012 г.
Година XIV	□ Брой 14	

**НОВ БЪЛГАРСКИ УНИВЕРСИТЕТ
„КОМПЮТЪРНАТА МУЗИКА – НОВАТА МУЗА НА 21 ВЕК“
ас. д-р Стела Атанасова; satanasova@nbu.bg**

РЕЗЮМЕ: за първи път в историята на компютърната музика оркестър от нивото на Лондонския симфоничен оркестър изпълнява произведения, написани от компютър, създадени без никаква човешка намеса. За първи път светът на музиката прие, че произведения композирани от компютър са достатъчно добри, за да бъдат изпълнени от професионални музиканти. Научи ли се компютърът да композира и ще започне ли музиката на 21 век да се променя?! Настоящата статия дава някои от отговорите, които всеки класически музикант би искал да зададе и дава информация за всички, които приветстват новата музикална муза на 21 век.

За първи път през 2012 година оркестър от професионални музиканти изпълни произведения написани от компютър. Това е първия случай в историята на компютърната музика, в който тя получава официално признание и бива представена на света от професионални музиканти. Лондонският симфоничен оркестър е първият оркестър, който се съгласява да изпълни концерт, на който прозвучават музикални произведения, написани от компютърна програма без човешка намеса в процеса на композирането.



Лондонският симфоничен оркестър изпълнява композиция създадена от софтуера Iamus, компютърна програма създадена от Университета в Малага, Испания.

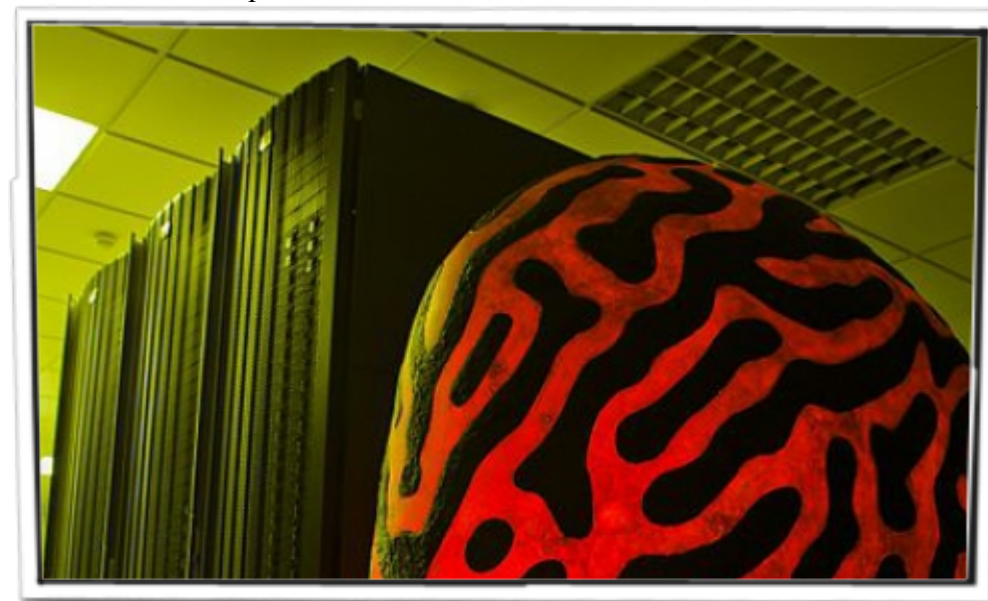
Лондонската филхармония е един от големите оркестри в Обединеното кралство. Помещава се в Кралската фестивална зала в Лондон. Филхармонията е създадена през 1932 от Томас Бийчъм и изнася първия си концерт на 7 октомври същата година. Освен в симфонични концерти, оркестърът участва в записи на филмова музика. Записал е музика за филми като Властелинът на пръстените, Филадельфия и др. Оркестърът и хорът към него участват и в записите на много албуми като „Once“ на Nightwish, „Corea Concerto“ на Чик Кореа (Chick Corea) и в песни като „Kashmir“ на Led Zeppelin.

Музикантите от лондонския симфоничен оркестър признават, че много от тях са били удивени, когато след запознанството с партитурите са разбрали, че тази музика е написана от софтуер, наречен Iamus. Диригентът на оркестъра, Ленъкс Макензи, е заявил, че в началото музиката му се е сторила твърде „плътна“, но към края на произведението е усетил истинското ѝ величие.

Програмата Iamus е създадена в Университета Малага в Испания. Принципът на нейната работа не се огласява, но учените казват, че тя създава произведенията чрез последователни преобразувания на партитурите до момента, докато не се получи задоволителна от нейна гледна точка композиция. За работата на програмата се използва клъстер с изчислителна мощност приблизително 13 терафлопа, обем памет от 6.7 TB и 885 TB дисково пространство.

Музиката, дело на софтуера Iamus, е била изпълнена за първи път пред аудитория през октомври 2011 година. Тогава, на музикалния фестивал Санта Крус де Тенерифе е изпълнена композицията „Hello World“. Работата на програмата тогава е събрала доста посредствени отзиви. Например, в своя рецензия „The Guardian“ отбелязва, че „в мелодиите се усеща изкуственият почерк“, а самото произведение звучи „сиво и някак си сухо“, въпреки всичките усилия на изпълнителите.

Логично е в такъв момент да се зададе въпроса: „Ще успее ли някога машината да създаде гениални произведения, аналогични на тези на Моцарт и Бетховен? И ако това се случи, дали машините ще придобият истинска душа? А дали тогава ще са вече машини или нещо съвсем различно?“



Компютърът – композитор

Вероятно на този въпрос ще бъде даден отговор след години, но причината да бъде зададен е появата на Ямус (Iamus) – талантлив композитор, който създава класически произведения за виртуозни майстори. Iamus не е човек, а компютър, разработен от учените в Университета на Малага. Машината пише историческия си първи фрагмент „Opus one“ на 15 октомври 2010 година. Подобно нещо не е правено никога до този момент.

Първото завършено произведение на Iamus се казва „Hello World“ и се появява година по-късно – за пиано, кларинет и цигулка. „Когато кажем на хората истината, те мислят, че е трик. Някои просто не ни вярват“, твърди пред „Гардиън“ един от създателите на проекта – Франсиско Вико.

В основата на Iamus е технологията Melomics, която работи с предварително записани масиви от информация, наречени от учените „геноми“. Подобно на човешката

еволюция, те „еволюират“ и се смесват до създаването на завършена мелодия. Обикновено един такъв информационен масив може да се развие до няколко композиции, включително и от други музикални жанрове. Получените ноти могат да се изсвирят от най-различни музикални инструменти. Iamus композира мелодии, които се събират в нарастващо хранилище от няколко жанра. По този начин се създават много по-дълги и сложни музикални фрагменти.

Iamus променя звуците, за да създаде своя музика, променяйки основния първоначален материал, подобно на процеса на еволюцията. В един еволюционен процес винаги наблюдаваме по-разработени части.

Въпреки технологичният пробив на тази технология, в затвореното поле на класическата музика критиците не са склонни да превъзнасят този вид експериментална музика, при която няма никаква човешка намеса.

Компютърният клъстер, наречен Iamus, взима името на сина на гръцкия бог Аполон, за когото се твърди, че е разбирал езика на птиците.

Интересното при Iamus е че работи соло. Единствената човешка намеса е да се зададе колко дълга да бъде композицията и кой инструмент трябва да бъде включен в изпълнението ѝ. Музиката се създава на основата на един биологично вдъхновен творчески процес, близък по звучене до модернистичната музика, с дисонантни тонове, звучащи едновременно.



Iamus композира като променя първоначалния материал по начин, който е аналогичен на еволюцията в биологията. Всяка композиция има музикален корен и ядро, т. нар. геном, който постепенно в процеса на композицията става по-сложен.

Iamus генерира автоматично една първоначална музикална популация, но геномите са толкова прости че едва разработват шепа от ноти, траещи само няколко секунди. Както се получава и в еволюцията, мутациите променят съдържанието и размера на този първичен генетичен материал и в процеса на разработката се получават по-дълги и по-разработени парчета.

"Един единствен геном може да кодира много мелодии," обяснява композиторият Густаво Диаз-Жерез (Gustavo Díaz-Jerez), който работи съвместно с екипа от Университета в Малага, изпълнявайки на пиано новите записи. "Същата идея на генома може да бъде открита в западния музикален канон - ето защо тази музика има значение и смисъл", казва още Густаво Диаз-Жерез.

Компютърът не претендира, нито налага никакви особени естетични правила. Въпреки, че повечето от сериозните творби, които създава са в модерен класически стил, може да композира и в други жанрове и за всякакъв набор от инструменти. Iamus не е първата автоматизирана система за „производство на музика“, но до момента е най-

сложната и продуктивна.

Използването на компютри и алгоритми или т.нар. автоматизирани системи от правила за правене на музика имат дълга история. Гръцкият композитор Янис Ксенакис го прави още през 1960 г., а в следващите години опитите нарастват многократно в тази област. През 1980 г. Компютърният учен Кемал Ебсиоглу (Kemal Ebcioglu) създава програма, която хармонизира хорали в стила на Бах. Компютърният учен Джон Байлс (John Biles) разработва алгоритъма GenJam, който учи как се импровизира джаз. Друга технология е използването на генетично програмиране, както е в проекта GenBebop, предложен от учените Лий Спектър (Lee Spektar) и Адам Алпърн (Adam Alparn), който импровизира сола в стила на Чарли Паркър, слушайки изпълненията му и повтаряйки своите собствени опити.

Една от най-убедителните системи е Continuator, разработена от Франсоа Пачет (François Pachet) в научната лаборатория на Sony в Париж. В теста на Тюринг системата Continuator предлага рифове на пианист, който импровизира. При този тест експертите слушатели не са могли да различат дали произведението се свири от човек или от компютър.

Но тези опити не доказват, че компютърът може да създава приятна и приемлива музика. Един от най-известните опити в тази област е Emily Howell, програма създадена от музикалния професор Дейвид Коуп (David Cope). Арпежираните композиции на тази програма звучат технически на нивото на едно дете, което се опитва да свири Бах и поради тази причина не е препоръчително да прозвучат в концертна зала.

Iamus е различна. Това може да се каже, че е първия път, когато музика композирана от компютър може да се приеме за достатъчно добра, за да бъде изпълнена от професионални музиканти. Самият Густаво Диаз-Жерез споделя, че музикантите от Лондонския симфоничен оркестър в началото са били много скептични, но впоследствие са били истински изненадани от качеството на музикалната партитура, която са били помолени да изсвирят. Сопраното Селия Алчедо (Celia Alcedo), не е могла да повярва, че толкова експресивни музикални линии могат да бъдат създадени от компютър.

Самият диригент на Лондонския симфоничен оркестър, Ленъкс Макензи споделя, че е усетил музиката като стена от звук. “Ако я оцветиш, музиката става сива. Не отива никъде, понеже е твърде плътна и масивна, но в края става епична.”

Това, което обръква хората е че Iamus може да създава музика до безкрай. Може да създава хиляди пиеси, напълно нотирани и готови за свирене, като много от тях са дори страхотни като звучене и мелодична линия. Подобно разточителство повдига въпроса ако е толкова лесно да се създава музика чрез тази програма, дали наистина музиката е добра?! Густаво Диаз-Жерез смята, че пиесите са често дори по-добри от тези, които се създават от някои авангардни композитори, които творят на базата на тяхна вътрешна логика, но техните произведения в повечето случаи са невъзможни за възпроизвеждане.

Друг етичен въпрос е как изпълнителят интерпретира тези пиеси, при положение, че липсва композиторското отношение. На този въпрос отговаря отново Густаво Диаз-Жерез, който дава пример, в който открива партитура в библиотеката без да знае, кой е нейния автор. Харесва тази партитура и независимо, че не знае кой я е създал, започва да я анализира и интерпретира, за да види дали ще се получи. В това отношение, той не вижда разлика от това да анализира и интерпретира структурата на една fuga от Бах.

Целият този етичен въпрос може да се сравни и с играта на шах в компютъра, казва музикалния философ Стефан Дейвис: “Хората считаха, че компютрите няма да са способни да покажат същата оригинална мисъл на човека и ще разчитат само на случайни изчисления. Но сега вече е трудно да се усети разликата между човека и компютъра, докато се играе шах. Музиката, също се базира на правила, което всъщност улеснява творческия процес.”

Melomics е една иновативна технология, която се базира на приложението на нековненционални еволюционни алгоритми, за композиране на музика.

Алгоритъмът работи върху структурата на данните (функциониращи като геноми), които индиректно кодират мелодии: всеки геном претърпява изкуствен разработващ процес, за да генерира кореспондираща мелодия. Когато мелодията се развие, геномите могат да бъдат конвертирани в няколко формата: (MP3), (MIDI и MusicXML), както и в PDF. Това разнообразие от формати доказва, че мелодиите могат да бъдат добавени в портативни медийни устройства, редактирани чрез професионален софтуер или изсвирени на живо.



Opus one е първата творба, стилово ориентирана като съвременна класическа музика, композирана от Iamus (през октомври, 2010).

Всички композиции на Iamus са напълно нотирани, използвайки конвенционалната музикална нотация. Компютърът Iamus, е локализиран в Университета на Малага и е много мощен компютърен клъстер, който бива разработен специално, за да разкрие потенциала на Melomics технологията. Melomics прилага еволюционен подход при композирането на музика.

Използвани източници:

1. <http://www.livenews.bg/Londonskiyat-simfonichen-orkestar-shte-izpalni-muzika--sachinena-iztsyalo-ot-kompyutar--33881>
2. <http://news.idg.bg/razvlechenie/59024/>
3. <http://www.guardian.co.uk/music/2012/jul/01/iamus-computer-composes-classical-music>
4. <http://www.guardian.co.uk/science/poll/2012/jul/01/musical-turing-test-audio-clip-computer>
5. <http://hicomm.bg/science/londonskijat-simfonichen-orkestyr-shte-izpylni-sychinena-izcjalo-ot-kompyutr-muzika.html>
6. <http://www.gustavodiazjerez.com/?cat=19>
7. http://www.youtube.com/watch?v=nC3wzCr7ZxM&feature=player_embedded
8. http://www.youtube.com/watch?v=cv4y_BRJokM&feature=related
9. <http://melomics.com/@iamus/breaking>
10. <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2167661/Roll-Beethoven-London-orchestra-play-piece-written-listening-THIS-human-composers-jobs-quite-.html?ITO=1490119>

Sound design of radio features and internet radio

Summary of the lecture held by Mila Zaharieva-Schmolke at the New Bulgarian University on the 7th of January 2013.

Mila Zaharieva-Schmolke is the leader and founder of the Youth Connected By Sounds Radio (YCBS) - created for youth and by youth in Berlin.

The advertisement of the important German Radio Station Rundfunk Berlin Brandenburg (rbb) is: „Kommt ins Ohr-bleibt im Kopf!“, „Caught by ears-stays in the head!“ It points out how important for the human perception listening is, regarding the fact that many people prefer listening than reading in many aspects. The popularity of the music in current societies and the tendency to fulfill the music wishes of the listeners contribute significantly to the importance of the radio. In other words radio has a potential to be a medium for mass communication and therefore its importance for the current world must not be underestimated.

The radio feature is a very important radio genre that has artistic and intellectual traits. The production of radio feature is very expensive therefore they are broadcast mainly by public radio stations. However, the team of YCBS considers it as very valuable and as a result radio features are very vital part of the platform.

The radio feature is a radio form that influences the listeners in a very emotional way by means of a variety of voices, music, sound effects and noises. In my lecture I will also discuss if the modern digital radios intend to support and cultivate active listening among its listeners. Now I will focus on the very artistic type of radio called radio feature! But what does the term radio feature mean? It derives from English and its translation in many languages is not precise.

As a genre the radio feature differs from the radio drama as it is defined as a documentary genre describing a particular story and real situations. It applies a variety of sound effects, music and noises to create an authentic sound picture.

In the radio feature we work with sounds and noises. As an artistic element, noises became significant at the beginning of the 20th century.

The modern art begins with the noise.

Luigi Rusolo, an Italian Futurist composer, wrote in 1913 „Manifesta L'arte dei rumori“ /“The Art of Noises”/, where he describes the noises of urban soundscape. He explores the universe of the industrial sounds and employs them as a music resource. To replicate their complexity he created his own music instruments so called “noise intoners”. He intended to arrange a futurist orchestra that would imitate the noises of life. Let us focus on the types of noises:

The noises are irregular and unformed; they are unique combinations of different individual sounds, timbers and rhythms. 2

Some basic families of noises are:

- Voices of animals and people, Shouts, Screams, Sobs
- Noises obtained by beating on metals, woods, stones, pottery, etc.

Example of radio feature:

The Bulgarian Pomaks

An Idiosyncratic Minority

by Mila Zaharieva-Schmoke

30'00''

Noises from the DAT player

Author: "What do you consider yourself?"

Noises produced by the DAT player:

Original recording - Aidan 1:

Author: "How would you define your identity?"

Aidan (man): "I am a Muslim living in the Republic of Bulgaria."

(Woman and man): "We are Mohammedan Bulgarians, or Bulgarian Mohammedans."

Original recording - Imam 1 (man):

"I think the majority of people here think of themselves as of Turks who practice Islam."

Original recording - Schanol 1 (man):

"Bulgaria is located at a crossroads. How should I think of myself? Should I feel like a Slav? Or a Protobulgarian? We live in Bulgaria. We are all Bulgarians here."

The music replicated by DAT player approaches the receiver gradually. 3

Music: "Rodopsko staro Choro" (instrumental).

Announcement:

The Bulgarian Pomaks

An Idiosyncratic Minority

by Mila Zaharieva-Schmolke

Internet radio

Nowadays, we can observe how a new sort of radio internet projects appears. The projects are not financed by state or taxes, yet their funding relies on advertising. The internet radio does not obey any rules as the public radio stations in Germany (for example rbb) or in Bulgaria (for example the Bulgarian National Radio). Therefore the online broadcasters made popular music to their policy of advertising and they provide the listeners mostly with the music programs as a result. For instance the internet radio BINAR concentrates mainly on promoting the products of music industry resigning from news and documentaries.

In Germany the public media and radio stations are obligated to inform about music, economy, culture, politics and sports. The internet radio stations focus mostly on entertainment instead. They also use pictures and video clips as additional means.

In Germany, France, the Netherlands, as well as in some countries in West-Africa and in the USA there are also educational internet radio stations. They give youngsters and young adults the opportunity to create and broadcast their own radio programs. Most of them are free of advertisement. Examples of such radio stations in Germany and France are the YCBS-Youth Connected By Sounds from Berlin and also the Euradio from Nantes. The young journalists receive support from professionals but they are free to decide about the content and genre. Such radio stations are similar to social media platforms, allowing the listeners to comment on the topics and to exchange opinions.

The internet radio is not a classical radio broadcasting only audio contents and therefore providing information exclusively as sound pictures. The internet radio applies also video clips, pictures and texts. In that case the term radio seems not to be valid anymore and, as I recon, the word multimedia is much more appropriate to employ.

МЕДИЕН ЗВУКОВ ДИЗАЙН, ПРИМЕРИ ОТ РАДИО ФИЧЪР, РАДИО ПЛАТФОРМИ В ИНТЕРНЕТ

Мила Захариева-Шмолке

В книгата си „Bruits” политическият съветник на Франсоа Митеран - Жак Атали пише, че „светът се разбира не четейки, а слушайки”. Рекламата на немското радио rbb гласи: „Kommt ins Ohr-bleibt im Kopf!“, т.е. „Влиза в ухото – остава в паметта!”.

Разказаните и озвучени житейски истории въздействат емоционално на слушателя. Една такава радио форма е радио фичерът с неговата палитра от звуци: различни гласови тембри, ефекти, музика, шумове. По-късно ще се спрем на въпроса дали класическото възприятие на радио медията се култивира и от нововъзникналите интернет радио платформи. Сега да обърнем внимание на изключително богатата на ефекти и аудио средства радио форма: радио фичерът. Какво представлява той? Понятието идва от английски термин, който в повечето езици няма превод.

Радио фичер е жанрът, в който се използват най-разнообразни тонови похвати с цел предаване на дадена автентична и цялостна звукова картина, която разказва действителна история и описва действителни случки. Тук е и разликата между радио фичера и радиотеатъра.

Пример за радиофичер: Звуков колаж от Прага

Автори: Петър Кушак, Милош Войтеховски

В радио фичера, например, работим с шумове – елемент, на който дълго време не се отдаваше необходимото значение в радио жанровете. Освен това и в тоновото изкуство шумът стои до началото на XX век на заден план.

Модерното изкуство води началото си именно от него, от шума.

Композиторът - футурист Луиджи Русоло издава в далечната 1913 година „Manifesta L'arte dei rumori” /”Изкуството на шумовете”/, като описва шумовете на големия град, които той открива. За да ги „облече” в музика, авторът създава различни инструменти, създаващи шумове. Един от тези инструменти представлява ансамбъл от кутии с фуния, през която минава шума, а има и специална мембрана, която допълнително създава звуци.

От началото на XX-ти век официално се налага тезата, че всичко, което издава звуци е неразделна част от звуковото изкуство. Шумовете създават звуковите картини, пресъздавайки атмосферата на мястото и действието в жанра – било то в радио фичера или в радио драмата.

Шумове – характер и видове:

Шумовете са апериодични и аморфни, те са една комбинация от много единични тонове. Разнообразието им е голямо, като основните са:

- силно ехтене, църцорене, шептене, ръмжене, скърцане, прашене и др.
- шумове от животински или човешки гласове, като например смях, крещене, хлипане, рев и др.
- шумове, възникнали в резултат на удар върху метал, дърво, камък, щракане с фотоапарат, звук от DAT-рекордер.

Пример:

Радио фичерът „Едно своеобразно малцинство – българските помаци”, rbb Kulturradio, mdr.

Шум от DAT-рекордер

АВТОРКАТА: Какъв се чувствате?

АЙДАН от Гоце Делчев: Аз съм мюсюлманин на територията на Република България.

МОМЧЕ И МОМИЧЕ от с.Годешово: Ние сме българо-мохамедани.

ИМАМ от с. Рибново: Мисля, че голяма част от хората в нашето село се смятат за турци, изповядващи исляма.

ШАНОЛ от с.Долно Дряново: България се намира на кръстопът, как трябва да се чувствам тук – славянин или прабългарин? Всички ние живеем в България, ние сме българи.

Чува се музика от DAT-рекордер

МУЗИКА: /към слушателя/ „Родопско старо хоро”, инструментал.

ВОДЕЩА: „Едно своеобразно малцинство” – Българските помаци

Автор: Мила Захариева – Шмолке

Всеки вид шум, освободен от рамките на музиката, е продукт на изкуството. Тук отварям една скоба – чрез синтезатора и компютъра бе поставено началото на ерата на „техно-саунда”.

Всички тонове и шумове са част от един космос от звуци.

Шумовете създават връзката с външния свят и дават възможност на слушателя, независимо от темата на радиопредаването – било то радио фичер или радио драма, или класическо радио предаване, да съумее да направи връзка между чутото и обкръжаващата го среда, житейски опит и наблюдение. Нашият слух е привикнал към шума, затова той ни помага да се пренесем и доближим до житейската реалност.

Друг съществен елемент в радио формите е говорът. Именно той въздейства върху слушателя, но не толкова самият изказ, колкото звученето на говора, което от своя страна е в тясна взаимовръзка с конкретни и абстрактни явления и феномени от външния свят. Тук можем да разделим компонентите на говора на звучащи и шумящи. Вокалите са звуци, а консонантите – шумове. В различни изследвания е разгледана връзката между гласа и неговия визуален образ. През 1722 година Луис Кастел създава така нареченото и много оспорвано „Цветно пиано”, което механично визуализира връзката между цветове и музикални звукови възприятия. Франц Лист.

„Цветно пиано”, което механично визуализира връзката между цветове и музикални звукови възприятия. Франц Лист пък е бил първият капелмайстор във Ваймар, който при една оркестрова репетиция казва: „Господа, ако обичате, още малко синьо”!

Аналогът между говор и цвят се развива единствено при пеенето.

Първите представители на „акустичната поезия“ са Хуго Бал с произведението си „Die Karawane“ от 1917 година, а така също и „Ursonate“ от Курт Швитерс. Последният използва една пъстра палитра от нечленоразделни шумове, преминавайки през подобни на думите звуци и стигайки до артикулиран говор.

Чрез звука на водещия, радиослушателят добива определени представи за неговата личностна характеристика. Например един по-дълбок глас се асоциира с компетентност, суверенност и доверие. Глас с акцент се възприема двузачно – ако водещият третира тема, свързана с чужда култура, то той се възприема автентично, но ако става дума за национални приоритети, например, тогава съмнението в истинността на тезата е налице.

Музиката в радио формите

Любим способ на радио-форматите са различните жанрове музика: джингълс, музикални теми, които се използват като фон на текст или сцена, също и като разделителна част между две и повече теми, сцени или въвеждане на нови фигури /герои или участници/, както и при подготвянето на слушателя за нови случки в сюжета, които не са свързани с предишните.

Пример: Радио фичер: „Едно своеобразно малцинство. Българските помаци“, rbb Kulturradio, mdr.

АВТОРКАТА: /описва разговора/ На въпроса ми „защо булката е налепена с пайети“, жените отговарят през смях, че така изглежда по-хубава, друг смисъл няма. „А защо си държи очите затворени?“- питам отново. „Ами защото с тези пайети по бузите, ако е с отворени очи, ще изглежда страшна“. Булката държи огледало в ръцете си и от време на време поглежда в него. Тук има нещо особено: майка и щерка поглеждат в огледалото, защото вярват, че така ще се видят отново на оня свят. Този сватбен ритуал не е възприет от Корана. От къде идва тази традиция, предаваща се от генерация на генерация, не е ясно.

МУЗИКА: „Запретни, Аве, бели ръкави, разточи, Аве, вита баница“...

АТМОСФЕРА: Планина и шурци

Техническа трансформация на гласове и шумове

С техническите изобретения на ХХ-ти век стана възможно да се прекъсва връзката между гласа и неговия носител. Първоначално микрофонът, усилвателят или високоговорителят можеха да повлияват и изменят естествените дадености на гласа. По-късно с помощта на аналоговия синтезатор и дигиталната компютърна технология гласове и звуци можеха да бъдат манипулирани до неузнаваемост. Това е недопустимо за радио фичера или радиотеатъра. Може да се използва като способ при радио-модерации, радио-новини или репортажи, например.

Обработването на гласове при моделирането се реализира с помощта на филтри и ефекти.

В немските радио-медии гласовият тип за радиоводещи и радиоговорители се избира изключително грижливо, като той трябва да пасва и към останалите водещи. Освен това критерият тук не е индивидуалният тон, а спонтанното и възможно най-бързо познаване на радиопрограмата.

В последствие повечето радио-програми са компримирани, компресорът определя динамиката и съгъстването на излъчвания материал, наречен още „sound processing“. Малките „пегели“ се усилват за сметка на максималния „пегел“ и

обратно, звукът и неговата сила се уеднаквяват. Така се постига по-добра звукова пълнота.

Радио фичерът живее от оригиналните разнообразни гласове и тембри, от гласовата динамика, атмосфера и музика. Практически тук компресорът няма място.

Развитие на масовата медия радио и интернет радиото

Исторически погледнато, още от времето на нацизма, радиото е използвано за пропагандни цели.

Радиото днес е основен разпространител на музика. В Германия около 250 предаватели излъчват музикални предавания, които се слушат от около 34 милиона домакинства. Музикални желания на слушателите могат да бъдат изпълнявани непосредствено, а така също музикални издателства и фирми за музикални продукции могат да правят реклами. Разбира се, музиката, която звучи в тези случаи е популярна и така има по-голямо разпространение.

Редом с класическия радиоапарат, все повече дигитални радио-формати навлизат в медийния ландшафт. Дигитализирането му започна още в края на 80-те години на XX-ти век.

Възникват нови дигитални радио формати, които не се финансират от такси или от държавата, а изцяло от рекламна дейност. В тази връзка популярната музика подпомага съществуването им. Така радиото се превръща в истинска комуникационна медия.

Интернет радиото не се подчинява на правилата, които важат за държавните радио медии, като БНР, например или в Германия обществената медия rbb. В интернет радиото съотношението говор-музика е в полза на музиката /пример: интернет радио платформата Radio binar/. Тук няма тематичен баланс.

Радио интернет платформите не са задължени да снабдяват обществото с необходимата информация из областта на култура, политика, наука. Задължително кредо за това са държавните медии. Интернет радиото има за цел реклама и развлечение. Развлечение не само в съдържанието, а и във формата на радио предаванията: например много интернет радио платформи използват видео и снимки като похват с цел задържане вниманието на слушателя върху техните платформи. Като правило текстовите предавания са по-кратки и съотношението говор/музика не се спазва.

Има и една друга категория интернет радио – образователната! Това са радио платформи, които дават възможност за изява на аматьори и на млади автори - ученици и студенти, които се учат на радио-занаята. Тези радио платформи са обществени. Много от тях не извършват никаква рекламна дейност, а младите автори оформят по свой вкус радио програмите.

Такива са например международната радио платформа YCBS.eu със седалище в Берлин и Euradio Nantes. Тук свободата на творците е неограничена, що се отнася до това от кои области на света ще преобладават техните предавания. Тези мини институции не са комерсиални и музиката тук също не е комерсиална, в повечето случаи - със свободни авторски права. Давайки възможност за активно и пасивно участие на млади хора в тези продукции, те имат функцията и на социални медии, в които диалогът между слушатели и автори или между различните автори е непосредствен. Тук също, както и в други интернет медии радио-предаването е само един от няколкото възможни елемента за представяне на програмите. И в този

случай реципиентът не се съсредоточава единствено върху самото радио предаване и /или/ съответно не възприема съдържанието му посредством звукови картини. С помощта на текст, видео-клип или снимки, реципиентът има възможност да избере форма на възприятие, а не напъга единствено слуха и въображението си. В този случай е трудно да говорим за радио или интернет радио, а по-скоро използваме понятието мултимедия.

Използвана литература

1. Harri Wolff – „Musikmarkt und Medien unter dem Aspekt des technologischen Wandels“- „Die Entwicklung der Massenmedien Radio und Fernsehen“ – Electronic Publishing Osnabrück, 2002
2. Marcus Gammel im Gespräch mit Milan Adamc`iak, Juraj Duris`, Michal Murin - „Schwarze Löcher und weisse Flecken“ – n.b.k. Sounds. Radio-Kunst-Neue Musik mit einer Partitur von/With a score by Rolf Julius, Kulturstiftung des Bundes, 2009/2010
3. Almut Schnerring – „Bilder hören und verstehen – LIT Verlag Münster-Hamburg-London, 2000
4. Радио фичер „Eine eigenwillige Minderheit. Die Pomaken Bulgariens“, rbb Kulturradio, mdr.
5. YCBS-Your International Youth Radio, www.ycbs.eu
6. Euradio Nantes, <http://www.euradionantes.eu/accueil>
7. Radio Binar, <http://www3.ebu.ch/cms/en/sites/ebu/contents/frontpage-news/news-2012/08/radio-binar--bnrs-internet-initi.html>

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2012”	ISSN 1312-4897
		Варна 12 - 13.10.2012 г. София 07 - 08.12.2012 г.
Година XIV	□ Брой 14	Декември 2012 г.

**ПО СВЕТА С МИКРОФОН МЕЖДУНАРОДНО МЛАДЕЖКО РАДИО
YCBS-YOUTH CONNECTED BY SOUNDS
Мила Захаријева-Шмолке**

“Млади хора в Европа почти не се виждат, те са едно голямо малцинство”, споделя Мирта Лоуренсо от Отдела за медии и образование в UNESCO-Париж. Задаваме си тогава въпроса: Важни ли са медиите за младите хора и техния глас за обществата по света?

Гласът на младите по света

В Африка основната медия е радиото, а не телевизията. Континентът е зает от образователни обществени радиостанции за млади. В училищата се провеждат радио уоркшопи с цел подготовка на радио кадри. Радиото е сравнително евтино средство за комуникация и се слуша по време на различни дейности.

Радиото не само информира за политически и обществени събития, но има и образователен характер, особено в селските райони на Африка. Специално за тези райони темите на образователните радио програми са: Здравеопазване и Селско стопанство. Младите са автори на радио програмите. Повече от 70% от слушателската публика там е на средна възраст 25 години. И това не се отнася само за Африка. Също в Латинска Америка и Азия преобладава младото население.

Там, както и на африканския континент, мрежата на обществените и образователни радио проекти и радио станции за млади е силно развита. Европа прави малко за младите слушатели. Малко са образователните програми за и от млади с некомерсиална цел.

YCBS-радио за и от млади

YCBS е един образователен радио проект, създаден в Берлин през декември 2011 от Мила Захаријева-Шмолке. Проектът се финансира от Европейски фонд.

Цел на YCBS е участието на млади автори в подготовката на програмите. Главната форма на предаванията е радио-фичера.

Радио-фичерът е жанр, в който се използват най-разнообразни тонови похвати с цел предаване на дадена автентична и цялостна звукова картина, която разказва действителна история и описва действителни случки. Тук е и разликата между радио-фичера и радиотеатъра. Продукцията му е скъпа, затова се излъчва от държавните медии. Нетрадиционно YCBS като образователна радио медия, с програми в интернет и на ултра-къси вълни излъчва радио-фичери.

Програмите са направени от професионални редактори и от учещи се млади хора с интерес към радиото и към теми от областта на културата, музиката, политиката, медиите и др. YCBS иницира радио проекти с, от и за млади хора.

Концепция и звуков дизайн на радио проекта

Няколко са стъпките при подготовка и провеждане на радио проект. Най-важната е изборът на тема за радио проекта, подбор на автори и участници, а така също

и избор на географски район. Проектът трябва да се структурира в няколко работни фази.

Във всяка фаза в период от три месеца се определят видовете дейности: преподаване на радио умения, проучване на темата, интервюта с участниците в програмата, писане на авторския текст и избор на музика, обща композиция на предаването до крайната му студийна продукция.

Изборът на темата и участниците в проекта, а така също и географският район трябва да предизвикат интереса на спонсори и фондации с цел финансиране. Подготовката и продукцията на радио проекта продължават една до две години.

Международни радио проекти

История на разделените градове във Франция, Полша и Германия: Петит Росел, Гросроселн, Гьорлиц, Згоржелец.

Радио проектът е в два гранични района с участието на млади и е на три езика: полски, френски и немски. Радио програмата бе изготвена от 80 гимназисти, а проектът бе под патронажа на UNESCO. Освен придобиване на радио умения се цели запознаване на младите жители на тези градове с историята им, а така също и да подтикне участниците да упражнят езика на съседа. Майчиният език и многоезичието, обявен за проект на UNESCO

Този мултинационален проект се проведе с радиостанции и училища в Истанбул, Прага, Брно, София, Берлин, Луганск, Монтана и Любляна. Участват 13 езика: мандарин, български, ладино, иврит, немски, чешки, романи, литовски, английски, турски, заза, зорбски, украински и словенски. Авторският текст е на английски език, мелодиката на различните езици доминира в програмата. Свят на многообразието

Радио проектът “Свят на многообразието” с ученици от различни националности, обучаващи се в училище до Бранденбургската врата в Берлин и партньори от Иркутск /Русия/ и София /България/. Целта на проекта е да се разкажат и опишат пред микрофон истории и случки, свързани с културното многообразие, което е ежедневие за участниците. Мостът между мен и теб Мостарската младеж между границите. Това е радио проект с млади хора от мюсюлманската и католическа част на град Мостар (Босна-Херцеговина).

Музика и шумове в радио проекти и радиопрограми

Образователните радио станции без комерсиална цел като YCBS ползват музика със свободни права. Немският online архив с такава музика е:

<http://www.medienpaedagogik-praxis.de/kostenlose-medien/freie-musik/>

<http://search.creativecommons.org/> Повечето музикални произведения от споменатия online архив имат свободен лиценз, но някои от авторите трябва да бъдат споменати - на интернет сайт или в самото предаване.

Шумовете също не са свободни от авторски права – използването им се подчинява на определени правила за излъчване. Възможно е да се ползват шумове със свободни права от този online архив:

Текстът в радиопредаванията, критерии.

По възможност да се дава по една информация в изречение. Глаголът е в началото. Понятия и чуждици се повтарят. Използва се актив, а не пасив.

Радио-фоничният текст или текст за слушане няма нищо общо с вестникарския или с литературно-научния. В радио-фоничния текст повторенията са желан способ с цел запомняне на съдържанието.

Въвеждането в темата на предаването е директно, без встъпителни изречения. Фразата трябва да бъде кратка, без подчинени форми на изказа. Пише се, както се говори – без дистанция и усложнени словосъчетания.

Елементи на радиопредавания:

Интервю:

Отворената форма на интервюто е най-оптимална: Интервю партньорът се предразполага най-добре чрез въпросителните наречия “Кой”, “Къде”, “Кога”, “Как”, “За какво”.

Полуотворената и затворена форми дават възможност на събеседника да отговори с “да” или “не”, при което интервюто не се развива.

Оригинални тонове

Оригиналните тонове са ключови изречения с важна за темата информация. Съдържат точно и синтезирано формулирано мнение, както и предаване на факти. Въздействащото изказване е основният критерий за избора на оригинален тон в радио програмата. Структура и дължина на радио- програмите за млади. Въвеждане в темата /определянето ѝ и представяне на участниците/.

Оригиналните тонове и авторският текст се редуват. Музиката е като преход. Друг елемент на програмата е атмосферата /уличен шум, шум от помещение или говор/. Накрая следва финализиране на темата. Една страница от радио текста отговаря на две минути. Общото времетраене на предаване за млади не бива да е по-дълго от 10-15 минути.

Радио проектите с и от млади дават възможност за една интензивна интеркултурна комуникация. Друго предимство е обучението в сферата на медиите, особено като се има предвид, че днешните тийнейджъри имат много повече технически познания от възрастните, но не ги използват достатъчно за разширяване на общата си култура.

	АКУСТИКА Национална конференция "Акустика 2012"	Варна 10 - 12.10.2012 г. София 07 - 08.12.2012 г.
Година XIV	□ Брой 14	Декември 2012 г.

АКУСТИЧНО МОДЕЛИРАНЕ НА ШУМОВОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ В ОКОЛНАТА СРЕДА ОТ ФУНКЦИОНИРАНЕТО НА ПРОЕКТЕН ОБЕКТ

Борис Михайлов ¹⁾, Татяна Георгиева ²⁾ Милчо Георгиев ³⁾

1) СПЕКТРИ ЕООД, ул. „Теодосий Търновски“ 30, София, 1421

spectri@spectri.net, www.spectri.net

2) СПЕКТРИ ЕООД, ул. „Теодосий Търновски“ 30, София, 1421

office@spectri.net, www.spectri.net

3) ТУ-София, бул. „Кл. Охридски“ 8, София 1700, mtge@tu-sofia.bg

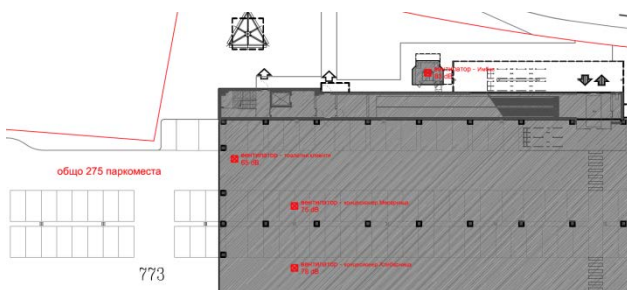
Резюме: Акустично моделиране и предвиждане на ефекта от дейността на проектен търговски обект. Установяване на шумова експозиция, осреднени стойности за Lday (ден), Levg (вечер), Lngt (нощ) - в определени точки на въздействие: близкостоящи жилищни сгради, сгради със „специално“ предназначение (училищни, лечебни заведения). Дефиниране и инженеринг на мерки и мероприятия с цел резултатно съответствие на общия акустичен на обекта – според действащите хигиенни норми в Р. България (съгласно: Наредба № 6 от 26 юни 2006 г. за показателите за шум в околната среда).

Ключови думи:

Акустично проектиране, шум, шумови карти

1. ВЪВЕДЕНИЕ

➤ Входни данни



➤ Ситуационни / ГИС данни



➤ **Описание на обекта - Зониране:** промишлена зона, жилищна зона и пр. Местоположение, адрес, достъп до обекта; описание на паркинга и товаро-разтоварната рампа

➤ **Цел на проучването - Акустично моделиране** и установяване на шумовата експозиция, осреднена стойност за Lday (ден), Levg (вечер), Lngt (нощ), в определени

точки: пред близкостоящи жилищни сгради, и пред сгради със „специално” предназначение (училища, обществени сгради)

Определяне на съответствието с действащите хигиенни норми в Р. България (съгласно: Наредба № 6 от 26 юни 2006 г. за показателите за шум в околната среда).

При установяване на специфично генерирано надгранично ошумяване – дефиниране на подходящи активни и/или организационни мерки по редукцията на акустичното влияние върху непосредствената заобикаляща обекта околна среда;

➤ **Основание за експертизата** - Договор или заявка за акустично обследване на обект с описание на предмета на дейност, информация за местоположение (скица на обекта, скица на площадката), адрес, характеристика на заобикалящата среда.

➤ **Нормативни изисквания:** Наредба № 6 от 26 юни 2006 г. за показателите за шум в околната среда. Съгласно Приложение № 2 към чл. 5, Табл.2 „Гранични стойности на нивата на шума в различните територии и устройствени зони в урбанизираните територии и извън тях” за “жилищни територии и зони”, пределно допустимите стойности на еквивалентно ниво на шума в dB(A) е, съответно за ден - 55 dB(A), за вечер - 50 dB(A), и за нощ - 45 dB(A). За “Територии, подложени на въздействието на интензивен автомобилен трафик”, пределно допустимите стойности на еквивалентно ниво на шума в dB(A) е съответно за ден - 60 dB(A), за вечер - 55 dB(A) и за нощ - 50 dB(A). С оглед разположението на обекта в район на интензивен автомобилен трафик, както и на трамваен (железопътен) трафик, следва да се използват стойностите на пределно допустимите стойности на еквивалентно ниво на шума в dB(A) - за ден - 60 dB(A), за вечер - 55 dB(A), и за нощ - 50 dB(A).

➤ **Работно време на търговския обект:** Работното време с клиенти и работно време за зареждане/експлоатация на магазина са специфицирани от Възложителя.

2. Нормативни документи

Използвани са следните нормативни и регламентиращи документи:

Закон за защита от шума в околната среда(ЗЗШОС)(Обн. ДВ, бр.74/2005); Наредба №2/2006 за дейността на Националната система за мониторинг на шума в околната среда и за изискванията за провеждане на собствен мониторинг и представяне на информация от промишлените източници на шум в околната среда (Обн. ДВ, бр.37/2006);

Наредба № 6 от 26 юни 2006 г. за показателите за шум в околната среда, отчитащи степента на дискомфорт през различните части на денонощието, граничните стойности на показателите за шум в околната среда, методите за оценка на стойностите на показателите за шум и на вредните ефекти от шума върху здравето на населението, (Обн. ДВ. бр.58 от 18 Юли 2006 г.), издадена от Министерство на здравеопазването и Министерство на околната среда и водите.

Директива 2002/49/ЕО за оценка и управление на шума в околната среда;

Ръководство за добра практика за изготвяне на стратегически шумови карти и предоставяне на свързаните данни за шумова експозиция (разработена от работната група за шума към ЕС – WG-AEN, 13.01.2006);

3. Въздействие от шума спрямо максималните допустими стойности

• Съгласно действащите нормативни документи за шум в околната среда, за конкретния имот, на който се предвижда реализацията на търговския обект е необходимо да се моделира и проведе верификация на съществуващото акустично въздействие на основните източници на въздействие в района (в случая - промишлен шум, автомобилен трафик, железопътен трафик). Верификационните измервания се провеждат в съответствие с **БДС ISO 1996-1:2005 („Акустика. Описание, измерване и оценяване на шума в околната среда. Част 1:**

Основни величини и процедури за оценяване”) и БДС ISO 1996-2:2011 („Акустика. Описание, измерване и оценяване на шума в околната среда. Част 2: Определяне на нивата на шум в околната среда”).

- Като следващ етап на изпълнение на проекта е генериране и анализиране на резултатите от акустично обектно ориентирано моделиране от дейността на самия обект (използвайки входните данни от всички проектно предвидени стационарни и подвижни шумови източници и процеси).

- Базирайки се на изходните данни от изпълнението на гореописаните етапи, ние получаваме резултатното тотално еквивалентно генерирано допълнително ошумяване и оценяваме неговия принос върху цялостния акустичен отпечатък в района на проектния обект.

- Последен етап от проекта е обсъждането с Възложителя, както и акустичното претегляне на ефекта и финалното моделиране на целенасочени противошумови мерки и мероприятия.

4. Използван инструментариум, компетенции

При изпълнение на проекта използваме притежаваният от СПЕКТРИ ЕООД инструментариум и опит при реализация на акустични проекти и задачи по целенасочено проектиране и моделиране. Компетентността ни се базира и на прилаганата и използвана от нас система на качество според ISO-17020 (като част от дейността на Органа за контрол на “шум и вибрации” – “СПЕКТРИ-ИЗМЕРВАНИЯ”, акредитиран от ИА “БСА”).

Използваният от нас харудерен и софтуерен потенциал се състои от:

- акустични анализатори, тип 2250 от Brüel & Kjær, както и изчислителна платформа за акустично моделиране, тип LimA от Brüel & Kjær.

Използвани са следните методи за изчисление (съгласно Приложение П, т.2.2. на Директива 2002/49/ЕС):

- **ЗА ОТЧИТАНЕ НА ПРОМИШЛЕНИЯ ШУМ:**

БДС ISO 9613-2 (+ ISO 8297Q 1994 + EN ISO 3744Q 1995 + EN ISO 3746Q1995).

- **ЗА ОТЧИТАНЕ ШУМА ОТ АВТОМОБИЛНИЯ ТРАФИК:**

Френският национален метод за изчисляване – “NMPB-Routes-96” или френският стандарт “XPS 31-133”;

- **ЗА ОТЧИТАНЕ ШУМА ОТ ЖЕЛЕЗОПЪТНИЯ ТРАФИК:**

Холандският национален метод за изчисляване – “RMR”;

- **ЗА ОТЧИТАНЕ ШУМА ОТ РАБОТНИТЕ ПРОЦЕСИ:**

БДС ISO 1996-1:2005 („Акустика. Описание, измерване и оценяване на шума в околната среда. Част 1: Основни величини и процедури за оценяване”)

БДС ISO 1996-2:2011 („Акустика. Описание, измерване и оценяване на шума в околната среда. Част 2: Определяне на нивата на шум в околната среда”).

5. Данни, предпоставки и основни определения при изпълнение на проекта

- **Входни данни за източниците на шум:** – инсталации, агрегати, работни процеси, ситуационен план, ГИС данни;

- **Проектни данни за експлоатацията на обекта** - шумово въздействие в околната среда;

- **Полево обследване, измервания на шум;**

- **Акустични данни за подобен типов проект;**

- **Съществуващи допълнителни източници на шумово въздействие в проектния район:**

Провеждане на анализ на въздействието от оказващия въздействие автомобилен и трамваен (железопътен) трафик.

- **Източници на шумово въздействие в резултат от протичащите присъщи за дейността на обекта процеси:** - влизане и излизане на леки автомобили: прогнозни движения на ден, ситуация на паркинга.

Приведени коефициенти автомобили за час за ден (12 ч) – авт./час, за вечер (4 ч), за нощ (8 ч), влизане и излизане на товарни автомобили: прогнозен брой движения на

ден, товарна зона – ситуация на движение в две ленти.

- движение на колички в паркинга и входа: претеглен % от автомобилните движения на ден;

- Симулирани комбинация от линеен и точкови източника с приведена стойност на шумово въздействие;

- Протичащи работни процеси и тяхната честота:

- Въздействие от шума при процесите на паркиране;

- Планирана средната стойност на потока на коли (вкл. служители) бр. авт/ден;

- Честота на зареждане на стоки и начин на зареждане (вида и бр. камиони/тирове, бр. палети;

- Въздействие от шума при влизане и излизане на коли: бр. движения на ден;

- Въздействие от шума при влизане и излизане на товарни коли: бр. движения на ден;

- Въздействие от шума при маневриране на товарни коли: маневриране в минути;

- Въздействие от шума при смяна на мястото на паркиране на товарни коли: действие за час;

- Въздействие от шума при разтоварителни процеси;

Въздействие от шума при товарни коли с охладителни агрегати;

- Въздействие на шума при охладителни системи и хладилни инсталации: разположение, технически данни, звукова мощност;

- Въздействие от шума при влизане и излизане с колички за покупки;

6. Използвани оценъчни коефициенти и резултантни индекси: Използваните в проекта показателите за шум са дневно **Lден**, вечерно **Lвечер**, нощно **Lнощ** и денонощно **L24** ниво на шума. **Дневният период** включва времето от **7 до 19 ч.** (с продължителност 12 часа), **вечерният период** включва времето от **19 до 23 ч.** (с продължителност 4 часа) и **нощният период** - времето от **23 до 7 ч.** (с продължителност 8 часа).

Граничните стойности на нивата на шума, регламентирани в Наредба № 6/2006 са дадени в таблицата по долу.

№	Територии и устройствени зони в урбанизираните територии и извън тях	Еквивалентно ниво на шума в dB(A)		
		ден	вечер	нощ
1	Жилищни зони и територии	55	50	45
2	Централни градски части	60	55	50
3	Територии, подложени на въздействието на интензивен автомобилен трафик	60	55	50
4	Територии, подложени на въздействието на релсов железопътен и трамваен транспорт	65	60	55
5	Територии, подложени на въздействието на авиационен шум	65	65	55
6	Производствено-складови територии и зони	70	70	70
7	Зони за обществен и индивидуален отдих	45	40	35
8	Зони за лечебни заведения и санаториуми	45	35	35
9	Зони за научно изследователска дейност	45	40	35
10	Тихи зони извън агломерациите	40	35	35

Забележка: граничните стойности на максималното ниво на шума при прелитане на летателно средство над определена територия е 85 dB.

7. Резултати от изчисленията:

- **определени и оценени са стандартизираните точки на въздействие от шума при съседни жилищни сгради.**

- **приложени са приравнявания и претегляния от гледна точка наличието на импулсивни звуци (напр. при тряскане на врата на кола), както и за звукови и информационни реклами;**

- **Отчетено е въздействието на за части от деня с висока чувствителност;**

- **Моделирането и изчисленията се провеждат за благоприятни метеорологични фактори.**

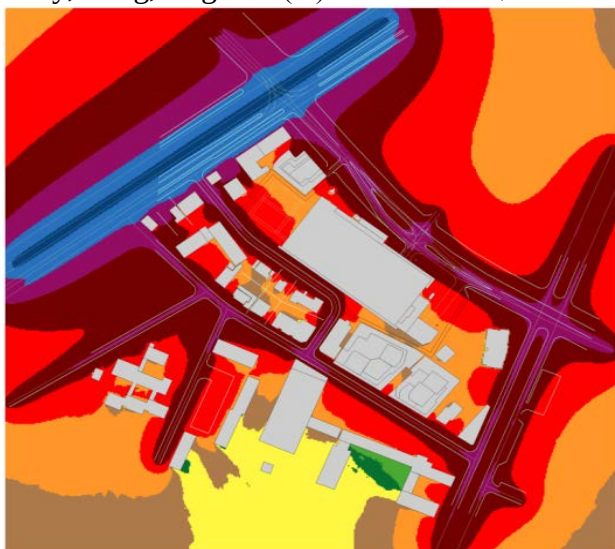
- **Оценени са предварителните натоварвания (обременености).**

- **Определена е надеждността на прогнозата.** Надеждността на прогнозата се базира на дефинираните

по горе входни данни, за които е извършено верифициране, чрез проведени измервания в друг хипермаркет от веригата за шумовите въздействия на отделните източници, както и на използвания софтуер.

8. Връзки и отстояния към обществени транспортни планове

Локално извлечение от „Стратегическа карта за шум” – за конкретната проектна локация, показател L_{day} , L_{evg} , L_{nigt} -dB(A) по източници:



L_{day} пътен трафик



L_{night} – пътен трафик



L_{day} – железопътен трафик

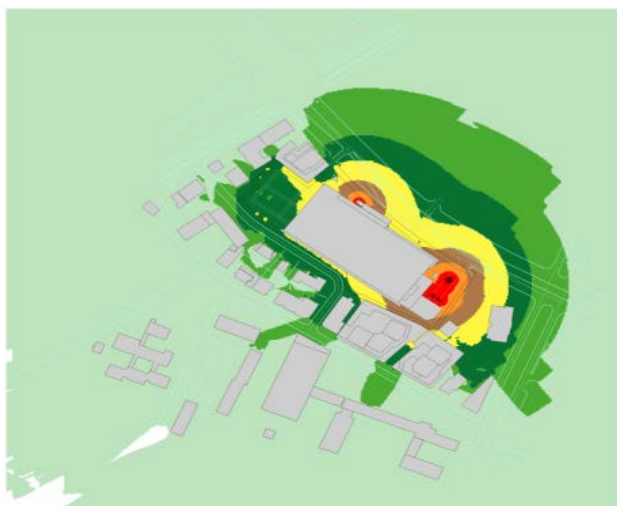


L_{night} – железопътен трафик

Генерирани шумови карти от дейността на обекта - за показател L_{day} , L_{evg} , L_{nigt} - dB(A)



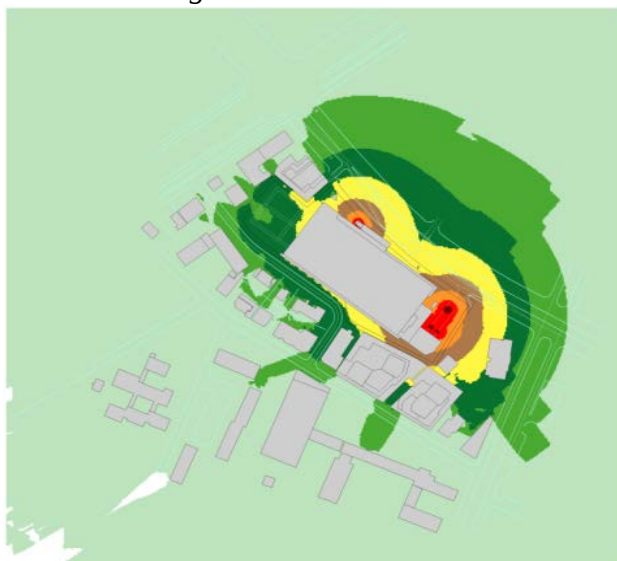
L_{day} – всички източници



Lday – активност обект



Levg – активност обект



Lnight – активност обект

9. Предвидени шумоизолиращи мерки и препоръки:

След проведеното локално акустично моделиране, верификация и изчисления беше

установено, че предвидената дейност на проектния обект сама по себе си не генерира надграницно ошумяване в околната среда (в дългосрочен аспект за осреднените показатели на шума за ден / вечер / нощ).

10. Обобщение:

- Поради установена от проектния екип възможност за краткосрочно надграницно ошумяване в кратки времеви периоди, препоръчваме следните мерки:
- През нощта, автомобилите само да напускат паркинга;
- Пазарните колички да се поддържат в добро експлоатационно състояние;
- След инсталиране на агрегатите и в случай, че не са изпълнени заложените технически параметри и монтажни инструкции, да се проведе измерване на реално работещите на открито съоръжения, като при генериране на нива на шум по-големи от проектните да се предвидят допълнителни шумоизолиращи мероприятия

9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] ДИРЕКТИВА 2002/49/ЕС на европейския парламент и на съвета от 25.06.2002 г. относно оценка и управление на екологичния шум (END).
- [2] Ръководство за добра практика за изготвяне на стратегически шумови карти и предоставяне на свързаните данни за шумова експозиция (разработена от работната група за шума към ЕС – WG-AEN, 13.01.2006);
- [3] Закон за защита от шума в околната среда (Обн. ДВ, бр.74/2005);
- [4] Наредба №2/2006 (Обн. ДВ, бр.37/2006);
- [5] Наредба № 6 от 26 юни 2006 г. (Обн. ДВ. бр.58 от 18 Юли 2006 г.), издадена от Министерство на здравеопазването и Министерство на околната среда и водите.

Данни за авторите: (1) Борис Борисов Михайлов, Sound and vibration qualified expert (2001), инж.(1994), Електроника, Технически университет - София, Brüel & Kjaer University (2001). Съпредседател *Българска Асоциация за Обществен Контрол и Управление на Шума*, Управител *СПЕКТРИ ЕООД*. (2) Татяна Иванова Георгиева, Технически асистент СПЕКТРИ ЕООД, (3) доц. Д-р Милчо Тодоров Георгиев, Технически университет София, МФ, Катедра ОТСК.

Boris Mihaylov¹⁾, Tatiana Georgieva²⁾ Milcho Georgiev³⁾

- 1) SPECTRI Ltd., 30 "Teodosii Tarnovski" str., Sofia, 1421, spectri@spectri.net, www.spectri.net
- 2) SPECTRI Ltd., 30 "Teodosii Tarnovski" str., Sofia, 1421, office@spectri.net, www.spectri.net
- 3) TU-Sofia 1700, 8 "Kl. Ohridski" blv., mtge@tu-sofia.bg

Abstract: Performed acoustic modeling and comercial object activity impact prediction. Calculated noise influence, and equivalent noise levels for indexes Lday (day), Levg (evening), Lngt (night) - in certain exposure points: for residential buildings, and the so defined "special" buildings (schools, hospitals, etc). Overall noise impact estimation, engineering and final noise measures' definition. Assesment of the compliance with the hygiene standards in Bulgaria (according to: Regulation № 6 of 26 June 2006 on the indicators for environmental noise).

Key words:

Acoustics design, noise, noise maps

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2012”	Варна 10 - 12.10.2012 г. София 07 - 08.12.2012 г.
Година XIV	□ Брой 14	Декември 2012 г.

АКТУАЛИЗАЦИЯ НА АКУСТИЧНИТЕ ДАННИ ЗА АГЛОМЕРАЦИЯ СОФИЯ И ПЛОВДИВ В РЕЗУЛТАТ НА НАРАСТВАНЕ НА АВТОМОБИЛНИЯ ТРАФИК. ИЗВОДИ.

Борис Михайлов ¹⁾

¹⁾ СПЕКТРИ ЕООД, ул. „Теодосий Търновски“ 30, София, 1421
spectri@spectri.net, www.spectri.net

Резюме:

Във връзка с процеса за непрекъснато актуализиране на входните данни, част от системата на създаване и обновяване на Стратегическа Карта за Шум, както и взимайки в предвид постоянното инфраструктурно и социално развитие на основни агломерации в Р. България, като двата най-големи града, София и Пловдив, екипа на националните експерти по шум и вибрации, СПЕКТРИ ЕООД, проведе и реализира проекти по текущи заснемания и протоколиране в приоритетно оригинални точки на шумовото и трафик натоварване. В настоящия доклад са отразени основните стъпки по изпълнение на проекта и изводите от неговата реализация.

Ключови думи:

Шум, шумови карти

1. ВЪВЕДЕНИЕ

ПРОЕКТ – СОФИЯ:

Целта на проекта е актуализиране на използвания акустичен и градоустройствен модел, най-вече що се отнася до шумовия източник „пътен трафик“, както и отразяване / проверка на акустичният ефект от:

- (а) новоизградените открити участъци на метрото (2010 г.);
- (б) новоизградена отсечка – АМ “Люлин” (2011 г.);
- (в) реализирана мярка от Плана за действие относно СКШ на Столична Община – изградени противощумови бариери, бул. “Брюксел” (2010 г.);
- (г) разширяване на обхвата на верификация в новозададени равномерно разпределени измервателни точки.

С цел актуализация на предишните измервания (2008 г. / 2009 г.), както и обхващане и отразяване на описаните нови изградени обекти, измервателните точки бяха предефинирани и разширени като обхват.

В дефинираните с цел текуща верификация на СКШ на агломерация София измервателни и преброителни пунктове към изходния модел, с изпълнението на настоящия проект бяха заснети, измерени и натрупани актуални данни за 2012 г. Информацията е достатъчна за дефиниране на необходимостта от евентуално актуализиране на модела при осъвременяването на СКШ на агломерация София.

При стартиране на процеса по актуализация на СШК на агломерация София е необходимо ограничено във времето допълнително набавяне на входни данни, както следва:

- а) за източник „пътен трафик“ – резултати от мониторинга на шума от РИОКОЗ – София за 2010-2012 г.;

б) за източник „промишлена дейност” – актуализация относно режима на работа и обхвата на текущо въздействие (2012 г.) на предприятията в гр. София с комплексни разрешителни;

с) за източник „релсов транспорт” – актуализиране с данни от Холдинг БДЖ и НКЖИ - за 2010 – 2012 г.;

д) за източник „самолетен трафик” - актуализиране с данни от Летище София за 2010 – 2012 г.;

е) градоустройствен модел – актуализация с данни за 2011 г. – относно прекатегоризация на определени улици / булеварди, нови пътни отсечки, магистрали, изградени и приложени от Плана за действие относно СКШ на Столична Община мерки, промяна в настилки, връзки, както и промяна в сградния фонд – нови сгради въведени в експлоатация, промяна на типа на вече експлоатирани сгради, развитие на метрополитена.

ПРОЕКТ – ПЛОВДИВ:

Целта на настоящия проект е актуализиране на използвания акустичен и градоустройствен модел, най-вече що се отнася до шумовия източник „пътен трафик”. В използваните при създаване на СШК на агломерация Пловдив измервателни и преброителни пунктове за калибриране и верификация на изходния модел, с изпълнението на настоящия проект бяха заснети, измерени и натрупани актуални данни за 2011 г. Информацията е достатъчна за предстоящото актуализиране на модела при осъвременяването на СШК на агломерация Пловдив през 2012 г.

При стартиране на процеса по актуализация на СШК на агломерация Пловдив е необходимо ограничено във времето допълнително набавяне на входни данни, както следва:

(а) за източник „пътен трафик” – резултати от мониторинга на шума от РИОКОЗ – Пловдив за 2010 и 2011 г., както и резултати от системата за непрекъснат мониторинг на шума, собственост на Община Пловдив;

(б) за източник „промишлена дейност” – актуализация относно режима на работа и обхвата на текущо въздействие (2011 г.) на предприятията в гр. Пловдив с комплексни разрешителни (информация натрупана като входни данни по време на изпълнение на настоящия проект – вж. Описа на входната

информация, както и сканираните входни данни от РИОСВ – Пловдив);

(в) за източник „релсов транспорт” – актуализиране с данни от Холдинг БДЖ и НКЖИ - за 2010 и 2011 г.;

(г) за източник „самолетен трафик” – актуализация;

(д) градоустройствен модел – актуализация с данни за 2010 г. – относно прекатегоризация на определени улици / булеварди, промяна в настилки, връзки, както и промяна в сградния фонд – нови сгради въведени в експлоатация, промяна на типа на вече експлоатирани сгради (информация натрупана частично като входни данни по време на изпълнение на настоящия проект – вж. Описа на входната информация, както и сканираните входни данни).



2. ПРОЕКТИ – МЕТОДИКА НА ИЗМЕРВАНЕ, ИНСТРУМЕНТАРИУМ

Измерванията са извършени в съответствие с изискванията на:

ISO 1996-1/2005 „Акустика – Описание, измерване и оценка на шума в околната среда. Част 1 – Основни величини и процедури за оценка”;

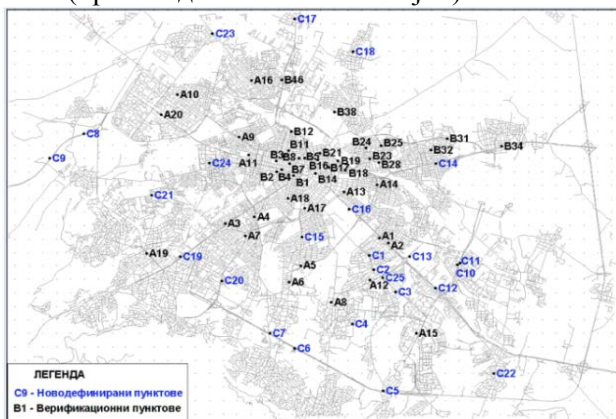
ISO 1996-2/1987 „Акустика – Описание и измерване на шума в околната среда. Част 2: Набиране на данни отнасящи се за ползването на земя”.

Проведени са измервания във всеки пункт. Направена е съпоставка, както между новите измервания за 2012 г., така и между вече проведените през 2008 – 2009 г. измервания и изчисленията чрез софтуера за СШК LIMA стойности на показателя L_{24} .

3. ИЗПОЛЗВАНА ИЗМЕРВАТЕЛНА ТЕХНИКА:

Измервателната апаратура е Клас 1 – 2 бр. шумомери тип 2250L, акустичен анализатор тип

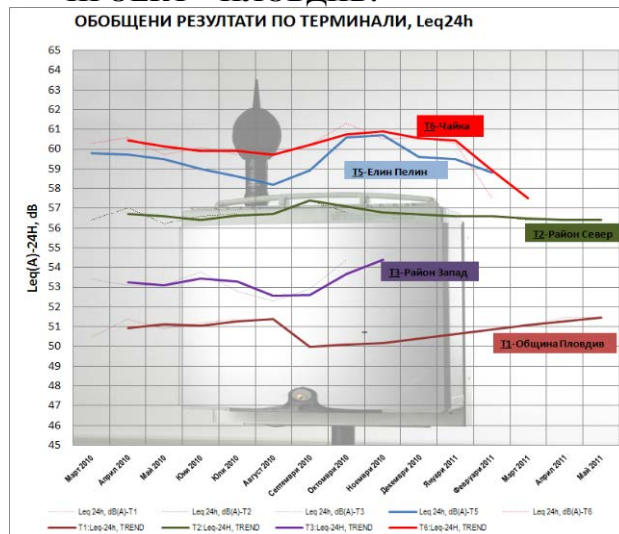
2250 в комплект с акустични калибратори тип 4231 (производство на Brüel & Kjær).



В периода между измерванията на шума (2008 – 2012 г.), на територията на агломерация София са настъпили множество промени в инфраструктурата и градоустройствената среда.

4. РЕЗУЛТАТИ

ПРОЕКТ – ПЛОВДИВ:

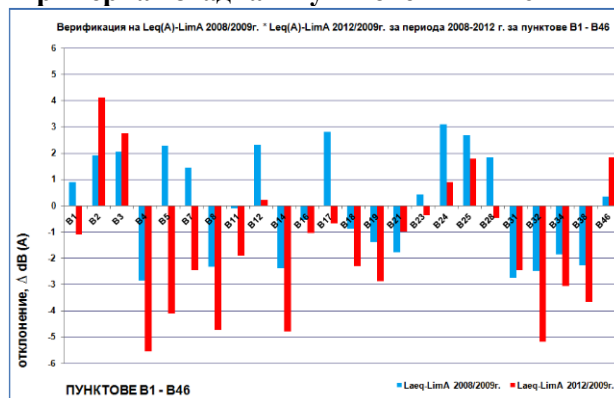


Непрекъснатият мониторинг на шума е единствения достоверен източник за проследяване развитието на акустичната ситуация в града. Комбинирано със система за обхващане на по-голям брой измервателни точки и разширяване обхвата на контрол, Община Пловдив е предприела и предвижда да предприеме интегриран подход с комплекс от конкретни мерки по целенасочено проследяване, планиране и редукция както на надграничното ошумяване, така и на и ошумяването смущаващо нормалния жизнен ритъм и комфорт на населението. В тази връзка, като част от интегрирания подход по дългосрочна редукция на шума в околната среда на град Пловдив, разработването на стратегическата карта за шум, както и на плановите за действие към нея в техния първоначално завършен вид и последващ методичен континуитет са предвидени да

оформят експертният фундамент за целенасочено и ефективно противошумово планиране.

ПРОЕКТ – СОФИЯ: РЕЗУЛТАТИ, ВЕРИФИКАЦИОННИ СТОЙНОСТИ

Примерна извадка – пунктове B1 – B46



5. ИЗВОДИ

ПРОЕКТ – ПЛОВДИВ: АНАЛИЗ, ИЗВОДИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ ПУНКТОВЕ С ПОВИШЕНА ШУМОВА ЕКСПОЗИЦИЯ:

Констатирана е запазена висока степен на шумово замърсяване в почти всички измервателни пунктове, като в някои от тях е изразено чувствителното повишаване на шумовата експозиция (A12, B9, C1, C6, D7).

ИНДИКАТИВНИ РЕЗУЛТАТИ ОТ СИСТЕМАТА ЗА НЕПРЕКЪСНАТ МОНИТОРИНГ НА ШУМА В ГР. ПЛОВДИВ:

Препоръчително обхвата на непрекъснат контрол и мониторинг на шума да бъде разширен – посредством интегрираната комбинация както от преместване на измервателните точки, така и от разширяване на броя измервателни терминали.

ИЗМЕРВАТЕЛНИ ПУНКТОВЕ С РЕГИСТРИРАН ЧУВСТВТЕЛНО ПО-ИНТЕНЗИВЕН ТРАФИК:

A9, A11, B5, B7, B10, B14, C1, C2, C6.

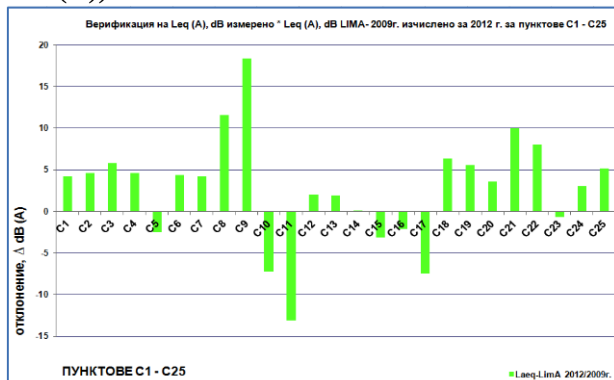
НЕОБХОДИМА Е ПРЕКАТЕГОРИЗАЦИЯ НА УЛИЦИ

Пункт №	2008-2009 – описание на пътя, бр. посоки, бр. ленти	2011 – описание на пътя, бр. посоки, бр. ленти
A8	2-посочен – по 2 ленти	2-осочен – по 4 ленти
A9	2-посочен – по 1 ленти	2-посочен – по 3 ленти

ПРОЕКТ – СОФИЯ: АНАЛИЗ, ИЗВОДИ

Точността на Стратегическата Карта за Шум (СКШ) на Столична Община в точките на верификация, които отговарят на инфраструктурната ситуация от 2008 – 2009 г. е в

допустимите според определения на “Европейската Шумова Директива” приемливи граници на първоначалните СКШ (отклонение до 3 dB(A)).



Точността в новопределените точки C1, C2, C3 и C25 (в близост до открити участъци на метро) е извън допустимите според определения на “Европейската Шумова Директива” приемливи граници на първоначалните СКШ (с верификационни отклонения от 3-6 dB(A)).

Точността в новопределените точки C8, C9 (до магистрала “Люлин”), както и C10 и C11 (в близост до инсталирани противощумови бариери – бул. “Брюксел”) е драстично извън допустимите според определения на “Европейската Шумова Директива” приемливи граници на първоначалните СКШ (с верификационни отклонения от 5-12 dB(A)).

Точността в новопределените точки C4, C6, C7, C17, C18, C19, C21 и C22 е извън допустимите според определения на “Европейската Шумова Директива” приемливи граници на първоначалните СКШ (с верификационни отклонения от над 3 dB(A)).

Необходимост от предефиниране в СКШ.

Като цяло отчитайки спецификата на гр. София (голяма по размери агломерация), както и имайки в предвид интензивните темпове на инфраструктурно развитие през последните години, може да се направи извода, че Стратегическата Карта за Шум в голям брой локации, а и като цяло вече **не отразява актуалната към 2012 г. акустична ситуация.**

Необходимо е предефиниране на СКШ и респективната ѝ локална, а също така и глобална актуализация.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] ДИРЕКТИВА 2002/49/ЕС на европейския парламент и на съвета от 25.06.2002 г. относно оценка и управление на екологичния шум (END).
- [2] Ръководство за добра практика за изготвяне на стратегически шумови карти и предоставяне на свързаните данни за шумова експозиция (разработена от работната група за шума към ЕС – WG-AEN, 13.01.2006);
- [3] Закон за защита от шума в околната среда (Обн. ДВ, бр.74/2005);

Данни за авторите:

(1) Борис Борисов Михайлов, Sound and vibration qualified expert (2001), инж.(1994), Електроника, Технически университет София, Brüel & Kjær University (2001). Съпредседател Българска Асоциация за Обществен Контрол и Управление на Шума, Управител СПЕКТРИ ЕООД.

INTERMEDIATE RESULTS OF THE SPECTRI OWN DEVELOPMENT FOR INTERNET BASED PUBLIC ACCESS TO A BRÜEL & KJÆR SYSTEM FOR URBAN NOISE MONITORING

Boris Mihaylov ¹⁾

¹⁾ SPECTRI Ltd., 30 “Teodosii Tarnovski” str., Sofia, 1421,
spectri@spectri.net, www.spectri.net

Abstract:

SPECTRI own project for Brüel & Kjær noise monitoring system web access and full public on-line application.

The purpose of the project is to build on the top of a Brüel & Kjær urban noise monitoring system a web based application with features to address from one hour to over one year data base values (such as LAeq, LAmax, LAmin, Lday, Levg, Lnight, Lden, L10, L90).

1. In each terminal a **hardware** modification is scheduled – by means of installing in the terminals of a Logging device, marketed with the name “Noise Data Logger, type SPH1”.

2. Interfacing to each terminal, as main final stage is a **software** on top application – securing constant data flow, data processing and web interfacing, marketed with the name “Noise Web Access, type SPS1”.

By the end of 2012 a first version of the system will be delivered and installed – to Plovdiv Municipality.

3. Additional information will be available on request – links to the strategic noise maps, further information / help.

Key words:

Noise, noise maps, noise monitoring

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2012”	Варна 10 - 12.10.2012 г. София 07 - 08.12.2012 г.
Година XIV	□ Брой 14	Декември 2012 г.

ПРЕДСТАВЯНЕ НА МЕЖДИННИ РЕЗУЛТАТИ НА СПЕКТРИ ЗА НЕПРЕКЪСНАТ МОНИТОРИНГ И ИНТЕРНЕТ ДОСТЪП КЪМ BRÜEL & KJÆR ИНСТРУМЕНТАРИУМ ЗА МОНИТОРИНГ НА ШУМ В ГРАДСКА СРЕДА

Борис Михайлов¹⁾

¹⁾ СПЕКТРИ ЕООД, ул. „Теодосий Търновски“ 30, София, 1421
spectri@spectri.net, www.spectri.net

Резюме:

Настоящият доклад разглежда собствената разработка на СПЕКТРИ ЕООД за реализация на базата на мониторингова система на Brüel & Kjær на обществено достъпен уеб портал за непрекъснат достъп до основна група базисни шумови данни (като LAeq, L_Amax, L_Amin, L_{day}, L_{evg}, L_{night}, L_{den}, L₁₀, L₉₀).

Във всеки терминал е инсталиран хардуерен комуникационен модул, разработка на СПЕКТРИ ЕООД, тип “Noise Data Logger, type SPH1”.

Осигурен е поток от данни до дистанционен уеб сървер, където е инсталирано наше приложение, тип “Noise Web Access, type SPS1”.

В приложението е достъпна и различен вид друг релевантна информация (за Стратегическата Шумова Карта, др.)

Ключови думи:

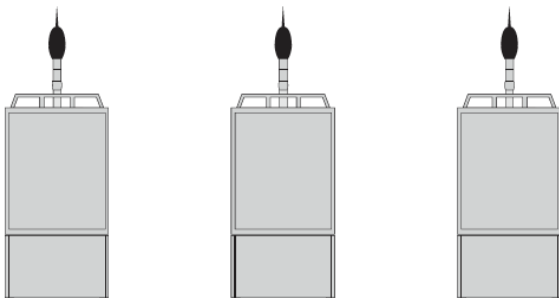
Шум, шумови карти, мониторинг на шум

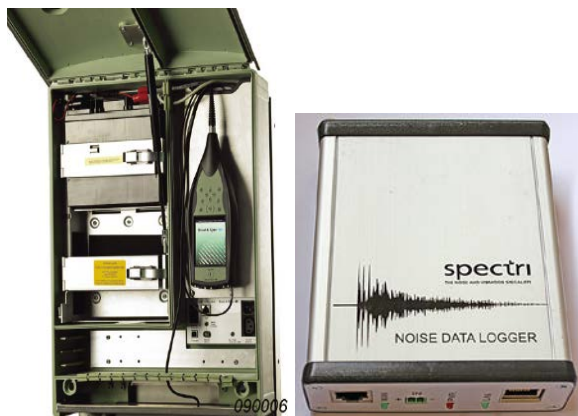
1. ВЪВЕДЕНИЕ

ПРОЕКТ – ПЛОВДИВ:

Проект – Спектри „Noise web access“

Хардуерно инсталиране на СПЕКТРИ хардуерен модул във всеки един от терминалите, "Noise Data Logger, type SPH1" (на български: "Логер за шумови данни, тип SPH1")





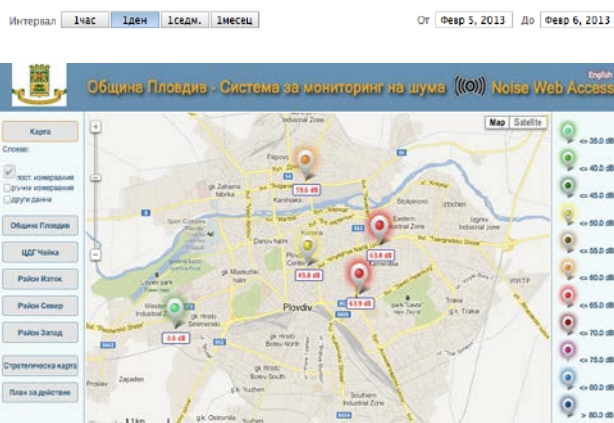
Устройството следи за подаваните от терминала данни през LAN интерфейс и ги архивира в енергонезависима памет. Честотата на приемане на данни е два пъти в секунда. Следва първичната обработка на данните те се изпращат през предварителни зададен интервал от време към "Noise Web Access, type SPS1" (на български: "Интернет достъп шумови данни, тип SPS1").

Хардуерното решение на СПЕКТРИ ЕООД е със следните основни характеристики:

- Поддръжка на криптирани протоколи за обмен на данни между клиента и сървъра.
- Поддръжка на протоколи за комуникация между терминали за измерване на шум и Логъра.
- Специализирана разработка на софтуер за следене на показателите на L_{Aeq} , dB(A) и съхраняването на данните. Последваща математическа обработка на получените данни.
- Алгоритъм за следене непрекъсваемостта на потока на данни. При прекъсване на връзката данните се съхраняват и се изпращат към сървъра при възстановяване на връзката.
- Система за самодиагностика и индикация при проблеми в работата на устройството и комуникацията между него и терминала или между него и сървъра.

2. ИЗГРАЖДАНЕ НА СЪРВЕРНО ИНТЕРНЕТ БАЗИРАНО ПРОСТРАНСТВО И СПЕКТРИ СОФТУЕРНО

ПРИЛОЖЕНИЕ, "Noise Web Access, type SPS1" (на български: "Интернет достъп шумови данни, тип SPS1"). Възможност за публичен достъп с визуализация на данните за пет броя терминали, собственост на Община Пловдив и част от системата за мониторинг на шум. Изчертаване на графика(и) / таблица(и) за L_{Aeq} – dB(A), както и таблица(и) за стандартизирани шумови индекси (L_{Amin} , L_{Amax} , L_{Aday} , L_{Aavg} , L_{Anight} , L_{den} , dB(A)), за: последен час, текущ ден, дневно, седмично, месечно, друго (история);



Подробна информация публикувана на <http://www.spectri.net/bg/actuals.html>



3. ДОПЪЛНИТЕЛНО, ПОТРЕБИТЕЛИТЕ ИМАТ ВЪЗМОЖНОСТ ЗА ДОТЪП И ДО СЛЕДНАТА ИНФОРМАЦИЯ:

- Провеждани периодични преносими измервания на шум в 50 бр. локации в града (за 2009/2010г., както и 2011г.). Измерванията се провеждат ежегодно с цел допълнителна верификация на "Стратегическата Карта за шум" на агломерация Пловдив, както и като част от

системата за актуализация на данните за акустичната среда в града.

➤ Достъп до актуалните и официално приети от Пловдивски Общински съвет “Стратегическа Карта за шум”, “План за действие” и респективните карти на шума;



4. ЛИТЕРАТУРА

[1] ДИРЕКТИВА 2002/49/ЕС НА ЕВРОПЕЙСКИЯ ПАРЛАМЕНТ И НА СЪВЕТА ОТ 25.06.2002 г. ОТНОСНО ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ НА ЕКОЛОГИЧНИЯ ШУМ (END).

[2] Ръководство за добра практика за изготвяне на стратегически шумови карти и предоставяне на свързаните данни за шумова експозиция (разработена от работната група за шума към ЕС – WG-AEN, 13.01.2006);

[3] Закон за защита от шума в околната среда (Обн. ДВ, бр.74/2005);

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО И ТЕОРЕТИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕМИТИРАНИЯ ШУМ В ПРИСТАНИЩЕ ОТ АКОСТИРАЛ КОРАБ

Христо Драганчев¹⁾, Милчо Георгиев²⁾ Борис Михайлов³⁾

¹⁾ ТУ-Варна, ул. "Студентска" 1, гр. Варна 9010, hristo.draganchev@tu-varna.bg

²⁾ ТУ-София, бул. „Кл. Охридски“ 8, София 1700, mtge@tu-sofia.bg

³⁾ СПЕКТРИ ЕООД, ул. „Теодосий Търновски“ 30, София, 1421; spectri@spectri.net, www.spectri.net

Резюме: Оценка на нивото на шума излъчван по време на преминаването на плавателни съдове в реки и канали и в акваторията, и въздействието върху населените места в близост до пристанищата, съгласно изискванията на ЕС регламенти, не се извършва. Анализът на съществуващите стандарти и регламенти показва, че не съществуват разпоредби относно външния шум от плавателни средства. Проведени са експериментални изследвания и моделиране на излъчения шум от многоцелеви товарен кораб – 8000 t dW. Директива 2002/49/ЕО на Европейския парламент и на Съвета на Европа [1], определя общ подход за избягване и предотвратяване на вредното въздействие на различни видове шум в околната среда. Акцентът на директивата, както и от Регламент №6 [2] на Министерството на здравеопазването и на околната среда и водите на Република България, е върху въздействието на шума породен от: <> Автомобилен трафик по пътищата; <> Железопътен трафик; <> Въздушен трафик; <> Местни промишлени източници на шум. Въздействието на шума от кораби при преминаването им по реките и каналите, както и по време на престоя им в пристанището, не е регламентиран. Шум, излъчван от корабите в пристанището се отъждествява с шума от локални и промишлени източници.

Ключови думи: Шумови емисии в околната среда от кораби, моделиране и оценка на шума.

1. Метод за измерване на шума отвън от търговски кораби

Измерването на шума, излъчван от многоцелеви товарен кораб акостирали в пристанище, включва измерване на А-средно претегленото еквивалентно ниво на шум за период от една минута и измерване на 1/3-октавните нива на шума. Измерванията на шума са извършени в N на брой участъци по протежение на кораба, разстоянието между две съседни секции е равна на 6 m за плавателни съдове с дължина между перпендикуляра $L_{pp} < 100$ m или 12 m за плавателни съдове с дължина между перпендикулярите $L_{pp} \geq 100$ m. Шумът в околната среда на пристанището се измерва на разстояние от 1 m, 12 m и 25 m, странично на кораба и включва: - измерване на шума при работещи дизелов генератор (DG) и вентилатори на машинното отделение (ERV); - измерване на шума, при работещи дизелов генератор, вентилатори на машинното отделение, и на товарните отсеци; - измерване на фоновия шум при изключени дизелов генератор, вентилатори на машинното отделение и

поддържащите вентилатори, климатичната система и други морски съоръжения (изключване на електрозахранването на кораба). Измерванията са проведени с преносим ръчен анализатор на шум на Bruel&Kjaer тип 2250, като предвид ширината на кейовото място шумът е измерен на разстояние 1 m, 11 m и 19 m.

В началният етап на обработка на резултатите от измерването, с оглед коригиране на стойностите на нивата на шума, измерени във всяка точка, се определя в зависимост от разликата между нивото на шума на кораба и нивото на фоновия шум в същата точка $\Delta L = L_m - L_{BGRD}$, се определя като следва: когато $\Delta L \geq 10$ dB, $\Delta L_{cor} = 0$ dB; когато 6 dB $\leq \Delta L < 10$ dB, $\Delta L_{cor} = -1$ dB; когато $\Delta L < 6$ dB, измерването е невалидно [3]. $L_{A,m}$ – измерване на А-претеглено ниво на шума в точки на пристанището излъчван от акостиралия кораб, dB (A). Като се има предвид невъзможността да се отменят всички други дейности в пристанището, излъчващи шум, за случаите, когато $\Delta L = L - L_{BGRD} < 6$ dB, се

извършва коригиране на нивата на шума чрез адаптиране на октавните нива на шум:

$$\Delta L_{cor} = -5.05479E-04\Delta L^5 + 1.76118E-02\Delta L^4 - 2.40761E-01\Delta L^3 + 1.65136E+00\Delta L^2 - 6.11256E+00\Delta L + 1.16773E+01. \quad (1)$$

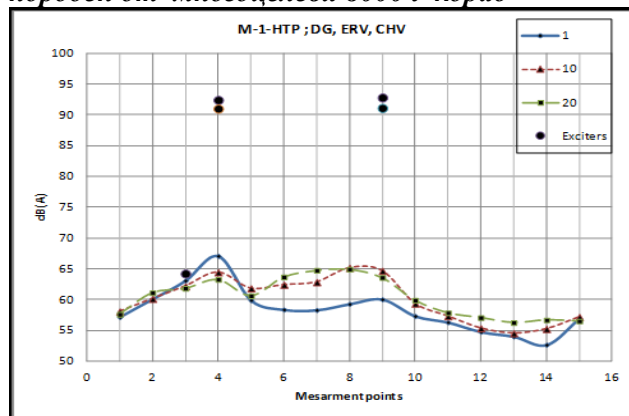
Коригираното А-претеглено средно еквивалентно ниво на шум в точката на измерване се определя от:

$$L_{Aeq} = 10\lg(100.1((L_{31.5} - 39.4) + (L_{63} - 26.2) + (L_{125} - 16.1) + (L_{250} - 8.6) + (L_{500} - 3.2) + (L_{1k} - 0) + (L_{2k} + 1.2) + (L_{4k} + 1) + (L_{8k} - 1.1))), \quad (2)$$

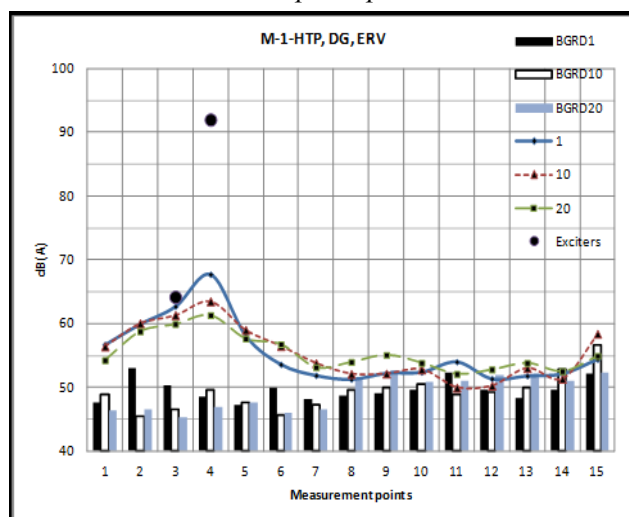
където $L_{31.5} \div L_{8k}$ са измерените нива на шум в октавните ленти от 31.5 Hz до 8 kHz.

2. Резултати от измерване на шума, излъчван от товарни кораби.

- Измерване на шума на пристанище, породен от многоцелеви 8000 t кораб



Фиг.1 Еквивалентни нива на шум - DG и ERV вентилаторите работят



Фиг.2 Еквивалентни нива на шум - DG и ERV вентилаторите и вентилаторите на товарните отсеци работят

Анализът на резултатите от измерения шум, излъчван от многоцелеви товарен кораб акостира в пристанището, показва следното:

- Нивото на шума, излъчван от кораба в рамките на пристанището (Фиг.1 и 2) се определя от действието на ERV вентилаторите и вентилаторите на товарните трюмове;

- Въздействието на шума от изпускателния колектор на дизел-генератора, излъчван от кораба в пристанището е ниска;

- Нивото на шума, излъчван от кораба е в интервала 55.65 - 70.3 dB, като е най-високо в зоната на точка 4 – на 1 m е 70.3 dB, а на 19 m е 63.13 dB и съответства на производствено складови територии и зони съгл. Наредба 6 [2]. Това високо ниво се дължи на разположението на клапата на смукателя на вентилатора (Фиг. 2).

3. Въздействие от шума спрямо максималните допустими стойности

№	Територии и устройствени зони в урбанизираните територии и извън тях	Еквивалентно ниво на шума в dB(A)		
		ден	вечер	нощ
1	Жилищни зони и територии	55	50	45
2	Централни градски части	60	55	50
3	Територии, подложени на въздействието на интензивен автомобилен трафик	60	55	50
4	Територии, подложени на въздействието на релсов железопътен и трамваен транспорт	65	60	55
5	Територии, подложени на въздействието на авиационен шум	65	65	55
6	Производствено-складови територии и зони	70	70	70
7	Зони за обществен и индивидуален отдих	45	40	35
8	Зони за лечебни заведения и санаториуми	45	35	35
9	Зони за научно изследователска дейност	45	40	35
10	Тихи зони извън агломерациите	40	35	35

Забележка: Граничната стойност на максималното ниво на шума при прелитане на летателно средство над определена територия е 85 dB(A).

Табл.1 Гранични стойности на нивата на шума в различните територии и устройствени зони в урбанизираните територии и извън тях

4. Резултати от изчисленията

Изчисленията са проведени с LimA - 5VER (Bruel&Kjaer), софтуер за моделиране и изчисляване на показателите на шум в околната среда от автомобилен, железопътен и авиационен транспорт и индустриален шум.

LimA включва разширено манипулиране и обработка на геометрични данни и позволява ефективно да се изпълняват големи по площ, точни изчисления на шума от съществуващите източници, както за отделните източници, така и за общия шум от тях за отделните части на денонощието. LimA предлага голям брой средства за въвеждане и извеждане, включително и на въвеждане и оптимизиране на геометрични данни (например, от GIS и CAD).

Изходните резултати от изчисленията на шума в околната среда се представят в табличен и графичен вид с цифрови, растерни или векторни изображения, като се използват следните методи: • NMPB (XPS-FER 31-133) за шума от пътния трафик; • RLM2 (SRM II) за шума от железопътния трафик; • ISO 9613 (+ ISO 8297Q 1994 + EN ISO 3744Q 1995 + EN ISO 3746Q 1995) за промишлен шум; • ECAC Doc29 за шума от въздушния трафик.

Адаптиране на метода за определяне на необходимите входни данни – определяне на нивата на шум от източниците и на звуковата им мощност, и създаване на 3D модел на кораб във водна среда, акостира в пристанище и терена на бреговата ивица, настилка, сгради и др. (Shape files) – за терен с размери 830 m дължина и 730 m ширина при дължина на кораба 123 m:

а) разположение, височина и насоченост на източниците на кораба; б) обща звукова мощност на всеки източник; в) продължителност на работа; г) цифров модел на терена, сгради, бариери и др. обекти - във векторни слоеве; д) характеристика на земната повърхност; е) местоположение на измервателните точки.

В положение на неподвижност кораба може да се третира като промишлена сграда обградена с вода (отразяваща повърхност) и земен терен с частично звукопоглъщане. Източниците на шум са от вентилационните системи и двигателя и представляват отвори, разположени на кораба, които се третират като точкови източници с установено дефинирано ниво на звуково налягане. Корабът се моделира като 2D^{1/2} обект - дефинират се очертанията на кораба на различните нива и за всяко ниво се дефинира височина на разположение спрямо основата (третира се като сграда). Изчисление със стъпка 1 m по хоризонтала и 1.5 m по вертикала (Фиг.3).

Резултатите от изчисленията на нивата на шум, при моделиране на кораб акостира в пристанище (LimA – IND model) са както следва:

Point Label	Lp dB (A)		Point Label	Lp dB(A)		Point Label	Lp dB(A)	
	Measured	Calculated		Measured	Calculated		Measured	Calculated
I-01	57,8	55,64	II-01	56,8	58,73	III-01	57,06	54,69
I-02	59,1	55,72	II-02	63,9	58,24	III-02	60,5	55,94
I-03	66,6	59,14	II-03	67,5	57,4	III-03	62,83	56,32
I-04	70,3	68,49	II-04	69,1	58,53	III-04	63,13	56,76
I-05	62,1	58,85	II-05	65,1	58,61	III-05	64,94	57,05
I-06	60,7	55,38	II-06	64,4	57,12	III-06	64,41	56,97
I-07	60,7	56,29	II-07	65	58,69	III-07	65,43	57,96
I-08	60,7	58,33	II-08	67,1	60,34	III-08	66,05	59,04
I-09	62,4	61,44	II-09	67,9	63	III-09	66,28	60,49
I-10	61,7	62,88	II-10	65,4	63,78	III-10	65,43	60,59
I-11	58,1	60,99	II-11	61,4	61,7	III-11	59,68	60,7
I-12	55,9	58,8	II-12	57,5	60,63	III-12	60,25	58,96
I-13	58,6	58,92	II-13	58,3	59,5	III-13	59,04	60,07
I-14	57,6	58,66	II-14	55,8	58,5	III-14	56,72	59,87
I-15	57,1	58,69	II-15	56,2	58	III-15	55,65	57,67

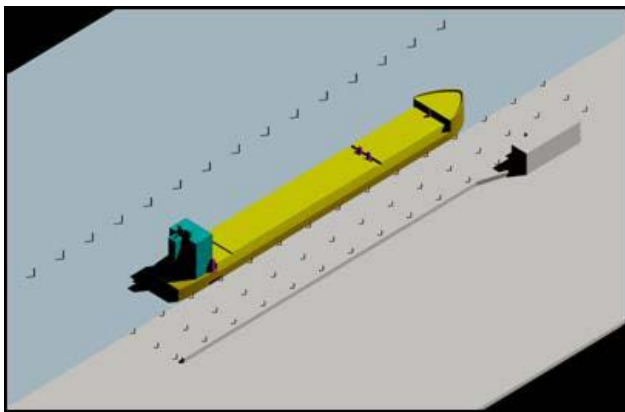
Табл.2 Нива на шум в точките на измерване, 3 m

Изменението на нивото на шум в измервателните точки е дадено в табл. 2 и 3.

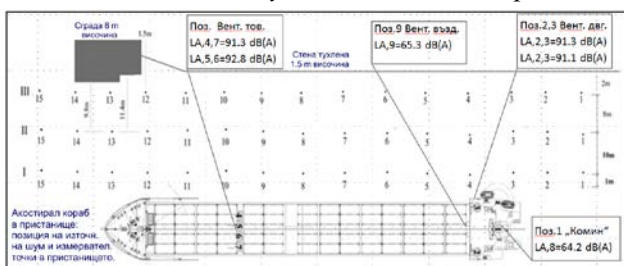
Ниво на шум в измервателните точки Lp, dB							
Z=1.5 m		Z=3 m		Z=4.5 m		Z=6 m	
Point	Lday	Point	Lday	Point	Lday	Point	Lday
I-01	55.3	I-01	55.6	I-01	55.7	I-01	56.1
I-02	54.4	I-02	55.7	I-02	56.5	I-02	56.6
I-03	58.2	I-03	59.1	I-03	60.1	I-03	60.6
I-04	66.5	I-04	68.5	I-04	69.5	I-04	71.6
I-05	55.3	I-05	56.9	I-05	58.2	I-05	58.6
I-06	53.8	I-06	55.4	I-06	57.4	I-06	57.3
I-07	53.3	I-07	56.3	I-07	59.5	I-07	59.7
I-08	54.4	I-08	58.3	I-08	62.1	I-08	62.6
I-09	58.1	I-09	61.4	I-09	65.8	I-09	66.6
I-10	59.2	I-10	62.9	I-10	66.9	I-10	68
I-11	56.7	I-11	61	I-11	64.9	I-11	65.5
I-12	54.5	I-12	58.8	I-12	62.7	I-12	63.1
I-13	56.4	I-13	58.9	I-13	62.1	I-13	64.7
I-14	54.5	I-14	58.7	I-14	60.8	I-14	63
I-15	57.5	I-15	58.7	I-15	60	I-15	61
II-01	58.5	II-01	58.7	II-01	57.7	II-01	57.8
II-02	55.9	II-02	56.2	II-02	56.6	II-02	56.7
II-03	56.9	II-03	57.4	II-03	57.9	II-03	58.2
II-04	57.9	II-04	58.5	II-04	59.1	II-04	59.5
II-05	57.8	II-05	58.6	II-05	58.7	II-05	58.9
II-06	56.5	II-06	57.1	II-06	57.7	II-06	57.6
II-07	57.7	II-07	58.7	II-07	59.4	II-07	59.3
II-08	59.3	II-08	60.3	II-08	61	II-08	61.1
II-09	62.2	II-09	63	II-09	63.2	II-09	63.5
II-10	63.1	II-10	63.8	II-10	63.9	II-10	63.8
II-11	60.6	II-11	61.7	II-11	62.5	II-11	62.5
II-12	59.7	II-12	60.6	II-12	61.4	II-12	61.4
II-13	58.6	II-13	59.5	II-13	60.2	II-13	60.2
II-14	58.4	II-14	58.5	II-14	59	II-14	59
II-15	57.1	II-15	58	II-15	58.7	II-15	59.2
III-01	54.6	III-01	54.7	III-01	54.9	III-01	54.9
III-02	56.8	III-02	55.9	III-02	56.2	III-02	56.3
III-03	56.5	III-03	56.3	III-03	56.6	III-03	56.8
III-04	56.6	III-04	56.8	III-04	57.1	III-04	57.3
III-05	56.8	III-05	57.1	III-05	56.8	III-05	57
III-06	56	III-06	57	III-06	57.2	III-06	57.2
III-07	58.9	III-07	58	III-07	58.3	III-07	58.3
III-08	59.9	III-08	59	III-08	59.5	III-08	59.4
III-09	61.7	III-09	60.5	III-09	60.7	III-09	60.8
III-10	61.5	III-10	60.6	III-10	60.8	III-10	61.1
III-11	61.6	III-11	60.7	III-11	61.1	III-11	61.1

Табл.3 Нива на шум в точките на измерване за височини 1.5m, 3m, 4.5m и 6m от ниво на водата.

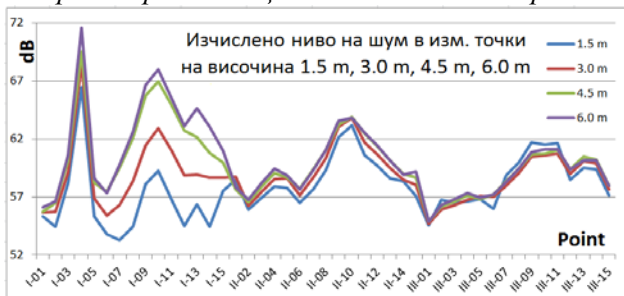
На фиг.5 са дадени изчислените шумови карти.



Фиг.3а 3D модел на акустириания кораб, както и сградите и стената взети под внимание при изчисляване на шума излъчван от кораба

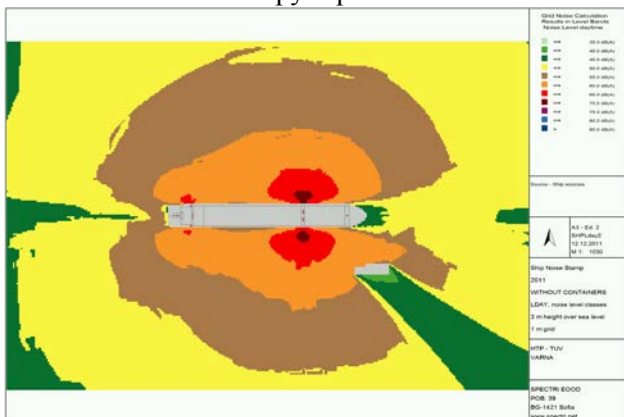


Фиг.3б Схема на разположение на акустирирал кораб в пристанище и точките на измерване

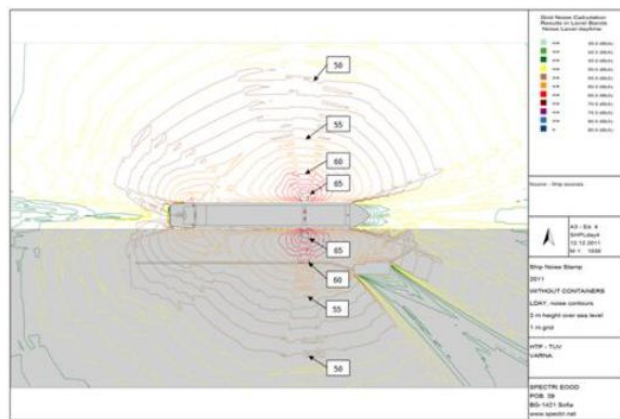


Фиг.4 Изменение на нивото на шум в измервателните точки по височина.

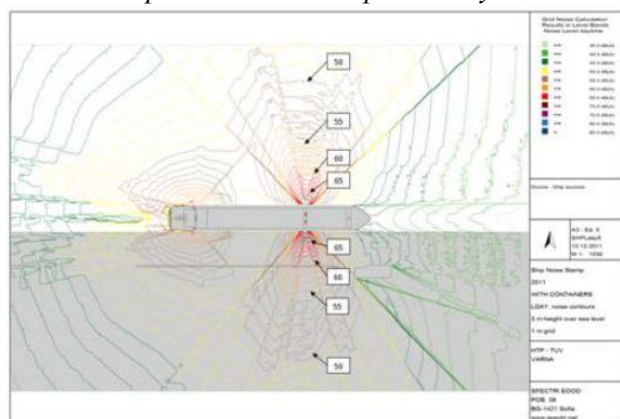
С увеличаване на отстоянието от кораба, нивото на шум намалява, а с увеличаването на височината нивото на шум след първия ред точки намалява и се групира към нивото на 1.5 м.



Фиг.5 Карти на шума, излъчван от кораб в района на Булярд, със стъпка от 1dB



Фиг.5а Шумова карта на нивата на шума от кораб без контейнери на палубата



Фиг.5б Шумова карта на нивата на шума от кораб с контейнери на палубата

4. Изводи и препоръки

Резултатите от изчисленията са близки до измерените в контролните точки на отстояние от 1 m, 10 m и 20 m (Табл.2). Видно е, че изменението на нивата на шум на отстояние 20 m и на височина 1.5, 3, 4.5 и 6 m, се групират в интервала 54.6 – 61.7 dB (Табл.3, Фиг.4).

Тези нива са над изискванията съгласно Наредба 6 за жилищни зони и територии (45-55 dB), което дава основание за бъдещо регламентиране и на територии подложени на въздействието на воден транспорт с оглед опазване на тихите зони до морската територия.

5. Литература

- 2002/49/EC Directive of the European Parliament and the Council of Europe dated 25 June 2002 about evaluation and management of environmental noise.
- Наредба No.6 от 26 юни 2006 г. за показателите на шум в околната среда, отчитащи степента на дискомфорт през различните части на денонощието, граничните стойности на показателите на шум в околната среда, методите за оценка на стойностите на показателите за шум и на вредните ефекти от шума върху здравето на населението.
- The Predictor – LimA, Software Suite, ver.5, Bruel&Kjaer, DENMARK.

Данни за авторите:

- (1) доц. Д-р инж. Христо Драганчев, Технически университет Варна, КФ, катедра КММ
(2) доц. Д-р инж. Милчо Тодоров Георгиев, Технически университет София, МФ, Катедра ОТСК.
(3) инж. Борис Борисов Михайлов, Sound and vibration qualified expert (2001), инж.(1994), Електроника, Технически университет София, Brüel & Kjær University (2001). Съпредседател Българска Асоциация за Обществен Контрол и Управление на Шума, Управител СПЕКТРИ ЕООД.

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL RESEARCH OF NOISE EMITED BY MERCHANT SHIPS IN THE PORT

Hristo Draganchev ¹⁾, Milcho Georgiev ²⁾ Boris Mihaylov ³⁾

¹⁾ Technical University of Varna, 1 Studentska str., 9000 Varna, Bulgaria, hristo.draganchev@tu-varna.bg

²⁾ Technical University of Sofia, 8, Kliment Ohridski blvd., 1700 Sofia, mtge@tu-sofia.bg

³⁾ SPECTRI Ltd., 30 "Teodosii Tarnovski" str., Sofia, 1421, spectri@spectri.net, www.spectri.net

Summary: Assessing the level of noise emitted during the passage of vessels in the rivers and canals in the aquatic environment and the impact on settlements near to ports as required by the EU regulations is not performed. Analysis of existing standards and regulations shows that there aren't provisions for extraneous noises from vessels. There have been experimental studies and modeling of noise emission on multi-purpose cargo ship 8000 t dW. Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of Europe [1] defines a common approach to avoiding and preventing the adverse effects of various types of environmental noise. The focus of the Directive and Regulation № 6 [2] Department of Health and Environment and Water of Bulgaria, on the impact of noise generated from:
<> Road traffic; <> Rail traffic; <> Air traffic ;<> Local industrial noise sources.

The impact of noise from ships they pass along the rivers and canals, as well as during their stay in port is not regulated. Noise emitted by vessels in the port identified with local noise and industrial sources.

Key Words: Noise emission in the environment, modeling and evaluation of noise.