

ISSN 1312-4897

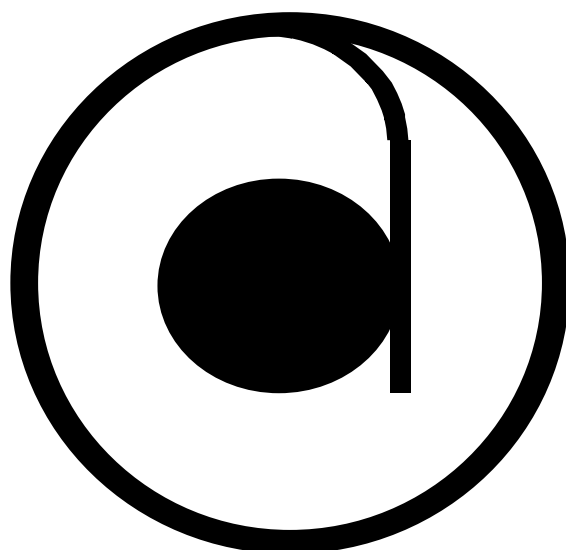
АКУСТИКА

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

Година XIX

□ Брой 19

Декември 2017 год.



НАЦИОНАЛНА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКА КОНФЕРЕНЦИЯ

АКУСТИКА 2017

*10-11.10.2017 г.
Варна*

*01-02.12.2017 г.
София*

НАЦИОНАЛНА СЕКЦИЯ ПО АКУСТИКА
ТУ-СОФИЯ - Лаб. „Вибрации и акустичен шум“
ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ-ВАРНА
БЪЛГАРСКА АСОЦИАЦИЯ ЗА ОБЩЕСТВЕН КОНТРОЛ И
УПРАВЛЕНИЕ НА ШУМА
СЪЮЗ ПО ЕЛЕКТРОНИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И СЪОБЩЕНИЯ,
ИНСТИТУТ ПО МЕХАНИКА-БАН
СПОНСОР фирма СПЕКТРИ ЕООД

Организационен комитет:

Председател: проф. д-н М. Миховски

Зам. председател: проф. д-р И. Кралов, доц. д-р Ек. Сираков, инж. Борис Михайлов

Научни секретари: доц. д-р Й. Иванова, ас. маг. инж. Х. Живомиров

Членове: проф. д-н В. Иванов, доц. д-р Г. Евстатиен, н.с. В. Топалова,
доц. д-р Хр. Драганчев, н.с. инж. П. Янев

Секретари: инж. Г. Кулишев, д-р инж. Й. Мирчев, инж. А. Пискова

ТЕМАТИКА:

Фундаментални и научно-приложни проблеми на акустиката:

Физическа акустика, шум в околна/работна среда;

Електроакустика; строителна акустика; акустика на зали,

Обработка на звукови сигнали;

Хидроакустика;

Акустични и ултразвукови методи за изследване на материали и изделия
(безразрушителен контрол);

Стратегически шумови карти;

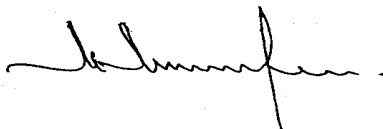
Непрекъснат вибрационен мониторинг на въртящи се машини и съоръжения;

Вибрации - анализ и/или диагностика на машини и сгради;

Въздействието на шум и вибрации върху човека.

В списание Акустика, год. XIX, бр.19, 2017 г. са отпечатани
докладите, включени в научната програма на
Националната конференция “Акустика 2017”,
проведена във Варна на 10-11.10.2017 г. и
в София на 01-02.12.2017 г.

Председател на Програмния комитет:



(проф. д-н М. Миховски)

ISSN 1312-4897

Редакционна колегия: проф. д-н М. Миховски, проф. д-р И. Кралов, инж. Б. Михайлов, доц. д-р Хр. Драганчев, доц. д-р Ек. Сираков, доц. д-р Й. Иванова

Издателство: Съюз по електроника, електротехника и съобщения, Национална секция по акустика, София, 2017 г.

СЪДЪРЖАНИЕ

1	Михайлов Б. ЕВОЛЮЦИЯ И РАЗШИРЯВАНЕ НА СОБСТВЕНОТО РЕШЕНИЕ НА СПЕКТРИ ЕООД ЗА ИЗМЕРВАНЕ, МОНИТОРИНГ И ИЗОБРАЗЯВАНЕ В РЕАЛНО ВРЕМЕ НА ПАРАМЕТРИ НА ОКОЛНАТА СРЕДА (ШУМ, ВИБРАЦИИ, ПРАХ, МЕТЕО ДАННИ, ДРУГИ) - WEBNOISE.EU.	6 - 9
2	Михайлов Б. ПРЕДСТАВЯНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ И ИЗВОДИТЕ ОТ РЕГУЛЯРНИЯ ВТОРИ АКУСТИЧЕН ПРОЕКТ ЗА НУЖДИТЕ НА “ЛЕТИЩЕ СОФИЯ”, РЕАЛИЗИРАН ОТ ОТ СПЕКТРИ ЕООД - ЧАСТ ОТ ПРОВЕЖДАНЯ ПОСТОЯНЕН МОНИТОРИНГ И УПРАВЛЕНИЕ НА ШУМА В ОКОЛНАТА СРЕДА, ОТ “ЛЕТИЩЕ СОФИЯ” ЕАД	10 - 13
3	Михайлов Б. МЕТРОЛОГИЧНО ОСИГУРЯВАНЕ, КОНФИГУРАЦИЯ И СТАРТИРАНЕ НА НОВО СПЕКТРИ ТЕХНИЧЕСКО НАПРАВЛЕНИЕ – ЛАБОРАТОРИЯ ЗА КАЛИБРИРАНЕ НА ШУМОМЕРИ, КАЛИБРАТОРИ И ШУМОВИ ДОЗИМЕТРИ “СПЕКТРИ-ЛАБ”. СЪЗДАВАНЕ НА СОБСТВЕНИ МЕТОДИКИ И ПРИЛАГАНЕ НА РЕСПЕКТИВНИТЕ МЕЖДУНАРОДНИ СТАНДАРТИ	14 - 18
4	Михайлов Б., М. Джамбазов ИЗПЪЛНЕНИЕ НА ИЗИСКВАНИЯТА ЗА АКРЕДИТАЦИЯ НА ИА „БСА“ И ИЗИСКВАНИЯТА НА СТАНДАРТА ISO/IEC 17020:2012 НА ОРГАН ЗА КОНТРОЛ ОТ ВИД С „СПЕКТРИ-ИЗМЕРВАНИЯ“ при СПЕКТРИ ЕООД	19 - 23
5	Андреев П., Е. Беков НОВИ МЕТОДИ И ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНСКАТА УЛТРАЗВУКОВА ДИАГНОСТИКА	24 - 27
6	Андреев Пл. ПРОЕКТИРАНЕ НА КОНВЕКСЕН УЛТРАЗВУКОВ ТРАНСДЮСЕР ЗА МЕДИЦИНСКА ДИАГНОСТИКА	28 - 31
7	Илиев И. СИГНАЛЕН ПРОЦЕСОР НА ШИРОКОЛЕНТОВИ АКУСТИЧНИ СИГНАЛИ ВЪВ ВРЕМЕННО ЧЕСТОТНАТА ОБЛАСТ	32 - 35
8	П.Чукачев ВЪЗМОЖНОСТ ЗА КОМПЛЕКСНО ИЗПОЛЗВАНЕ НА УЛТРАЗВУКОВИ МЕТОДИ ЗА ОЦЕНКА НА МЕХАНИЧНОТО НАПРЕГНАТО СЪСТОЯНИЕ НА ГАЗОПРОВОДИ	36 - 40
9	Бондаренко А.И., А.Л. Шекеро, А. Алексиев, В. Кавърджиков ОСОБЕНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ НАПРАВЛЕННЫХ ВОЛН С НЕСПЛОШНОСТЯМИ В ТРУБОПРОВОДАХ	41 - 44
10	Мирчев Й., П. Найденова, М. Алиев, Ив. Маринова ОЦЕНКА НА ШУМОВИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА СТРОИТЕЛНИ ЕЛЕМЕНТИ ПРОИЗВЕДЕНИ ОТ „ВАЙС ПРОФИЛ“	45 - 48
11	Марков Г., Е. Сираков ТЕОРИТИЧЕН АНАЛИЗ НА ПРОСТРАНСТВЕНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА	49 - 52

	КРЪГЪЛ БУТАЛЕН АКУСТИЧЕН ПРЕОБДАЗУВАТЕЛ С КОНУСНА ФОРМА НА МЕМБРАНАТА	
12	Марков Г., Е. Сираков ТЕОРИТИЧЕН АНАЛИЗ НА ЗВУКОВОТО НАЛЯГАНЕ ПО ОСТА НА ИЗЛЪЧВАНЕ НА КРЪГЪЛ БУТАЛЕН АКУСТИЧЕН ПРЕОБДАЗУВАТЕЛ С КОНУСНА ФОРМА НА МЕМБРАНАТА В БЛИЗКАТА ЗОНА	53 - 56
13	Данева Пр. РАЗПОЗНАВАНЕ НА ХАРАКТЕРИСТИЧНА МЕЛОДИЯ НА БИОАКУСТИЧНИ СИГНАЛИ	57 - 60
14	Сивков Й. А. ГЕНЕРАТОР НА ПРИЗНАКОВИ ВЕКТОРИ НА БАЗАТА НА ХИДРОАКУСТИЧЕН ОБРАЗ ЗА ОБУЧЕНИЕ НА НЕВРОННА МРЕЖА	61 - 63
15	Сивков Й. А. КРАЕН КЛАСИФИКАТОР НА СИГНАЛИТЕ ОТ ИЗХОДА НА НЕВРОННА МРЕЖА ЗА ОБРАБОТКА НА ХИДРОАКУСТИЧНИ СИГНАЛИ	64 - 67
16	Ковтун В., М. Миховски, Ю. Плескачевский, В. Банний ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ГРАДИЕНТНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ	68 - 71
17	Колев Н. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЕХОЛОКАЦИЯ С ЧЕСТОТНО МОДУЛИРАНИ НЕПРЕКЪСНАТИ СИГНАЛИ	72 - 74
18	Коларов И. ВИБРОАКУСТИЧНО РЕГИСТРИРАНЕ НА ТИПИЧНИ ДЕФЕКТИ В АЛУМИНИЕВ ДЕТАЙЛ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ПОМПИ	75 - 76

ПРОДУКТИ И УСЛУГИ В ОБЛАСТТА НА ШУМА И ВИБРАЦИИТЕ

Фирма СПЕКТРИ Ви предлага доставки, консултантски услуги и експертизи за мониторинг, измервания и анализ на вибрации, шум, процес - параметри

spectri!

Специалистите по шум и вибрации

ОСНОВНИ ПАРТНЬОРИ



Българска Асоциация
за Обществен Контрол
и Управление на Шума
www.nonoise-bg.com



Eesiflo • www.eesiflo.com



PCH Engineering A/S
www.pch-engineering.dk



Odeon • www.odeon.dk



BEYOND MEASURE

Brüel & Kjær S&V A/S
www.bksv.com



InstanTel • www.instanTel.com

СЕРТИФИКАЦИОННА И КВАЛИФИКАЦИОННА ОБЕЗПЕЧЕНОСТ



СПЕКТРИ ЕООД предлага сертифицирани услуги по проектиране, производство, инженеринг, поддръжка, сервиз, търговия и доставка на решения, експертизи, измервателна апаратура, софтуер за шум и вибрации и процес-параметри. Инсталации и настройки, обучение и консултации. Измерване, анализ, диагностика, контрол и оценка на съответствието с високо качествено метрологично проследимо оборудване. Акредитирани измервания съгласно БДС EN ISO / IEC 17020:2012 от ИА „БСА“



СПЕКТРИ ОФИС: 1421 – СОФИЯ П. К. 39; ТЕЛ.: 02 963-0464; ФАКС: 02 963-1074; E-MAIL: SPECTRI@SPECTRI.NET
www.spectri.bg • www.шумомер.eu • www.шум.eu • www.вибромер.eu • www.вибрации.eu • www.webnoise.eu



www.spectri.net

ЕВОЛЮЦИЯ И РАЗШИРЯВАНЕ НА СОБСТВЕНОТО РЕШЕНИЕ НА СПЕКТРИ ЕООД ЗА ИЗМЕРВАНЕ, МОНИТОРИНГ И ИЗОБРАЖАВАНЕ В РЕАЛНО ВРЕМЕ НА ПАРАМЕТРИ НА ОКОЛНАТА СРЕДА (ШУМ, ВИБРАЦИИ, ПРАХ, МЕТЕО ДАННИ, ДРУГИ) - WEBNOISE.EU.

PRESENTATION OF SPECTRI OWN SOLUTION FOR MEASUREMENT, MONITORING, AND REAL TIME DISPLAY OF ENVIRONMENTAL PARAMETERS (NOISE, VIBRATIONS, DUST, METEEO DATA, ETC.) – WEBNOISE.EU APPLICATIONS IN BURGAS, PLOVDIV, OTHERS

Борис Михайлов¹⁾

1) СПЕКТРИ ЕООД, ул. „Св. Теодосий Търновски“ 30, София, 1421, spectri@spectri.net, www.spectri.net

Abstract: In the recent paper is presented an overall information, and are highlighted current results re. the started in 2012 SPECTRI project for creation of integrated portal approach for on-line monitoring and internet access to measurement data for environmental parameters. Presented is the R&D SPECTRI activity, and used system integrated approach for cloud on line monitoring of environmental and industrial parameters. Latest new for product WEBNOISE.eu – actual as of 2017.

Key words: Environmental parameters, noise, vibrations, dust, meteo data, pH, monitoring, cloud service, WEBNOISE, ESMU.

Резюме: В този документ се дава обща информация и се проследяват текущите резултати на стартирания през 2012 г. СПЕКТРИ ЕООД проект по създаване на интегрален системен портален подход за непрекъснат мониторинг и интернет достъп до измервателен инструментариум за мониторинг на параметри на околната среда, както и за общ цялостен облачен мониторинг на параметри на околната и производствена среда. Последни новини за продукта WEBNOISE.eu – към 2017г.

Ключови думи: параметри на околната среда, шум, вибрации, прах, метеорологични данни, киселинност, мониторинг, облачна услуга, WEBNOISE, ESMU.

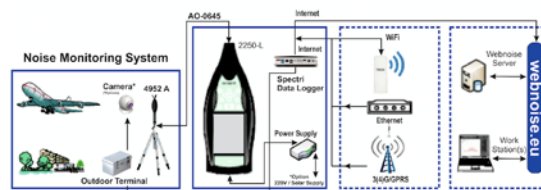
Системата за непрекъснат мониторинг е реализирана на основата на няколко мониторингови терминали на шум в околната среда, с микрофон за работа на открито на Brüel & Kjær, както и последващото им интерфейсиране със специализираните собствени хардуерни (Spectri data logger) и софтуерни разработки, обединени в портала **WEBNOISE.eu**. Резултатът е една непрекъснато актуализираща се, публично достъпна база данни, източник за професионално управление на шума. Реализирани проекти.



Фиг.1 Концептуална схема WEBNOISE

Хардуерното и софтуерно обезпечаване

- СПЕКТРИ ЕООД, както и
 - партньорите й, производители на измервателно оборудване на различни параметри на околната среда;
 - **Brüel & Kjær**, Дания – шум,
 - **Instantel**, Канада и **MetOne**, САЩ – съдържание на прахови частици,
 - **Lufft**, Германия – метеорологични данни, др.
- Цялостна проектна реализация е осъществена от фирма **СПЕКТРИ ЕООД**.



Фиг.2 Компоненти на СПЕКТРИ WEBNOISE

Терминали и за мониторинг на шум

- Шумов анализатор
- Линеен честотен обхват: 5.6 Hz до 20 kHz;
- Динамичен обхват (А-претеглен): 16.4 dB до 140 dB
- Микрофон за измервания на открито - основни технически параметри:

- Лесно асемблиране на микрофона
- Възможност за лесно и достоверно акустично калибриране / проверка
- Функция за вградена автоматична калибрация (патент "CIC")



Фиг.3 Конфигурация на терминал за измерване на шум

Мониторинг на сеизмични параметри в околна среда

- Професионална Серия IV Minimate Pro4™ - Монитори за наземни вибрации и свръхналягане

- Четири канала – за един триаксиален геофон (ISEE или DIN), както и един линеен ISEE микрофон;
- Наличие на функционални бутони и интуитивно меню за бърза и лесна настройка
- Нива на семплиране от 512 до 65 S/s на канал (независимо от времевата на запис)



Фиг.4 Конфигурация на терминал за измерване на сеизмични параметри

Мониторинг на прах (ФПЧ) - Програмируеми авто-нулиране, авто-обхват, авто-скалиране (за от 1 до 65000µm/m3)

- Автоматизиран протокол за контрол на дебита
- Вградена батерия (за 30 часа работа без подгряване, както и 10 – с подгряване)
- Прецизен оптичен двигател с лазерно-диодна технология, вграден 47mm анализиращ филтър
- Налягане и температура на околната среда
- Вграден логер на измервания, мониторинг на PM10, PM2.5, PM1, TSP
- Без необходимост от подмяна на филтърни елементи



Фиг.5 Конфигурация на терминал за мониторинг на прах

Мониторинг на метео данни

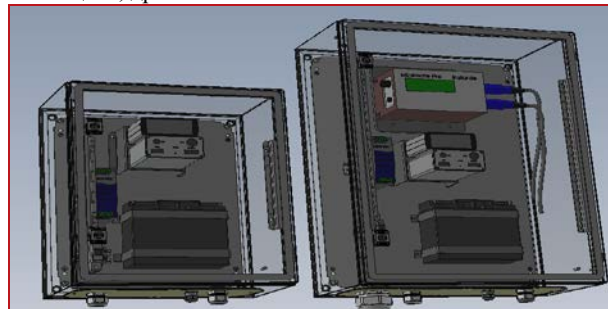
- **WS600-UMB** - смарт метео сензор за измерване на:
- Относителната влажност - посредством кондензаторен сензорен елемент.
- Въздушна температура - прецизен NTC измервателен елемент
- Валежи - измерват се чрез 24 GHz доплеров радар, който определя скоростта на капене на индивидуална валежна/снежна капка.
- Количество и интензивност на валежите - изчисляват се от корелацията между размера на капката и скоростта ѝ. Разликата в скоростта на капката определя типа валеж (дъжд/сняг).
- Измервания на вятър се реализират от ултразвукова сензорна технология
- Въздушно налягане



Фиг.6 Конфигурация на терминал за мониторинг метео данни

СПЕКТРИ комуникационни и управляващи хардуерни компоненти

- Изчислителен и комуникационен СПЕКТРИ дейта логер с LED статус дисплей.
- AC/DC конверторно стъпало с поддържащ презаредим акумулатор.
- Альтернативни захранващи решения - соларно, вятърно захранване.
- Възможност за интегриране на допълнителни опционни компоненти:
- GPS приемник, видео рекордер, рутиниращо стъпало, WiFi/GPRS/3G/LTE комуникационни опции, Ethernet мост, инвертор, сеизмограф, pH метър, хардуерна защита, др.



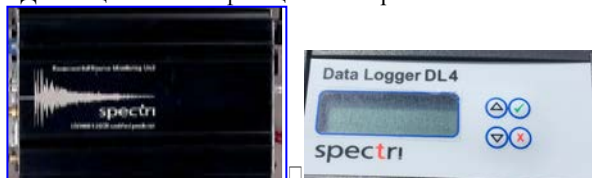
Фиг.7 Комуникационни и управляващи хардуерни компоненти

СПЕКТРИ логер на данни

- Поддръжка на криптирани протоколи за обмен на данни между клиента и сървъра.
- Поддръжка на протоколи за комуникация между измервателните терминали и логъра.
- Специализирана разработка на софтуер за следене на показателите на околната среда 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 възстановяването ѝ
- Система за самодиагностика и индикация при проблеми в работата на устройството и комуникацията между него и терминала или между него и сървъра.
- Дистанционна нотификация на потребители



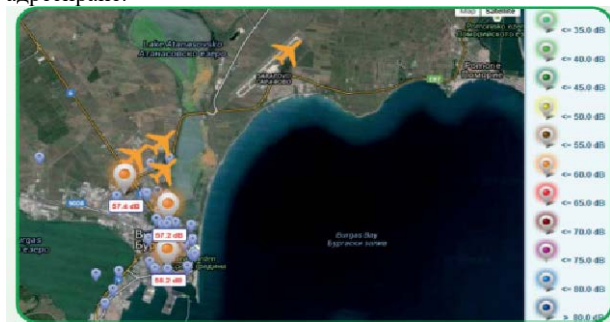
Фиг. 8 Дейта логер

Основни софтуерни възможности на WEBNOISE.eu, актуалност 2015г.

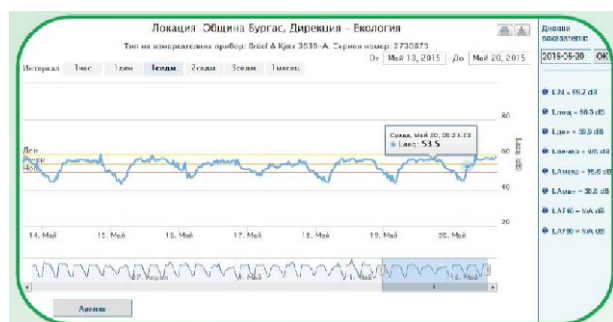
Потребителски адаптируемо решение за дистанционен облачен мониторинг и визуализация на параметри на околната среда (като шум, вибрации, сеизмична активност, метеорологични данни, съдържание на прахови частици, киселинност).

СПЕКТРИ ЕООД - производител на хардуерните изчислителни и комуникационни компоненти и на цялостната софтуерна база **“SPECTRI WEBNOISE”**

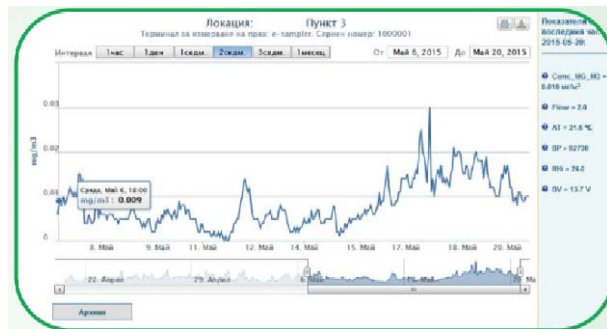
- Платформа от “облачен тип”
- съвременна надеждна не-Windows базирана система (Linux ОС в терминалните логери на данни и в дистанционния сървер)
- проектирана да осигурява непрекъснат мониторинг и измервания, както и да предотвратява загуба на измервателни данни.
- измерванията са базирани на непрекъснати периодични отчети на реални измервани параметри на околната среда.
- в сървъра се надгражда и актуализира историческа база от данни, като всички стойности са налични за динамично адресиране.



Фиг.9 Екрани webnoise.eu



Фиг.10 Екрани webnoise.eu



Фиг.11 Екрани webnoise.eu

Порталът <http://webnoise.eu>

- публичен достъп и визуализация на измервателните данни.
 - непрекъснато обновяващата се база данни от измервателните терминали, като конкретно за шум – във вид на графика(и)/таблица(и) за LAeq – dB(A), както и таблица(и) за стандартизирани шумови индекси (LAmin, LAmax, LAден LAвечер, LАнощ, L24, dB(A)) за: последен час, текущ ден, дневно, седмично, месечно, друго (история).
 - Интерес от **големите градове** в страната за непрекъснат мониторинг на шума в градска среда
 - във връзка със задължението им за актуализация на всеки 5 години на **“Стратегическата Карта за шум”** и респективните им **“Планове за действие”**.
- Непрекъснатият мониторинг на параметри на околната среда е единствения **достоверен източник** за проследяване на дълговременното развитие на замърсяванията и на акустичната ситуация.

Големите оператори и производствени обекти, държащи на своя добър професионален имидж

- активност и готовност за инвестиции
- обществено признат подход на неманипулиран достъп до критична информация и данни от непрекъснат мониторинг на шум, вибрации и др. допълнителни параметри.

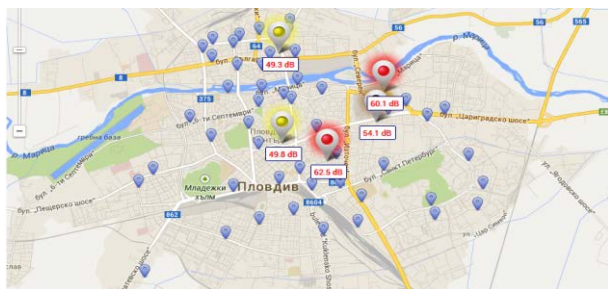


Фиг.12 Webnoise.eu

Потребителски адаптирано решение за всеки индивидуален клиент/проект

Основен екран

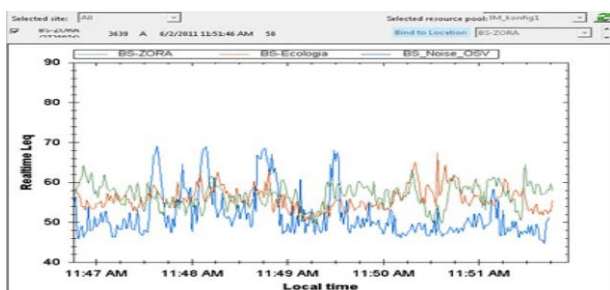
- с помощта на Google maps API v3.0 се показва разположението на точките на измерване, на реална карта.
- всяка точка носи информация за моментното състояние на LAeq, и изобразява нивото му чрез съответен цвят.



Фиг.13 Вторични екрани Webnoise.eu

Вторични екрани

- Графики със стойностите на шума (L_{Aeq}) за определен интервал от време (Часово, Дневно, Седмично, Месечно)
- възможност за по-кратък интервал върху самата графика, за по-детайлно представяне на стойностите.
- Допълнително скаларни шумови показатели L_{Amax} , $L_{ден}$, $L_{вечер}$, $L_{нощ}$, L_{10} , L_{90}



Фиг.14 Вторични екрани Webnoise.eu

8. ИЗВОДИ:

Точна индикация за шумовото класифициране на всяка една локация и незабавна визуализация при предприемане на мерки за намаляване на шума;

Натрупване на необходимите за стратегическо планиране данни – 24 часа, 12 месеца;

Открита комуникация с обществеността и опосредствено изграждане и поддържане на доверие и съпричастност в гражданите;

Определяне и характеризирание на целодневния и целоседмичен профил на акустично замърсяване в локацията – за 24 часа и за седмица.

Постоянно разширяване, надграждане и усъвършенстване на хардуерни и софтуерни компоненти от СПЕКТРИ ЕООД.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] www.SPECTRI.net
- [2] www.WEBNOISE.eu
- [3] Директива 2002/49/ЕС на Европейския Парламент и на Съвета от 25.06.2002 г. относно оценка и управление на екологичния шум (END).
- [4] Закон за защита от шума в околната среда (Обн. ДВ, бр.74/2005);

Данни за авторите:

- (1) Борис 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.

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2017”	Варна 10 - 11.10.2017 г. София 01 - 02.12.2017 г.
Година XIX	□ Брой 19	Декември 2017 г.

**ПРЕДСТАВЯНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ И ИЗВОДИТЕ ОТ РЕГУЛЯРНИЯ
ВТОРИ АКУСТИЧЕН ПРОЕКТ ЗА НУЖДИТЕ НА “ЛЕТИЩЕ СОФИЯ”,
РЕАЛИЗИРАН ОТ ОТ СПЕКТРИ ЕООД - ЧАСТ ОТ ПРОВЕЖДАНИЯ
ПОСТОЯНЕН МОНИТОРИНГ И УПРАВЛЕНИЕ НА ШУМА В
ОКОЛНАТА СРЕДА, ОТ “ЛЕТИЩЕ СОФИЯ” ЕАД**

**PRESENTATION OF 2ND REGULAR ACOUSTICS PROJECT FOR “SOFIA AIRPORT” –
REALISED BY SPECTRI LTD. THIS PROJECT IS PART OF THE UNDERGOING ON-LINE
MONITORING AND ENVIROMENTAL NOISE MANAGEMENT BY “SOFIA AIRPORT”**

Борис Михайлов ¹⁾

¹⁾ СПЕКТРИ ЕООД, София, Т. Търновски 30, spectri@spectri.net, www.spectri.net (URL)

Abstract: In this paper is presented a comparison information re. the realised by SPECTRI Ltd. acoustical projects (2016, 2017). Presented are the overall concept and activities for realization of this complex project.

Key words: noise, noise impact, airport, aircraft noise, noise management, cloud service, acoustics expertise, Noise Desk, Brüel & Kjær, SPECTRI.

Резюме: В този документ се дава съпоставителна информация за реализираните от СПЕКТРИ ЕООД акустични проекти през 2016 и 2017 г. Представя се цялостната концепция и пакет от дейности по реализацията на комплексния проект.

Ключови думи: шум, шумово въздействие, летище, самолетен шум, управление на шума, облачна услуга, акустична експертиза, Noise Desk, Brüel & Kjær, СПЕКТРИ.

1. Обзор:

Международно летище София:

- в източния край на гр. София
 - на около 10 км от центъра на града;
 - надморска височина 531 м;
 - годно за полети IFR/VFR;
 - работно време от 24 часа; ПИК 09 и 27; метеорологично осигуряване 24 часа.
 - В АИП на Република България са дадени подробни данни за летището и е разписана актуалната процедура за намаляване на шума от въздухоплавателни средства.
 - „Летище София” ЕАД разполага с инсталирана в края на 2004г система за мониторинг на авиационния шум и наблюдение на траекториите на полетите (СМАШ)
 - Необходимостта от системата:
 - Решение по ОВОС № 20-5/2001 г., издадено от МОСВ,
 - Закона за защита от шума в околната среда
 - Наредба № 54/ 2010 г. за дейността на националната система за мониторинг на шума в околната среда и изискванията за провеждане на собствен мониторинг, както и от нуждата за управление и минимизиране на въздействието на шума върху близко разположените жилищни райони.
- Реализиран е **комплексен подход** по съвременяване на системата, абонаментното ѝ поддържане, годишен преглед

на резултатите и допълнителни измервания, както и годишно полево калибриране.

2. Основни етапи:

- **Осъвременяване и разширяване на функционалността** на системата за мониторинг на авиационния шум при максимално запазване на вложените до момента в системата инвестиции;
- **Абонаментно обслужване и поддръжка;**
- **Калибриране;**
- **Експертна ежегодна оценка** на шумовото въздействие върху град София в следствие дейността на Летище София.

3. Осъвременяване и разширяване на функционалността ANOMS NoiseDesk - мониторинг на шум и самолетни операции. (новата платформа на Brüel & Kjær Sound & Vibration A/S - Дания, тип ANOMS NoiseDesk.) - удобен и лесен за употреба

Платформата и софтуерните пакети към нея - **облачен продукт**, с временни лицензи (с продължителност продължителността на действие на абонаментния Договор). ANOMS NoiseDesk **събира непрекъснато данни:**

- полетни трасета, полетни планове, ошумяване, метеорологични данни, оператори, оплаквания, контури, правила за съответствие, др.

- асемблират се в база данни и след това се корелират (посредством зададени правила и алгоритми).

Интерфейсът на потребителския интернет браузер

- достъпни и разбираеми списъци, карти и графични визуализации.

Експорт на данните - MS Excel spreadsheets, MS Word, INM експорт и Google Earth.

Непрекъснато **собствено мониториране** от системата на работоспособността и функционалността ѝ, като инициира корективни дейности при откриване на проблеми.

NoiseDesk използва подаваните от РВД данни

- за полетните трасета и информация за полетните планове.

Летателните данни се обработват и импортират в базата данни на ANOMS NoiseDesk.

4. Ежегодно калибриране



Фиг. 1 – Проследимост към използван еталон, 4226

СПЕКТРИ ЕООД ще осигурява един път в годината сервисна калибрация на всички терминали на системата за мониторинг на шума.

След всяко калибриране, СПЕКТРИ ЕООД изготвя доклад и индивидуални сертификати.

Еталонен акустичен мултичестотен и многостъпков калибратор, тип 4226 на Brüel & Kjær и съответен калибрационен софтуер/методика.



Фиг. 2 – Калибратор 4226

Основни характеристики на 4226:

Стандарти IEC 942 (1988) Клас 1

Калибрационни нива 94, 104 и 114 dB SPL

Калибрационни честоти 31.5 Hz до 16 kHz, в октавни стъпки Hz

Калибрационна точност ± 0.2 при 94 dB dB

Микрофонна мембрана 1/2-inch

Калибрирането е в съответствие с изискванията на EN 61672 - Акустична част, използвайки калибрационен софтуер Type I-304.

5. Експертна ежегодна оценка на шумовото въздействие върху град София в следствие дейността на Летище София

СПЕКТРИ ЕООД извършва всяка година

Ежегодно изготвяне на обобщен акустичен анализ:

- оценява шумовото въздействие върху града;

- проверява нормативното съответствие на предоставяната информация за шума;

- експертни оценки и препоръки относно функционирането на системата с цел облекчаване на шумовата обстановка над града и поддържане на позитивно обществено мнение относно Летище София

- Обзор резултати от мониторинга на шум за последните 12 месеца

- Регистрирани събития и превишения на нормативно определените

- граници за нива на шум в следствие дейността на Летище София

- Допълнителни ръчни измервания – резултати

- Анализ на причините за превишаване на граничните стойности на шум

- Преглед и анализ адекватността на разположение и на броя на използваните постоянни и преносими терминали за мониторинг на шум.

- Препоръки за мерки, процедури и/или действия от страна на Летище София за редукция на акустичното влияние върху засегнатите райони в гр. София

Провеждане на допълнителни акредитирани натурални измервания

- Ежегодни еднократни допълнителни акредитирани натурални измервания на шум в 20 бр. критични точки в градската среда на гр. София. (критични от акустична гледна точка – подложени на въздействие на източник „авиационен шум“).

- Измерванията са от сертифицирани специалисти на СПЕКТРИ ЕООД, както и сертифицирано оборудване, Клас 1 (с валиден калибрационен сертификат).

- СПЕКТРИ ЕООД е акредитиран от ИА “БСА” за провеждане на измервания в околната среда, под ОКС “СПЕКТРИ – ИЗМЕРВАНИЯ”.

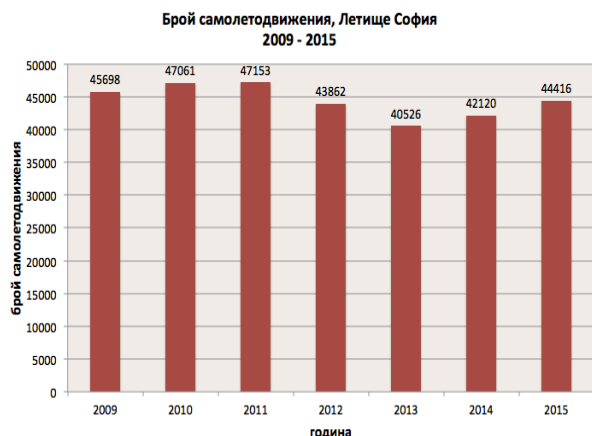
- Използваното от СПЕКТРИ оборудване е калибрирано, Клас 1 – (а) Ръчен акустичен анализатор, тип 2250 – Brüel & Kjær, както и (б) Акустичен ръчен калибратор, тип 4231 – Brüel & Kjær.

6. Резултати, 2015-2017, Експертна ежегодна оценка на шумовото въздействие върху град София в следствие дейността на Летище София

Съпоставка с общия брой самолетодвижения за периода 2009 г. - 2015 г. (Вж. графиката по-долу) индицира следната тенденция:

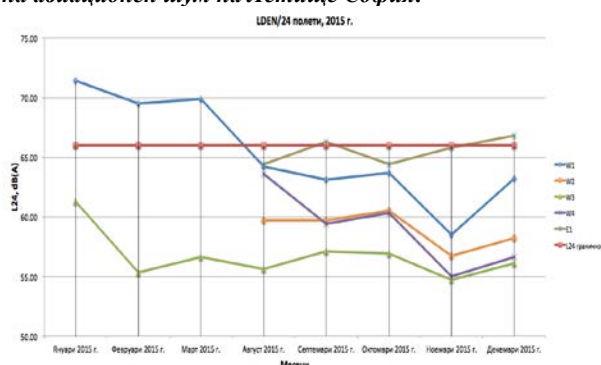
- броят самолетодвижения е в рамките на 40-47000/год., т. е. по смисъла на END и ЗЗШОС, Летище София не е „основно летище“ по смисъла на Закона за защита от шум в околната среда, т.е. няма осъществени над 50 000 излитания и кацания годишно.

- Летище София е основен източник по смисъла на END и ЗЗШОС – що се отнася до шумово въздействие върху агломерация София от самолетен трафик.



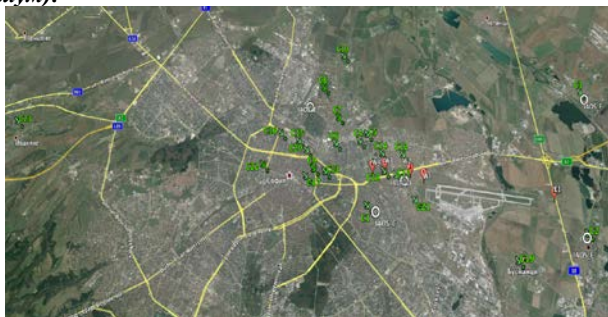
Фиг. 3 – Самолетодвижения, 2009-2015

Резултати от автоматичната система за мониторинг на авиационен шум на Летище София:

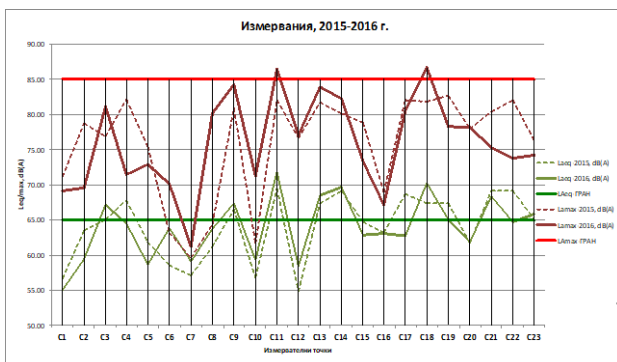


Фиг. 4 – Резултати – по терминали

Годишни допълнителни полеви измервания на шум в критични точки в градската среда на гр. София (подложени на въздействие на източник “авиационен шум”):



Фиг. 5 – Измервателни точки



Фиг. 6 – Резултати ръчни измервания, 2015-2017 г.

Препоръки към Летище София – за намляване на ошумяването на гр. София:

Преместване на терминал Е1 на светлинния килим до околоръстното шосе на 330 метра към летището в началото на светлинния килим.

Системно използване на наличния мобилен терминал. Терминалът да бъде използван активно за

- наличие на нови локални оплаквания;
- дефиниране на нови точки за допълнителни терминали, или
- при решение за ре-локация на съществуващи (натрупвайки данни в съответствие с ISO20906:2009).

Въвеждане на процедура, мобилният терминал да се позиционира периодично в обществени сгради – училища, детски градини, сгради на общината и на министерствата, които се намират в близост до трасетата на прелитане в ошумените жилищни райони. За целта е необходимо да се локализира такива сгради и да се извършат съответните административни действия за временно поставяне на мобилния терминал.

Постепенно увеличаване на броя стационарни терминали – с 3 бр. за 2016 г., и 3 бр. за 2017 г.

Предложението ни за допълнителни локации за нови терминали е базирано на постепенен подход, т. е. Етап 1 - 3 бр. през 2016г. (Вж. по-долу 4бр. варианти с цел подпомагане избора на три нови локации) и Етап 2 - допълнителни 3 бр. през 2017г. (определими след реализацията на Етап 1).

Прилагане на балансиран подход

От 2001 Общото събрание на ICAO изисква страните-членки да възприемат балансиран подход за управление на шума от въздухоплавателни тела. Това се състои в идентифициране на проблеми, свързани с шума на летищата и анализиране на различни мерки за намаляване на шума посредством проучване на четири основни елемента както следва

- намаляване при източника (по-тихи самолети),
- планиране и управление на земеползването,
- оперативни процедури за намаляване на шума,
- оперативни ограничения,

като целта е да се реши проблема с шума по възможно най-рентабилен начин. ICAO е разработил политики за всеки от тези елементи, както и по отношение на такси за шум.

а. Летище София по смисъла на ЗЗШОС и Директива 2002/49/ЕС не е основно летище (със самолетодвижения < 50000/годишно). Независимо от този факт поради близостта си до агломерация София, а и според данните от СКШ от 2009г., дейността на Летище София оказва влияние върху здравето и нарушава съня и спокойствието на немалка част от жителите на Столична Община. Трябва да се има в предвид и последните публикации от Световната Здравна Организация доказващи вредното въздействие върху човешкия организъм на шум смитиран в околната среда за стойности > 40 dB(A). Не е без значение и статистиката за първия рунд СКШ за ЕС, от която е видно значителното въздействие върху акустичната среда на “не-основните” летища (Вж. графиката по-долу). Това е причината да препоръчваме реализация на стратегическа карта за самото Летище София (според ЗЗШОС, “собствено иницириране”), както и на последващ План за действие.

Летище София да обмисли практически стратегии, като: Кампания “тихи подходи”: Въздухоплавателното тяло приближава летището на два етапа. Пилотите могат да направят първия етап като намалят на постоянна скорост, което е познато като подход непрекъснато спускане

(continuous-descent approach (CDA). Алтернативният начин – спускане на стъпки с периоди на летене между тях е по-шумен, защото самолета лети на ниски височини за по-дълго време.

- **Кампания за забавяне на свалянето на колесника:** Свалянето на колесника увеличава шума. Ако мощността на двигателя трябва да бъде увеличена за компенсиране, това също увеличава шума. Няма точни и ясни правила, посочващи кога да се свали колесника: всеки пилот решава какво е безопасно за неговото въздухоплавателно средство и условията през деня.

Препоръчваме да се говори с авиокомпаниите за насърчаване на по-тихи кацания без да се застрашава безопасността на въздухоплавателните средства. Също да се търсят начини за насърчаване на съгласуваността при разгръщането на колесника.

- **Проучване на стръмни ъгли при приземяване:** Ъгълът на наклона на самолета има ефект върху шума, който хората долу чуват. Колкото по-стръмен е ъгълът, толкова по-малко време самолета прекарва на ниски височини и по-малко хора са засегнати от по-високите нива на шум. Препоръчваме да се оптимизира ъгълът, под който самолетите се приземяват на Летище София.

Препоръчваме да се определи като дългосрочна цел да се включат по-стръмни ъгли на приземяване.

- **По-добро разпределение и оптимизиране на нощния шум при кацане.**

- **Въвеждане на глоби за шумни излитания:**

Препоръчваме на въвеждане на процедура за глобяване на авиокомпаниите за нарушаване на ограниченията за шум при излитане.

- b. Изграждане на специализиран **WEB базиран публичен портал**, който да позволява на потребителите да осъществяват обследване на полетните трасета – от всеки един компютър с интернет достъп.

Позволявайки публичен достъп и възможност за обследване на данните за полетите, летището е в състояние да:

- Подобри имиджа си в обществото – чрез повишена прозрачност и отвореност;
- Намали времето за оперативна поддръжка и отговор на различните запитвания;
- Се ангажира в конкретен диалог с обществеността, като по този начин намали първоначалната ѝ резистентност;

Подобна система би предоставяла една лесно достъпна и прозрачна информация за шума в околната среда от самолетна активност. По този начин се подсигурава по-голямата ангажираност на обществеността. Това е доказано най-ефективния за едно летище начин да подобри комуникационната си политика с обществеността.

Изграждане на **система за определяне на въглеродните емисии** за различните самолетни операции и за самото летище в цялост.

Независимо, че аеролиниите са директно отговорни за емисиите на CO₂ от самолетите им, самите летища трябва да се справят с проблема на местна почва (отговаряйки пред обществеността, групите за оказване на натиск по проблемите на околната среда, регулаторните органи, както и други лица). За да продължи стратегията си на

Данни за автора:

- (1) Борис Борисов Михайлов, Sound and vibration qualified expert (2001), инж.(1994), Електроника,

растеж, летището се нуждае от:

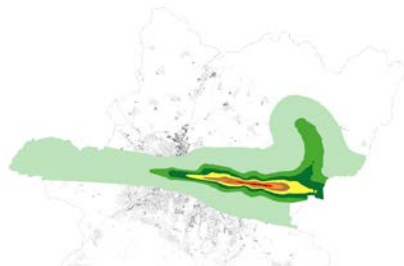
- Разбиране на обема на CO₂ емисиите
- Разбиране на основните причинители
- Оценка и демонстрация на ефекта от различните стратегии по редукция
- Изготвяне на надеждни и точни доклади

С помощта на подобна система, Летище София получава:

- Автоматично определяне на емисиите, исторически, между различни дати
- Определянето включва детайлни маршрути, както и подробен LTO цикъл
- Използване на реални полетни трасета (а не осреднявания и предположения)
- Определяне на емисиите по самолет, оператор, както и фаза на полета
- Показване на трендове за дълъг период от време
- Нормализиране на емисиите според движения, пътници и пътничкилометър.

Изграждане на информационни табла в зоните на стационарните мониторингови системи за информиране на обществеността.

Шумови контури – Летище София, LimA-Predictor изчисления:



Фиг. 7 – Шумов контур, гр. София, източник – самолетен шум, показател Lden – dB(A)



Фиг. 7 – Шумов контур, гр. София, източник – самолетен шум, показател Lнощ – dB(A)

ЛИТЕРАТУРА

- [1] www.SPECTRI.net
- [2] <http://www.bksv.com/Products/EnvironmentManagementSolutions/AirportEnvironmentManagement/A-NOMS%20NoiseDesk>
- [3] www.BKSV.com

Технически университет София, Brüel & Kjær University (2001). Съпредседател *Българска Асоциация за Обществен Контрол и Управление на Шума*, Управител СПЕКТРИ ЕООД.

**МЕТРОЛОГИЧНО ОСИГУРЯВАНЕ, КОНФИГУРАЦИЯ И СТАРТИРАНЕ НА
НОВО СПЕКТРИ ТЕХНИЧЕСКО НАПРАВЛЕНИЕ – ЛАБОРАТОРИЯ ЗА
КАЛИБРИРАНЕ НА ШУМОМЕРИ, КАЛИБРАТОРИ И ШУМОВИ
ДОЗИМЕТРИ “СПЕКТРИ-ЛАБ”. СЪЗДАВАНЕ НА СОБСТВЕНИ МЕТОДИКИ
И ПРИЛАГАНЕ НА РЕСПЕКТИВНИТЕ МЕЖДУНАРОДНИ СТАНДАРТИ**

БОРИС МИХАЙЛОВ ¹⁾

¹⁾ СПЕКТРИ ЕООД, София, Т. Търновски 30, spectri@spectri.net, www.spectri.net (URL)

Резюме: В този документ се представят използваната концепция, техническо осигуряване и метрологично рефериране относно новосформираната в Р. България уникална лаборатория за калибриране на шумомери, калибратори, шумови дозиметри – “СПЕКТРИ - ЛАБ”.

Ключови думи: - Калибриране, системи за калибриране на шумомери, калибратори, шумови дозиметри

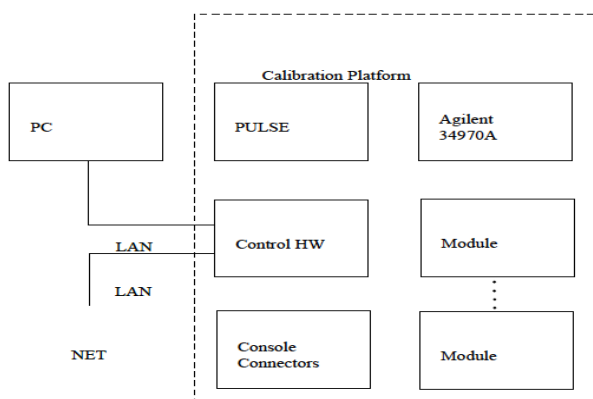
1. Въведение

Като естествено продължение на повече от 18 годишен успешен ангажимент в областта на измерването и управлението на шума (и вибрациите) СПЕКТРИ ЕООД стартира свое ново направление - Лаборатория за Калибриране на шумомери, калибратори и шумови дозиметри “СПЕКТРИ-ЛАБ”.

Фирмата инвестира в последно поколение измервателна апаратура и софтуер - от най-висок световен клас (производител Brüel & Kjær), за да предостави на българските си партньори и клиенти надеждна, бърза и гъвкава услуга в подкрепа на амбицията им за прецизна работа и качествено бизнес изпълнение.

Калибрирането е фундаментална стъпка в процеса на измерване. То гарантира, че инструментата, използван за изпитване показва точно необходимия измерван параметър и че уреда отговаря на своята спецификация.

СПЕКТРИ-ЛАБ ще използва следната калибрационна система (принципна схема):



Фиг.1 Елементи на калибрационната система

СПЕКТРИ-ЛАБ ще използва международните стандарти за калибриране на шумомери, както следва:

БДС EN 60942:2003

Методика за калибриране на акустичен калибратор

БДС EN 60651:1999;

БДС EN 60804:2003;

БДС EN 61672-1, 2, 3:2013

Методика за калибриране на шумомер

БДС EN 61252:2000

Методика за калибриране на персонален дозиметър

СПЕКТРИ-ЛАБ ще калибрира в следните обхвати:

Акустичен калибратор - ниво на звуково налягане: 90
÷130 dB (реф. 20 µPa), номинална честота 250Hz, 1 kHz.
СМС: 0.15 dB

Акустичен мултифункционален калибратор - ниво на звуково налягане: 90 ÷ 115 dB (реф. 20 μPa), номинални честоти 31.55 Hz ÷ 12.5 kHz. СМС: 0.2 dB: 31.5 Hz ÷ 4 kHz, 0.3 dB: 8 kHz ÷ 12.5 kHz

Шумомер - отговор на сигнал от акустичен калибратор:

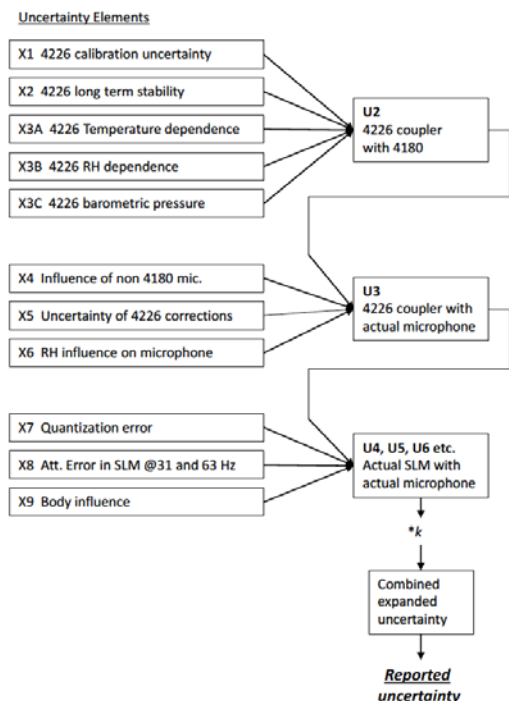
94 ÷ 124 dB (реф. 20 µPa), номинални честоти 31.55 Hz ÷ 12.5 kHz. СМС: 0.3 dB: 31.5 Hz ÷ 12.5 kHz

Шумомер - отговор на електрически измервателни сигнали: 20 ÷ 140 dB (реф. 20 μPa) номинални честоти 20 Hz ÷ 20 kHz. СМС: 0.4 dB; 20 Hz ÷ 20 kHz

Персонални дозиметри - отговор на сигнал от акустични калибратори: ниво на звуковото налягане на калибратора $90 \div 115$ dB; време на измерване $60 \text{ s} \div 120 \text{ s}$. СМС: 4%

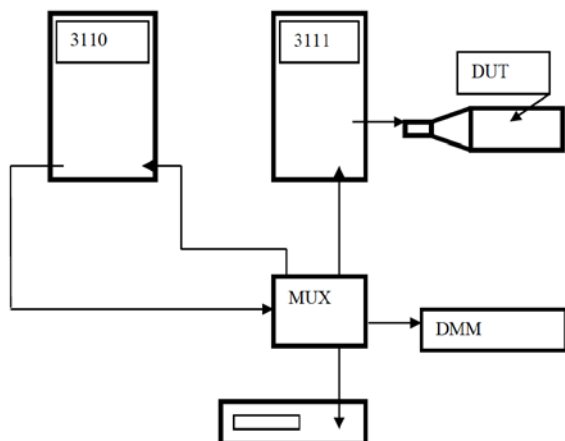
Персонални дозиметри - отговор на електрически измервателни сигнали: 0.3 Pa2h ÷ 105 Pa2h. СМС: 4%

Моделът, който използваме за определяне бюджета на неопределеността е както следва (елементи, които се включват):



Фиг.2 Модел на неопределеността

2. Използван принцип на калибриране - шумомери

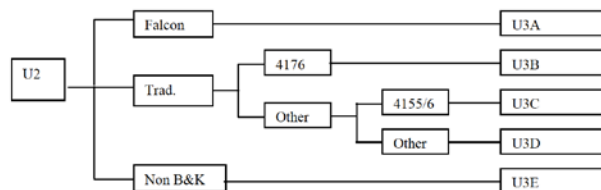


Фиг.3 Проверка аналогов ел. сигнал



Фиг.4 Автоматично акустично калибриране – шумомер 2238

3. Използван принцип при определяне на неопределеността при калибриране на шумомери:



f [Hz]	X1 4226 cal	X2 Long term	X3A temp.	X3C pres.	NF1	NF2	NF3A	NF3C	u1 standard uncertainties	u2	u3A	u3C	U2 Comb Unc.
31.5	1.27	0.7	0.08	0.2	0.5	0.5	0.577	0.577	0.635	0.350	0.046	0.115	0.736
63	1.27	0.7	0.08	0.2	0.5	0.5	0.577	0.577	0.635	0.350	0.046	0.115	0.736
125	1.27	0.7	0.08	0.2	0.5	0.5	0.577	0.577	0.635	0.350	0.046	0.115	0.736
250	1.27	0.7	0.08	0.2	0.5	0.5	0.577	0.577	0.635	0.350	0.046	0.115	0.736
500	1.27	0.7	0.08	0.2	0.5	0.5	0.577	0.577	0.635	0.350	0.046	0.115	0.736
1k	1.27	0.7	0.08	0.2	0.5	0.5	0.577	0.577	0.635	0.350	0.046	0.115	0.736
2 k	1.04	0.7	0.08	0.2	0.5	0.5	0.577	0.577	0.520	0.350	0.046	0.115	0.636
4 k	1.15	0.7	0.08	0.2	0.5	0.5	0.577	0.577	0.575	0.350	0.046	0.115	0.685
8 k	1.5	0.7	0.08	0.2	0.5	0.5	0.577	0.577	0.750	0.350	0.046	0.115	0.837
12.5 k	1.74	0.7	0.08	0.2	0.5	0.5	0.577	0.577	0.870	0.350	0.046	0.115	0.946

Фиг.5 Неопределеност при калибриране на шумомери

4. Модел на акустично измерване при калибриране – използва се метода на пряко измерване с еталонен мултифункционален звуков калибратор:

Отклонението от действителната стойност на звуковото ниво " ΔL_{sp} ", dB относно 20 μ Pa се получава от уравнението:

$$\Delta L_{sp} = \Delta L_{spm} + \delta L_{spe} + \delta L_e$$

$$\text{като } \Delta L_{spm} = L_{spm} - L_{spe} \quad (2)$$

където:

ΔL_{spm} - разликата между показанията на измервания шумомер и зададеното ниво от еталонния мултифункционален звуков калибратор dB;

L_{spm} - показание на измервания шумомер, dB относно 20 μ Pa;

L_{spe} - зададено ниво от еталонния мултифункционален звуков калибратор, dB относно 20 μ Pa ;

δL_{spe} - отклонения от действителната стойност на звуковото ниво, dB

(от свидетелството за калибриране на еталонния звуков калибратор);

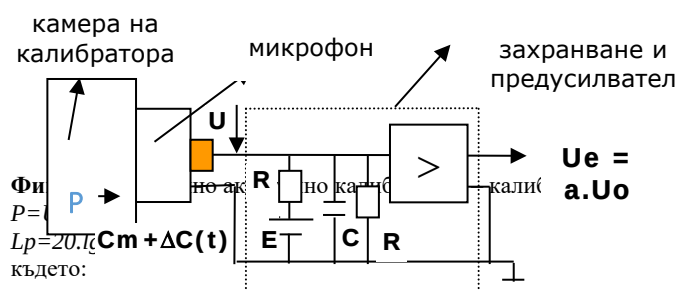
δL_e - поправка на измерената стойност, дължаща се на разделителната способност на шумомера.

Еталонният мултифункционален звуков калибратор тип 4226 – Brüel & Kjær има обратна връзка за изравняване на атмосферното налягане. За това поправката от промяната на атмосферното налягане в посочените условия за калибриране е пренебрежимо малка. Това е отразено в техническата документация на калибратора.

5. Използван принцип на акустични калибратори

2.2. Принцип на калибриране

Уредите и спомагателните средства се свързват съгласно фиг.6



P - звуково налягане (Pa);

P_0 - реперна стойност $20 \mu\text{Pa}$ ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa);

S_0 - чувствителност на еталонния микрофон при отворена верига (V/Pa), изразявана в калибровъчните карти като M_0 , dB относително 1V/Pa.

Определяне на U_0 , чрез измерване ефективната стойност на изходното напрежение " U_e " и отчитане на коефициента " a ", който зависи от степента на натоварване на микрофонния изход (фиг. 6)

$U_e = a \cdot U_0$ или $U_0 = U_e / a$, $a = b \cdot C_m / (C_m + C)$;

където:

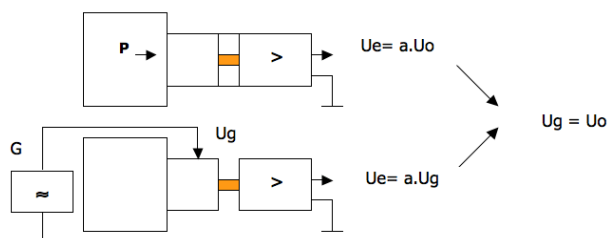
U_e - напрежение на изхода на предусилвателя;

C_m - капацитет на микрофонния капсул;

C - входен капацитет на предусилвателя;

b - коефициент на предаване по напрежение за комплекта предусилвател със захранващ блок.

Определяне на U_0 , чрез непосредствено измерване по метода на заместващото напрежение (фиг.2)



Фиг.6 Определяне на U_0

U_g - синусоидално заместващо напрежение, подавано от генератор последователно на микрофонния капсул.

6. Модел на измерване за определяне на L_p , чрез еталонен микрофон с нормиран коефициент на преобразуване на звуковото налягане в електрически сигнал:

Нивото на звуково налягане " L_p " в камерата на измервания звуков калибратор се получава от уравнението:

$$L_p = L_0 - M_0 - L_{p0} - \delta L_{pa} + \delta L_v + \delta L_a + \delta L_e + \delta L_s + \delta L_t \quad (1)$$

където:

L_0 - стойност на измерваното ниво при отворена верига в изхода на еталонния микрофон, dB спрямо 1V;

L_{p0} - опорно ниво, съответстващо на $20 \mu\text{Pa}$, $L_{p0} = 20 \cdot \lg(2 \cdot 10^{-5})$, dB;

M_0 - ниво на чувствителност при отворена верига на еталонния микрофон, dB относително 1V/Pa;

δL_{pa} - поправка от барометъра за атмосферно налягане;

δL_v - поправка, зависеща от еквивалентния обем на използвания микрофон;

δL_a - поправка от определяне на коефициента " a ". При измерване по метода на заместващото напрежение тази поправка не се отчита;

δL_e - поправка на измерената стойност, дължаща се на разделителната способност на звукоизмервателна система;

δL_s - поправка на измерената стойност, зависеща от толеранса на поляризиращото напрежение за микрофона;

δL_t - изменение нивото на чувствителност на еталонния микрофон от промяна на температурата.

7. Оценка X_j на входните величини:

Измерена стойност (L_0)

При многократни измервания L_0 се изчислява по формулата:

$$L_0 = \frac{\sum_{i=1}^n L_{i0}}{n} \quad (3)$$

където: L_{i0} - стойност на нивото, отчетено при i -тото измерване;

n - брой на измерванията.

Опорно ниво (L_{p0}) - Константна стойност

$$L_{p0} = 20 \cdot \lg(2 \cdot 10^{-5}) = -93,98 \text{ dB} \quad (4)$$

Оценката на нивото на чувствителност при отворена верига на еталонния микрофон по т.3.1 е " M_0 " dB отн. 1V/Pa от свидетелството на последното му калибриране за съответната честота.

Оценката на барометричната поправка (δL_p) зависи от атмосферното налягане в момента на измерването и се отчита от съответния барометър. При някои типове звукови калибратори има въведена обратна връзка за изравняване на налягането и оценката на тази поправка е нула, а е завишен приносът към неопределеността. Това е отразено подробно в техническата документация на съответния калибратор.

Поправка, зависеща от еквивалентния обем на използвания микрофон (δL_v). Има съвременни звукови калибратори с въведена обратна връзка по обем и затова е важно определянето на поправката (δL_v) да е съобразно техническа документация.

Поправка от разделителната способност (δL_e)

Тази входна величина е с нулево очакване и грешка, равна на половината от стойността на най-малката значеща цифра на волтметъра.

Тъй като всички входни величини са некорелирани, средноквадратичната неопределеност на нивото L_p е равна на квадратния корен от сумата на дисперсиите (квадратите на приносите на неопределеността) на входните величини

$$u(L_p) = \sqrt{\sum u^2(X_i)}$$

Разширена неопределеност, $U(L_p)$

Разширената неопределеност от измерванията U се получава чрез умножаване на средноквадратичната неопределеност на изходната оценка $u(L_p)$ с коефициента на доверителния интервал k ,

$$U = k \cdot u(L_p)$$

При нормално (Гаусово) разпределение на измерваната величина и вероятност на доверителния интервал, приблизително 95 %, $k=2$.

5. Представяне на калибрационна система на СПЕКТРИ-ЛАБ

Калибрационната платформа на Brüel & Kjær 3630 е универсална платформа за калибрация на инструменти и преобразуватели в областта на шума и вибрациите.

Използваните от СПЕКТРИ приложения са следните:

Калибриране на шумомери (SLM) - калибрационен софтуер Type 7763

Калибрирането на шумомери е изключително управлявано от законодателството. Тъй като броят инструменти изискващи калибриране нараства, необходимостта от ефективна калибрационна система е налице.

Калибрационната система, (Sound level meters calibration) съответства на всички съответни международни стандарти и препоръки и е еднакво добре пригодена за използване в национални лаборатории за калибриране и в центрове за калибриране.

Системата комбинира най-съвременните информационни технологии с доказвания опит на Brüel & Kjær в калибрирането на инструменти в областта на шума и вибрациите.

Калибриране на шумомери (SLM) с калибрационен софтуер Type 7763 не е просто един ефективен инструмент, всъщност това е система, поддържана в световен мащаб, лесна за рекалибриране и с бюджети за неопределеност, необходими за целите на акредитацията.

Използва се за акустично и електрическо калибриране на шумомери, калибратори, дозиметри, октавни филтри - по международни стандарти.

Калибрационната платформа на Brüel & Kjær 3630 използва преносимия 100 kHz PULSE™ мултианализатор като основен елемент на системата. Преносимият PULSE™ е изключително гъвкав мултианализатор, който може да анализира нивото на сигнала, FFT, 1/n-octave филтри и цялостния обхват на параметрите на измерване. PULSE™ също генерира тестови сигнали, необходими за изпълнение на изискванията на международните стандарти.

Калибрационната система на шумомери Type 3630 платформа е проектирана да калибрира Brüel & Kjær инструменти, както и измерители на нива на звука на други производители, в съответствие с IEC 60651, IEC 60804, IEC 61672, както и всички останали релевантни стандарти. Системата се доставя с основния софтуер Type 7762 за измерване на нива на звук и опция за тестване Type 7763, изпълняваща различни тестове ръчно, полуавтоматично или в автоматичен режим. Тестовите са проведени както акустично така и електрически.

Наличие е функционалността за проследяване и контрол над калибрационните интервали по стандарт и на инструментите, използвани от системата се улеснява от софтуера на калибрационния мениджър, като се включва база данни на клиенти и инструменти. Измервателната верига е гарантирана от интегриран цифров волтметър DMM Agilent 34970 и Brüel & Kjær Type. Използван се като етални (а) 4226 мултичестотен калибратор, както и лабораторния стандарт за микрофони, тип 4180.



Фиг.7 Калибрационна система Type 3630.

Калибрационна платформа Type 3630 с калибрационен софтуер Type 7792 за дозиметри на шум

Noise Dose Meter калибрационен софтуер Type 7792 за платформа Type 3630 за калибриране е автоматичен инструмент, предназначен за извършване на периодични тестове на дозиметри на шум в съответствие с IEC 61252. Софтуерът автоматично стартира разнообразни предварително определени тестове в съответствие с избрани препратки. Системата включва база данни на текущите видове Brüel & Kjær дозиметри на шум, включително измерване на звуковото ниво и експозицията на шум. Нови видове дозиметри се вписват с диапазон на параметрите,

необходими за тяхната дефиниция. Осигурени са бюджетите за неопределеност за улесняване на акредитацията на лабораторията (ISO 17025) и се генерират доклади за калибриране автоматично, за да се намали риска от човешки грешки.

Калибрационна платформа Type 3630 с калибрационен софтуер Type 7794 за калибратори

Платформа Type 3630 със софтуер за калибриране Type 7794 е инструмент за извършване на автоматизирани периодични тестове на калибратори в съответствие с IEC 60942. Системата извършва калибриране на акустични калибратори и пистонфони с една честота (250 Hz/1000 Hz), както и на многофункционални калибратори (с различни честоти и амплитуди на калибриране). Процедурите за калибриране за Brüel & Kjær акустични калибратори Видове 4220, 4228, 4230 и 4231 са предварително дефинирани в софтуера, който също позволява и добавяне на нови видове инструменти и процедури за калибриране. Осигурени са бюджетите за неопределеност за улесняване на акредитацията на лабораторията (ISO 17025) и докладите за калибриране се генерират автоматично.

Налична опция за надграждане със система type 9699 за реципрочно калибриране на микрофони
(Първично калибриране)



Фиг.7 Система за реципрочно калибриране на микрофони

Използвана от Спектри ЕООД калибрационна система за калибриране на калибратори, шумомери, шумови дозиметри: тип 3630-Brüel & Kjær



Фиг.8 Реална работна визуализация

3. ИЗВОДИ

Считано, от 2016г. СПЕКТРИ, чрез лабораторията си за изпитване и калибриране, СПЕКТРИ-ЛАБ предоставя нов тип услуги на българския пазар, а именно:

- изпитване и мониторинг на шум в индустриални локации
- калибриране на акустични калибратори
- калибриране на шумомери
- калибриране на шумови дозиметри

С тази своя инициатива, СПЕКТРИ ЕООД цели да заздравя портфолиото си от предлагани услуги в областта на измерването, оценката и калибрирането на шум и вибрации, да увеличи своя експертен потенциал и не на

последно място да предостави на своите клиенти допълнително улеснение и подкрепа в техните задачи по метрологично осигуряване и качествен контрол на използваното от тях обзавеждане.

4. Литература

- [1] Sound and Vibration Calibration – Primary and secondary, Brüel & Kjær (www.bksv.com), 2014.
- [2] Sound Level Meter Calibration System Type 3630-A for Calibration Platform Type 3630, (www.bksv.com), 2014.
- [3] Мултифункционална система „Pulse“
- [4] БДС EN 60942:2003 Електроакустика. Звукови калибратори;
- [5] БДС EN 60651:1999 Уреди за измерване на звуково ниво;
- [6] БДС EN 60804:2003 Интегрален уред за измерване на средно звуково ниво;

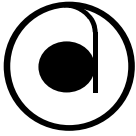
[7] БДС EN 61672-1,2,3:2013 Електроакустика. Уреди за измерване на звуково ниво

[8] БДС EN 61252:2000 - Електроакустика. Спецификации за персонални устройства за измерване нивото на звуковото облъчване

Данни за авторите:

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*.

Нина Пешева Михайлова, инж. (1994), Машиностроене, Технически университет София, Brüel & Kjær University (2015), Ръководител “Проекти” в *СПЕКТРИ ЕООД*.

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2017”	Варна 10 - 11.10.2017 г. София 01 - 02.12.2017 г.
Година XIX	□ Брой 19	Декември 2017 г.

ИЗПЪЛНЕНИЕ НА ИЗИСКВАНИЯТА ЗА АКРЕДИТАЦИЯ НА ИА „БСА“ И ИЗИСКВАНИЯТА НА СТАНДАРТА ISO/IEC 17020:2012 НА ОРГАН ЗА КОНТРОЛ ОТ ВИД С „СПЕКТРИ-ИЗМЕРВАНИЯ“ при СПЕКТРИ ЕООД

Борис Михайлов¹⁾, Милко Джамбазов²⁾

¹⁾ Орган за контрол от вид С „СПЕКТРИ-ИЗМЕРВАНИЯ“ при СПЕКТРИ ЕООД,
e-mail: office@spectri.net, www.spectri.net

²⁾ Научен секретар на Българско академично метрологично дружество,
e-mail: milkodjambazov@gmail.com

Резюме: В документа са разгледани изискванията за акредитация и техническа компетентност на примерен орган за контрол от вид С „СПЕКТРИ-ИЗМЕРВАНИЯ“ при СПЕКТРИ ЕООД. Подробно е представен обхвата на акредитация, техническата обезпеченост и възможности за контролни измервания и оценка на параметрите на шум и вибрации от акредитирания орган.

Ключови думи: акредитация, шум, вибрации

1. Въведение

БДС EN ISO/IEC 17020 е международен хармонизиран стандарт, който съдържа изисквания за компетентността на органите, извършващи контрол, тяхната безпристрастност и последователността на техните дейности свързани с контрола.

Този стандарт е приложим за **органите за контрол от вид "А", "В" или "С"**, които са определени в него и се отнася за всеки етап на контрол.

Видът на органа за контрол, според условията, при които извършва услугите си и видът на тяхната независимост са от вид:

- "А" - извършващ контрол от трета страна;
- "В" - извършващ контрол от първа страна и предоставя контрол само на организацията, от която е част, и
- "С" - извършващ контрол от първа страна, контрол от втора страна или и двата вида и предоставя услуги по контрол на организацията, от която е част или на други страни, или и двете.

Органите за контрол извършват оценяване на съответствието на контролирания обект спрямо предварително определените изисквания, които може да бъдат определени в: нормативни актове, стандарти, технически спецификации, и т.н.

През 2011 г. СПЕКТРИ ЕООД разработи и внедри система по качество в съответствието с изискванията на стандарта БДС EN ISO/IEC 17020. Органът за контрол СПЕКТРИ-ИЗМЕРВАНИЯ е от вид С. Целта на сертифицирането беше да се предложи на клиентите обслужване с доказана и призната техническа и експертна компетентност в област, в която дружеството и персонала се доказва ежедневно, а именно – шум и вибрации, без да се разпръскват ресурси и компетентност в други области.

За изпълнение на идеята и целта на акредитация, СПЕКТРИ ЕООД се ръководи от два основни факта – притежаване на оборудване от висок клас, което е метрологично проследимо и експертен персонал, който е доказал своята компетентност в изпълнените десетки проекти с национално и обществено значение.

След 4 годишен акредитационен период през 2016 г. СПЕКТРИ ЕООД успешно премина преакредитация от ИА „БСА“.

СПЕКТРИ ЕООД предоставя на клиентите дейности по доставка, сервиз и поддръжка на измервателна техника в областта на акустиката и вибрациите и изпълнява инженерингови задачи във връзка с измерването, диагностика и анализа на шум и вибрации.

Органът за контрол от вид С при „СПЕКТРИ“ ЕООД гр. София е акредитиран съгласно БДС EN ISO / IEC 17020:2012 от ИА „БСА“ с уникален номер на сертификат № 122 ОКС. Валидността на сертификата е до 30.11.2016 г., като предстои да бъде преиздаден за период от 4 години.

2. Обхват на акредитация на ОК С „СПЕКТРИ-ИЗМЕРВАНИЯ“:

Шум в околна среда с обхват на контрол по параметър: квивалентно ниво на шума, дневно, вечерно и нощно ниво на шум, dBA;

Шум в помещения на жилищни и обществени сгради с обхват на контрол по параметър: ниво на шум и еквивалентно ниво на шума, dBA;

Шум в работна среда с обхват на контрол по параметър: дневно ниво на експозиция на шум, dBA, върхово ниво на звуково налягане, dBS, ниво на шум и еквивалентно ниво на шума, dBA;

Вибрации предавани на системата „ръка-рамо“ и на цяло тяло, с обхват на контрол по параметър: дневна стойност на експозиция на вибрации;

Вибрации на машини с обхват на контрол по параметър: виброускорение, виброскорост, вибропреместване;

Вибрации в жилищни помещения с обхват на контрол по параметър виброускорение.



Фиг. 1 Сертификат за акредитация

3. Нормативни документи по които се извършва контрола

Използвайки най-модерната и световно призната апаратура за измерване на параметрите на шум и вибрации СПЕКТРИ ЕООД е технически обезпечена за разнообразни измервания в зависимост от необходимостта на клиентите. Като условия на акредитация описаните параметри и заявен обхват се извършват в съответствие с изискванията на изброените по-долу методи за изпитване, вътрешни одобрени процедури за контрол, а оценката от проведения контрол се извършва в съответствие с цитираните нормативни документи.

3.1. При измерване на шум в околна среда, методите на контрол са в съответствие с БДС 15471, БДС ISO1996-1, БДС ISO1996-2 и вътрешно разработени процедури за измерване на шум в околна среда ПК 10-1. Оценката на съответствието се извършва в съответствие с Наредба № 6, ДВ бр. 58/2006г. (Приложение 2, табл.2) и Техническа спецификация;

3.2. Измерване на шум в помещения на жилищни и обществени сгради, методите за контрол са в съответствие с БДС 15471 и ПК 10-3, а оценката на съответствието в съответствие с изискванията на Наредба № 6, ДВ бр. 58/2006 г. (Приложение 2,табл.1), Наредба № 24, ДВ бр. 95/2003г., Наредба № 9, ДВ бр. 46/1994г., Наредба № 2, ДВ бр. 15/2007г., Наредба № 26, ДВ бр. 103/2008г., Наредба № 4, ДВ бр. 6/2007г. и Техническа спецификация на клиента.

Разполагайки с апаратура от висок клас, която е метрологично проследима, ние имаме възможността за предложим на нашите клиенти високо точни и изключителни измервания на тонална детекция, определяне на импулсен шум, шум от климатици, трафопости, асансьори, нискочестотни измервания и др.

3.3. Измерване на шум в работна среда, методите за контрол са в съответствие с БДС ISO 1999 (БДС EN ISO 9612), БДС 15471 и разработени и одобрени процедури ПК 10-2, оценката на съответствието е по Наредба № 6, ДВ бр. 70/2005г., Наредба № 6, ДВбр.58/2006г. (Приложение 2,табл.1), Наредба № 7, ДВ бр.88/1999г., Наредба № 9, ДВ бр. 46/1994г., Наредба № 26, ДВ бр. 103/2008г. и Техническа спецификация на клиента.

3.4. Измерване на *вибрации предавани на системата „ръка-рамо“* и на *цяло тяло*, методи за контрол са определени в БДС ISO 2631-1, БДС EN ISO 5349-1, БДС EN ISO 5349-2, ПК 10-6, ПК 10-7, а оценката на съответствието по Наредба № 3, ДВ бр. 40/2005г. и Техническа спецификация на клиента.

3.5. Измерване на *вибрации на машини* се извършват по описаните методи за контрол БДС ISO 10816 (-1-6), Наредба № 9 (ДВ бр.72/2004г.) и одобрени процедури ПК 10-8, ПК 10-9, ПК 10-10, а оценката на съответствието се извършва по БДС ISO 10816 (-1-6), Наредба № 9 (ДВ бр.72/2004 г.), и Техническа спецификация на клиента.

3.6. Измерване на *вибрации в жилищни помещения*, метода за контрол и оценка на съответствието е описан в Наредба № 9, (ДВ бр.17/2010г.), а процедурата за измерване е описана в ПК 10-11.

4. Технически средства за контрол

4.1. Използваното техническо средство за осъществяване на *контрол на шум в околна, работна и битова среда* е интегриращ шумомер, 20 – 140 dB(A), тип 2250, производител Brüel & Kjær. Еталона за калибриране е Звуков калибратор, 94 dB(A)/1kHz, тип 4231, производител Brüel & Kjær. Уредите са клас 1 и отговарят на изискванията на стандарта и метрологично проследими.



Фиг. 2 Интегриращ шумомер тип 2250

В изпълнение на целите и политиката по качество за непрекъснато развитие и подобряване на услугите, които предлага ОКС СПЕКТРИ-ИЗМЕРВАНИЯ – техническо и експертно, през 2016 г. СПЕКТРИ ЕООД закупи за целите на контрола персонален шумов дозиметър тип 4448 за измерване на параметрите на шум на работно място, с възможност за определяне на дневно ниво на експозиция на шум, средноседмично ниво на експозиция на шум, dBA.



Фиг. 3 Персонален шумов дозиметър тип 4448

4.2. За осъществяването на контрол на *вибрации предавани на системата „ръка-рамо“* и на *цяло тяло* използваме вибрационен анализатор за “човешки вибрации” тип 4447, производител Brüel & Kjær, три канални акселерометър за система “цяло тяло” – 4515-B-002 и акселерометър тип 4515-B-002, Brüel & Kjær, еталона за калибриране на техническите средства е вибрационен калибратор тип 4294, на нашите партньори Brüel & Kjær.



Фиг. 4 Вибрационен анализатор тип 4447

4.3. При извършване на контрол на вибрации на машини и вибрации на сгради се използва многоканален мултианализатор PULSE, тип 3560-B-140 и акселерометър 4514-B-001, производител Brüel & Kjær. Калибрирането преди всяко измерване се извършва с еталон тип 4294 на Brüel & Kjær.



Фиг. 5 Мултианализатор Pulse, тип 3560-B-140

Еталони за калибриране на техническите средства за шум и вибрации



Фиг. 6 Звуков калибратор тип 4231



Фиг. 7 Вибрационен калибратор, тип 4294

Освен изброените технически средства за контрол, преди всяко измерване се регистрират параметрите на околната среда с чрез измерителя на условия на околна среда тип 5000 на Кестрел.

Органът за контрол спазва политиката за проследимост на ИА БСА и съгласно изискванията на BAS QR 27 използва следните източници на проследимост:

Национални метрологични институти (НМИ), включително Българският институт по метрология (БИМ), за области, публикувани в Приложение С (Appendix C) на CIPM MRA и акредитирани лаборатории за калибриране, които са с призната възможност за калибриране и измерване и проследимост с подходяща неопределеност, акредитирани от Национален орган за акредитация, страна по Многостранното споразумение на EA (EA MLA) или ILAC (ILAC-MRA) в област калибриране.

5. Фирмени компетенции и персонал

Специалистите в органа са назначени от Управителя на фирмата. Те са с дългогодишен опит и допълнителни квалификации по отношение на оценката и контрола на шум и вибрации и могат да извършват определените за тяхната длъжност контролни дейности, както и да правят професионални оценки на съответствието от контрола и да оценяват значимостта на откритите отклонения/несъответствия.

Обучението на персонала са непрекъснати външни или вътрешни и се извършват с цел повишаване на квалификацията и повишаване качеството на извършваните контролни дейности.

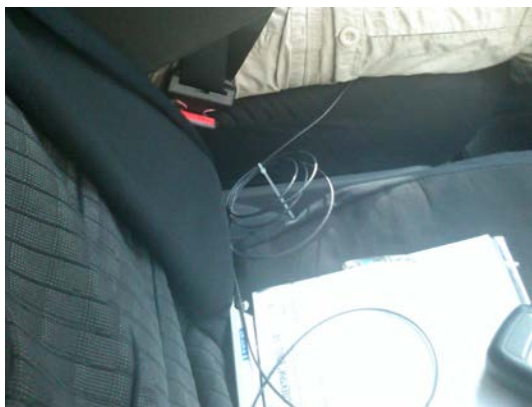
Служителите са притежатели на сертификати за системи по качество и вътрешни одитори по БДС EN ISO/IEC 17020:2012, издаден от Съюза на Метролозите в България и ИА БСА, обучение за измерване и контрол на шум в околна, работна и битова среда, издаден от Технически Университет София, обучение за измервания на вибрации от Технически Университет – София, обучение за работа с оборудване и решения на производителя Brüel & Kjær, а също така и обучение за метрологична проследимост на техническите средства от БИМ, и обучение на тема метрологична проследимост на средствата за измерване. Членове на екипа участват и в обученията организирани от Съюза на Метролозите в България като лектори.

Финансирането на обучението на персонала се извършва от фирмата, като текущо се набелязват нуждите от обучение и се използват всички съществуващи възможности за това. Управителят осигурява финансови ресурси за участие на специалистите на органа във външни форми на обучение като семинари, курсове, конференции и други.

6. Примери от реални измервания

6.1. Измервания на дневна стойност на експозицията на вибрации – по X, Y, Z ($A_w(8)x$, $A_w(8)y$ и $A_w(8)z$), m/s^2 на педал на съединител на Renault Traffic





Фиг. 8 Реални измервания на вибрации „цяло тяло“

6.2. Измерване на шум в работна среда в Топлофикация София ЕАД, след изпълнени мероприятия по обезшумяване на парогенератор General Turbo T12-2, 1500 KVA, Un-6300V, Speed – 3000 г.р.м., P – 12750 KW, I – 1375 A, frequency – 50 Hz.



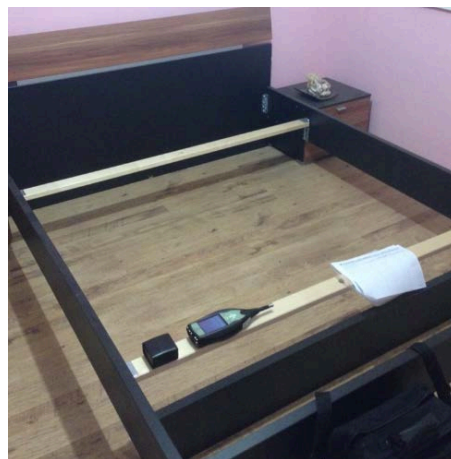
Фиг. 9 Реални измервания на шум в работна среда

6.3. Измервания на шум в околна среда – етап от акустичен проект.



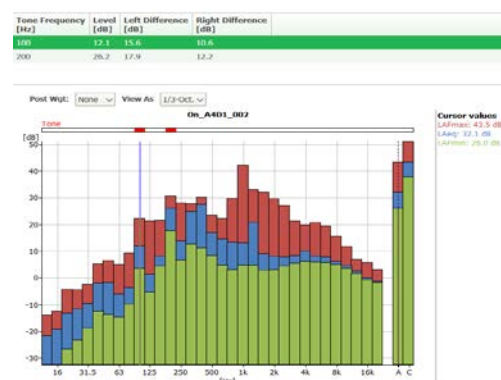
Фиг. 10 Реални измервания на шум в околна среда

6.4. Реализация на измерване, обследване и анализ на естество на оплакване от нискофестотен / тонален шум предизвикан от трансформатор, находящ се под спално помещение в жилищна сграда.



Фиг. 11 Реални измервания на тонален шум

Определяне, регистрация и отчитане на тонален шум е от изключително значение при контрола и оценката на шум в битова/околна среда



Фиг. 12 Представяне на резултатите в 1/3 октавен спектър

Корекцията в следствие на тонален шум би могла (каквото е и конкретния пример) да доведе до превишаване на нормативно определените гранични стойности

С оглед коректността и проследимостта в изготвяните заключения е от значение използването на надежден, доказуем и метрологично осигурен инструментариум (хардуер, софтуер)

6.5. Демонстрация при измервания на вибрации на сгради и вибрации на машини съгласно обхвата за акредитация



Фиг. 13 Демонстрация на измерване на вибрации на машини и вибрации на сгради по време на оценка и наблюдение за преакредитация.

7. Изводи

Наличието на официално признание, акредитация от специализиран държавен орган е необходимо условие за легитимността на всяко дружество в страната. То гарантира наблюдение и контрол на качеството на предоставяните услуги, поддържане на компетентността на персонала и поддръжката, управлението и развитието на материалната база през целия акредитационен период. Ето защо за нас е много важно да постигаме все по-добри резултати в своята работа.

Акредитацията на услугите на СПЕКТРИ ЕООД чрез ОКС СПЕКТРИ-ИЗМЕРВАНИЯ е нашата мисия да доставим оценени и акредитирани високо качествени и признати услуги на нашите клиенти, да спечелим тяхното доверие, като гарантираме призната и поддържана безпристрастност и висока техническа и експертна компетентност.

8. Литература

[1] БДС EN ISO/IEC 17020:2012

[2] БДС ISO 1996-1/2005 Акустика. Описание, измерване и оценяване на шума в околната среда.

[3] БДС ISO 1996-2/2011 Акустика. Описание, измерване и оценяване на шума в околната среда.

[4] БДС ISO 1999 Акустика. Определяне въздействието на шума при работа и оценяване увреждането на слуха, причинено от шум

[5] БДС 15471/1982 Шум. Методи за измерване и оценка в помещенията на жилища, обществени сгради и населени места

[6] БДС ISO 2631-1/2004 Вибрации и удар. Оценяване на въздействието на вибрациите върху цялото човешко тяло.

[7] БДС ISO 5349-1,2/2002 Вибрации. Измерване и оценка на въздействието на вибрациите, предаващи се по ръката на човека.

[8] БДС ISO 10816-1,2,3,4,5,6/2002 Вибрации. Оценка на вибрациите на машини чрез измерването им на невъртящи се части.

Данни за автора:

Борис Борисов Михайлов, Маг. инж. специалност „Микроелектроника“, Ръководител на Орган за контрол С «СПЕКТРИ-Измервания» при СПЕКТРИ ЕООД, Управител СПЕКТРИ ЕООД.

Научни интереси: шум, вибрации, метрологична проследимост, метрологично осигуряване, системи по качество, вътрешни одити.

Милко Тодоров Джамбазов, Маг. инж. (1972) – Ленинградски институт по точна механика и оптика (ЛИТМО) – гр. Санкт Петербург – Русия по специалността „Прибори на точната механика“; д-р (1976), ЛИТМО по Теория на механизмите и машините. Месторабота: Научен секретар на Българско академично метрологично дружество (2014) – експерт по метрологично осигуряване

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2017”	Варна 13 - 14.10.2017 г. София 01 - 02.12.2017 г.
Година XIX	□ Брой 19	Декември 2017 г.

НОВИ МЕТОДИ И ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНСКАТА УЛТРАЗВУКОВА ДИАГНОСТИКА

П. Андреев, Е. Беков

Технически университет – Варна, Ул. "Студентска" 1, 9010 Варна, България, p_andreev7@abv.bg

Резюме - В настоящата публикация са разгледани редица нови методи и технологии в съвременната ултразвукова медицинска диагностика. Подчертани са важните особености при разработването на нови видове ултразвукови трансдусери. Представени са новостите в ултразвуковата медицинска диагностика при еластографията и тъканните хармоници. Разгледани са нови тенденции в развитието на 3D, 4D, и 5D ултразвукова медицинска диагностиката. Направени са изводи и са дадени препоръки за бъдеща насока на научните изследвания в областта на ултразвуковата медицинска диагностика.

Ключови думи – медицинска ултразвукова диагностика, ултразвукови трансдусери, 3D и 4D образи, тъканни хармоници, еластография

I УВОД

В последните години значително нараства използването на редица нови методи и технологии в съвременната ултразвукова медицинска диагностика [1].

Ултразвуковата диагностика постигна много успехи в качеството на изображенията, като вече се доближава до голяма степен до техники като компютърна томография и магнитно-ядрен резонанс [2]. Голямо развитие се наблюдава в технологиите за разработка на ултразвуковите трансдусери [3]. Развиват се нови решения при обработката на ултразвуковите изображения. Постигна се съществено развитие при новите методи за ултразвукова медицинска диагностика като еластография, тъканни хармоници и др. Основната цел на тази публикация е да представите новите методи и технологии, като даде насоки за бъдеща работа и научни изследвания в областта на ултразвуковата медицинска диагностика.

II. ИЗЛОЖЕНИЕ

В началото ще разгледаме новите технологии за проектиране и развитие на ултразвуковите медицински трансдусери. Те са много важни защото от тях зависи основно качеството на медицинските ултразвукови изображения.

Едно от съвременните достижения е разработването на безжичен ултразвуков трансдусер, разработен от фирмата Siemens и показан на фигура 1. Това би позволило по-лесно извършване на диагностицирането на пациента и прякото свързване на ултразвуковия трансдусер към компютърни системи, притежаващи само нужния интерфейс за връзка [4].

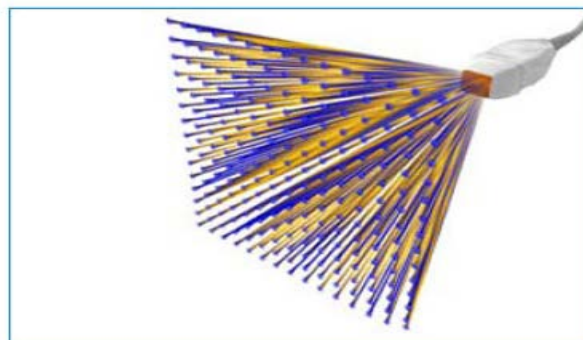
Разработват се нови високо технологични обемни трансдусери, чрез които могат да се формират качествени 3D и 4D ултразвукови изображения (фигура 2). Фирмата Philips е един от лидерите в тази област [5].



Фиг. 1. Безжичен ултразвуков трансдусер (източник: www.healthcare.siemens.com)

Много голям напредък се забелязва в методите за управление на елементите на трансдусера, което гарантира голямо бързодействие при сканиране.

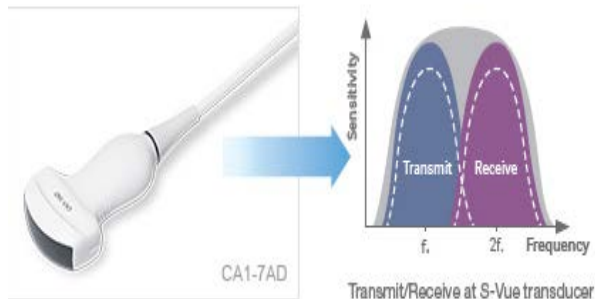
Това осигурява пикселно фокусиране в режим на предаване и лесно реализиране на цифров сканиращ конвертор в режим на приемане.



Фиг. 2. Обемен ултразвуков трансдусер (източник: www.healthcare.philips.com)

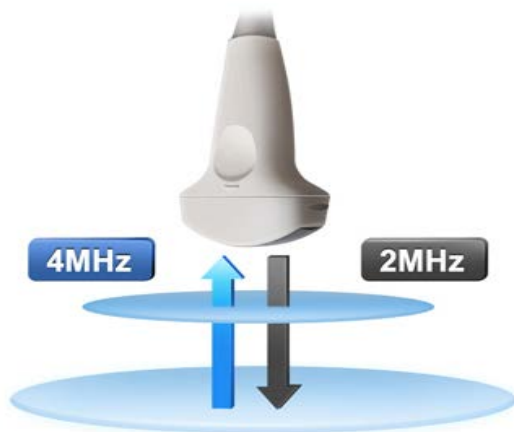
Съществен напредък се забелязва при разработката на широко честотни трансдюсери за медицинската ултразвукова диагностика.

Фирмата Samsung-Medison разработва трансдюсери [6], които работят в различен честотен диапазон в режим на предаване и в режим на приемане (фигура 3).



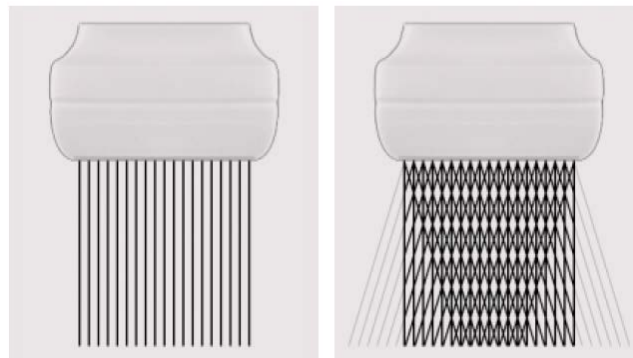
Фиг. 3. Широкочестотен ултразвуков трансдюсер (източник: www.samsungmedison.com)

Това позволява в режим на предаване ултразвуковия трансдюсер да предава с честота 2 MHz, а в режим на приемане да работи с два пъти по-висока честота - 4 MHz (фигура 4). Това позволява да се реализира метода на изследване познат под името тъканни хармоници. Този метод гарантира по-голяма разрешаваща способност на ултразвуковите изображения в дълбочина, което дава по-добра информативност за тъканните структури в зоната на фокусиране, съвпадаща с областта на интереса (ROI - region of interest).



Фиг. 4. Режим на предаване и приемане при ултразвуков трансдюсер за изследване на тъканни хармоници (източник: www.samsungmedison.com)

Голям интерес при ултразвуковата медицинска диагностика представлява възможността дадена област от тялото на пациента да бъде погледната от различни ъгли при сканиране. Така при сканиране на дадена област могат да се избегнат евентуални засенчвания при формиране на ултразвуковото изображение. Управляване на режимите на фокусиране и режимите на приемане може да формира така наречените компаундни изображения (фигура 5). По този начин може да се избере най-качественото и информативно изображение, като по него могат да се направят конкретни измервания и да се постави по-точна диагностика на пациента.



Фиг. 5. Формиране на компаундни изображения (източник: www.healthcare.philips.com)

Много голямо развитие в съвременната ултразвукова медицинска диагностика се наблюдава при обработката и визуализацията на ултразвуковите изображения. За формиране на изображенията се използват много срезове, запазени в паметта на ултразвуковите апарати. Благодарение на високата информативност на получените срезове, фирмата GE предлага софтуерен пакет за рендване на изображения (фигура 6) [6].



Фиг. 6. Рендване на ултразвуково изображения (източник: www.gehealthcare.com)

По съвкупността на образите от голямото количество срезове се дава възможност да бъде възстановен триизмерен образ на изследваната структура (режим 3D) и показването му в изключително реалистичен вид (фигура 7).



Фиг. 7. 3D ултразвуково изображение (източник: www.samsungmedison.com)

Новите 3D технологии позволяват да се избере най-подходящото изображение за извършване на редица измервания, като например при измерване на Nuchal Translucency (фигура 8).

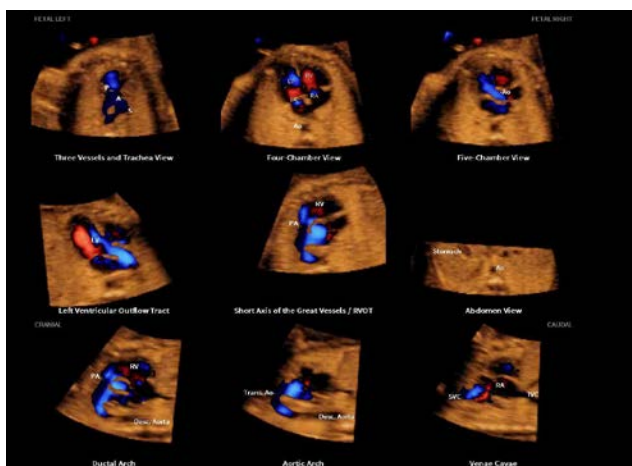


Фиг. 8. Ултразвуково изображение за измерване на Nuchal Translucency (източник: www.samsungmedison.com)

В последните години фирмата Samsung-Medison предложи и метод за 5D ултразвукова диагностика (фигура 9).

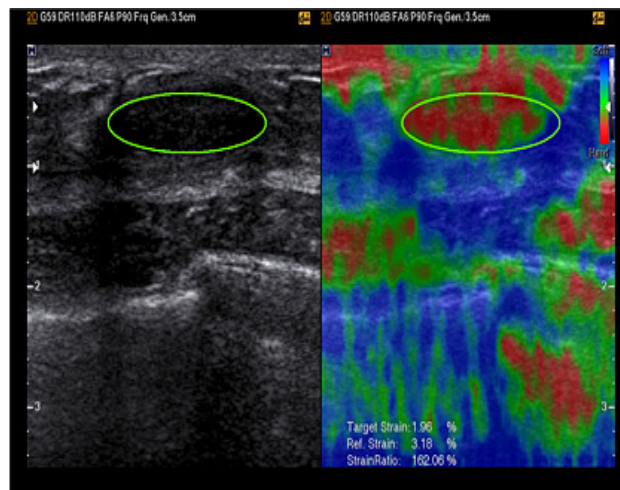
Предлаганата опция 5D Heart позволява от всичките срезове да се избере най-информативната съвкупност, по която да се направят точни измервания и да се постави най-вярната диагноза.

Разбира се трябва да се отбележи, че развитието при проектирането на обемни трансдюсери позволи да се формира и 4D ултразвукова медицинска диагностика.



Фиг. 9. Ултразвуково изображение при 5D ултразвукова диагностика (източник: www.samsungmedison.com)

Изследването на еластичните свойства на тъканите с помощта на ултразвукови методи е в основата на ултразвуковата еластография (фигура 10). Това позволява полесно диагностициране на редица туморни заболявания преди всичко при изследване на гърда.



Фиг. 10. Ултразвукова еластография (източник: www.samsungmedison.com)

III. ДИСКУСИЯ

От разгледаните по-горе новости и технологии могат да се направят следните по-важни изводи:

1. Наблюдава се съществено развитие при ултразвуковите медицински трансдюсери и основно развитие на технологиите свързан с проектиране на широкочестотни трансдюсери.
2. Съществен напредък има при технологии за получаване на по-добри и по-качествени медицински ултразвукови изображения, притежаващи голяма диагностична стойност и информативност.
3. На лице е съществено развитие на 3D, 4D, и 5D ултразвуковата медицинска диагностиката.
4. Има значително развитие на еластографските методи и получаването на динамични ултразвукови еластографски образи, както се забелязва и развитие в методите при изследване на тъканни хармоници.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Посочените по-горе накратко нови методи и тенденции в ултразвуковата медицинска диагностика обхващат само една част от новите технологии в медицинската ултразвукова диагностика. Техни предимства са неинвазивност, безвредност, в частност липса на йонизиращи лъчения, както и широка достъпност на ултразвуковата медицинска диагностика. Тези методи и технологии удачно допълват добре известните методи на "класическата" обзорна медицинска диагностика, като компютърна томография и магнитно-ядрен резонанс. В резултатът на представените в тази публикация технологии и методи могат да бъдат направени следните основни изводи за бъдещи разработки в тази област:

1. Усъвършенстване на ултразвуковите трансдюсери чрез прилагане на нови методи за моделиране, симулация и проектиране.
2. Прилагане на нови технологии за подобряване на качеството и информативността на ултразвуковите медицински изображения.
3. Разработване на нови и доразвиване на съществуващите методи за ултразвукова диагностика, като тъканни хармоници, еластография и др.

V. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Thomas L. Szabo, Diagnostic Ultrasound Imaging, Elsevier, 2014
- [2] Carol M. Rumack, Diagnostic Ultrasound, 2011

- [3] Peter Hoskins, Diagnostic Ultrasound: Physics and equipment, Cambridge Medicine, 2010
- [4] www.healthcare.siemens.com, 2017
- [5] www.healthcare.philips.com, 2017
- [6] www.samsungmedison.com, 2017
- [7] www.gehealthcare.com, 2017

	АКУСТИКА Национална конференция "Акустика 2017"	Варна 13 - 14.10.2017 г. София 01 - 02.12.2017 г.
Година XIX	□ Брой 19	Декември 2017 г.

ПРОЕКТИРАНЕ НА КОНВЕКСЕН УЛТРАЗВУКОВ ТРАНСДЮСЕР ЗА МЕДИЦИНСКА ДИАГНОСТИКА

инж. Пл. Андреев

Технически университет – Варна, Ул. "Студентска" 1, 9010 Варна, България, p_andreev7@abv.bg

Резюме - статията представя компютърно моделиране, и анализ на ултразвукови преобразователи за медицинска ултразвукова диагностика на човешки органи. Моделирането на преобразувателя се основава на неговата геометрична форма, размер и брой елементи. Анализът се извършва за работна честота от 5 МНз и дълбочина на фокуса 20 мм. - достатъчна за медицински диагностика на малки по размер участъци от човешкото тяло или органи. Представени са няколко различни конфигурации, базирани на общия брой елементи на преобразувателя. Резултатите от анализа се представят като графики, където се сравнява и оценява тяхната работа. Проектните изображения за определяне на оптималния брой елементи за даден трансдюсер са дефинирани и формулирани.

Ключови думи - Компютърно моделиране, Медицински ултразвук, Медицинска ултразвукова диагностика, Моделиране на системи.

1 УВОД

През последните години има голямо развитие в областта на ултразвуковата медицинска диагностика [1]. Модерният ултразвук е алтернатива на рентгеновата диагностика и други техники за изображения, главно с безопасността, както и много високо качество на ултразвуковото изображение. В области като акушерство и гинекология ултразвукът е безспорен лидер и няма алтернатива за безопасността при изследването на пациента [2].

Основна част от ултразвуковата диагностична апаратура е ултразвуковият преобразувател. Качеството на ултразвуковото изображение зависи от ултразвуковия преобразувател. Въвеждането на нови 3D и 4D техники в съвременната ултразвукова диагностика е свързано с типа и дизайна на ултразвуковия трансдюсер. Обемните преобразователи покриват тези възможности, но за момента те са много скъпи, технологично сложни за производство и управление. Това прави линейните и конвексните ултразвукови трансдусери, използвани най-често при медицинска ултразвукова диагностика [3].

II. ИЗЛОЖЕНИЕ

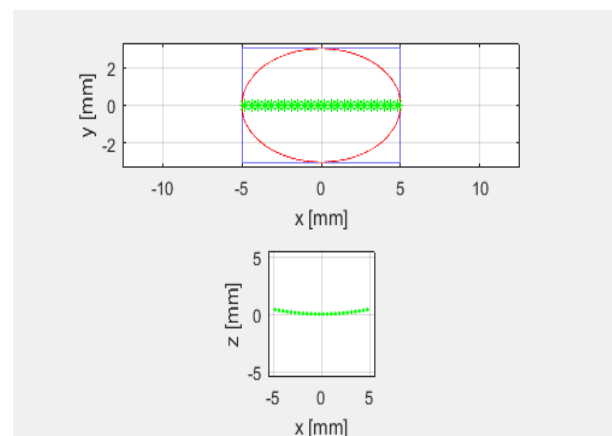
Голям интерес представлява моделирането на конвексен ултразвуков трансдюсер. Той се среща често в специфични области на ултразвуковата медицина [4]. Конвексните трансдусери работят в честотен диапазон от 5-7,5 МНз и фокусно разстояние 20-100 мм. Изследванията ще бъдат направени при гранични условия на работа на трансдусера за честота 5 МНз, фокусно разстояние 20 мм. и радиус на закръгление 30 мм.

Ще разгледаме и работата на трансдусера при същата честота и фокусно разстояние и при радиус на закръгление 15 мм, за да конкретизираме как влияе той върху работата на трансдусера. За моделиране на ултразвуков трансдюсер е подходящо използване на компютърни програми. Те моделират и симулират работата на ултразвуковия преобразувател и дават разпределението на

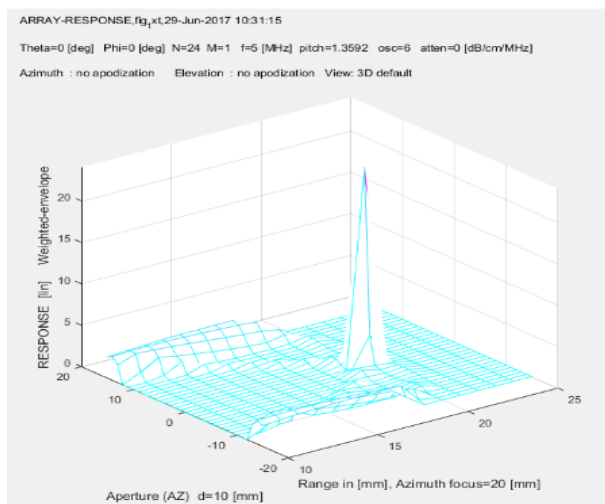
ултразвуковата вълна в тъканните структури [5]. Изследванията и анализите в тази публикация се правят със софтуерния пакет Ultrasim, разработен в Университета в Осло, Норвегия [6].

Разгледана е конструкцията на конвексен ултразвуков трансдюсер. Преобразувателят, който предлагам е подходящ за изследване на органи на човешкото тяло, като например абдоминални органи и области в акушерство и гинекология. Проучването е проведено за различен брой елементи на ултразвуковия трансдюсер 24, 32, 48 и 64.

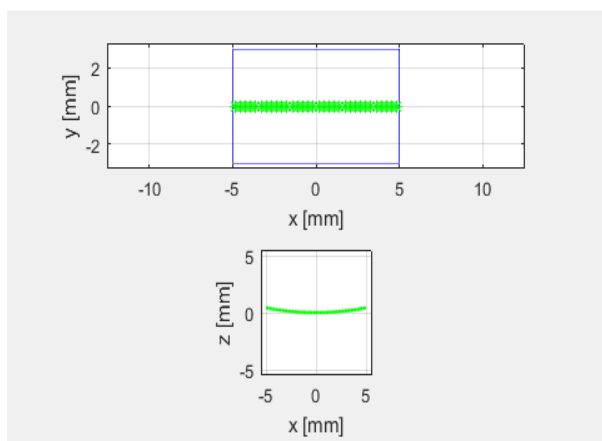
Извършените изследвания са изложени в графики при различен брой елементи [7]. При изследване на трансдюсер с 24 елемента на фигура 1 е дадено разположение на елементите на преобразувателя, на фигура 2 е даден интензитетът на енергията на ултразвуковата вълна. Всички резултати за разпределението на ултразвуковата енергия, излъчвана от ултразвуковите преобразователи, са в центъра на фокуса - 20 mm, което е основната ни цел на изследване. По същия начин са направени изследванията съответно за 32, 48 и 64 броя елементи на ултразвуковия преобразувател.



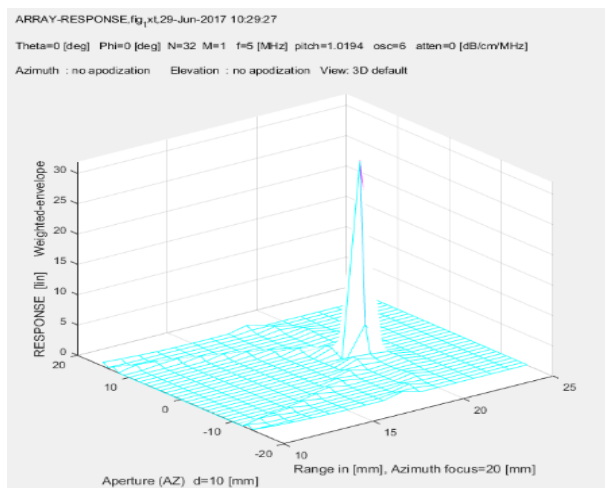
Фиг. 1. Разположение на елементите на трансдюсер с 24 елемента



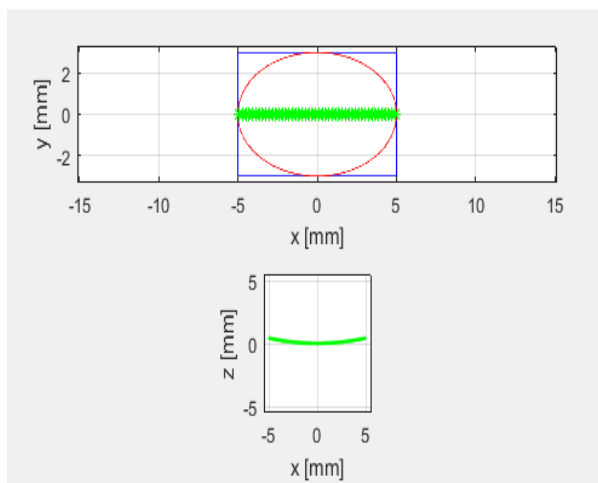
Фиг. 2. Интензитет на енергията на ултразвуковата вълна с 24 елемента



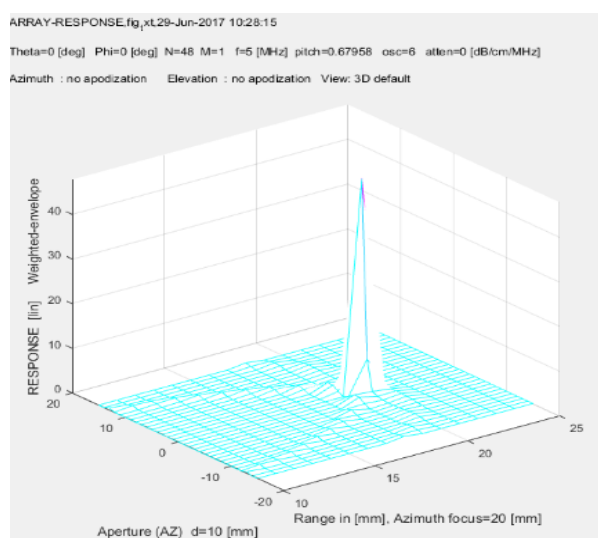
Фиг. 3. Разположение на елементите на трансдюзер от 32 елемента



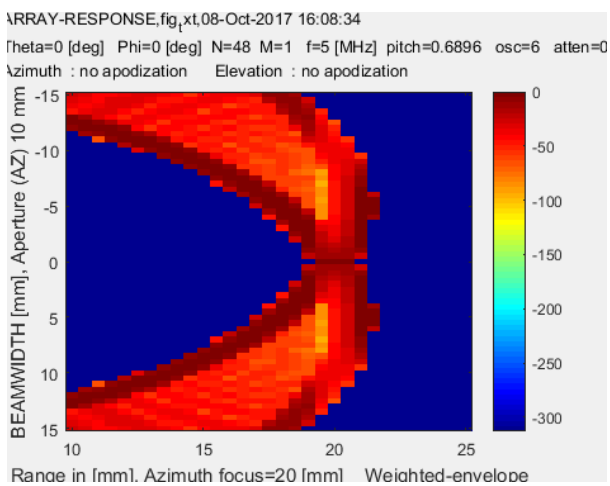
Фиг. 4. Интензитет на енергията на ултразвуковата вълна с 32 елемента



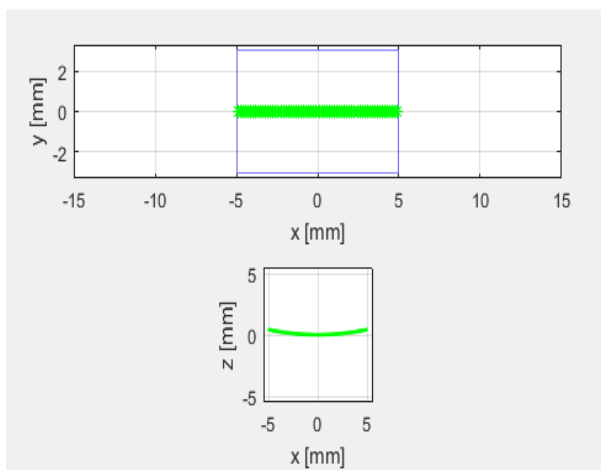
Фиг. 5. Разположение на елементите на трансдюзер с 48 елемента



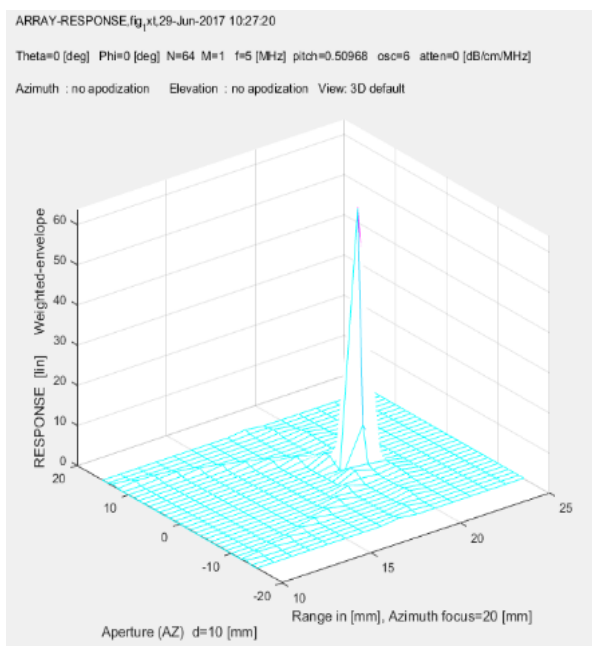
Фиг. 6. Интензитет на енергията на ултразвуковата вълна с 48 елемента



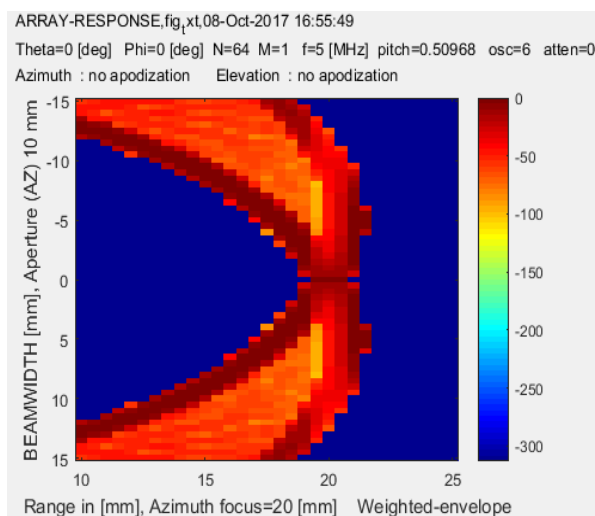
Фиг. 7. Контурен плот на разпространението на вълната с 48 елемента



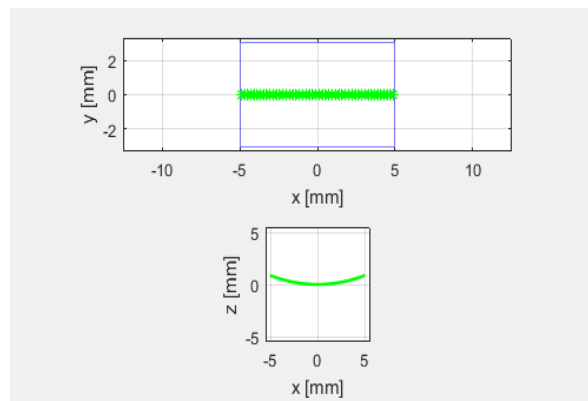
Фиг. 8. Разположение на елементите на трансдюсер с 64 елемента



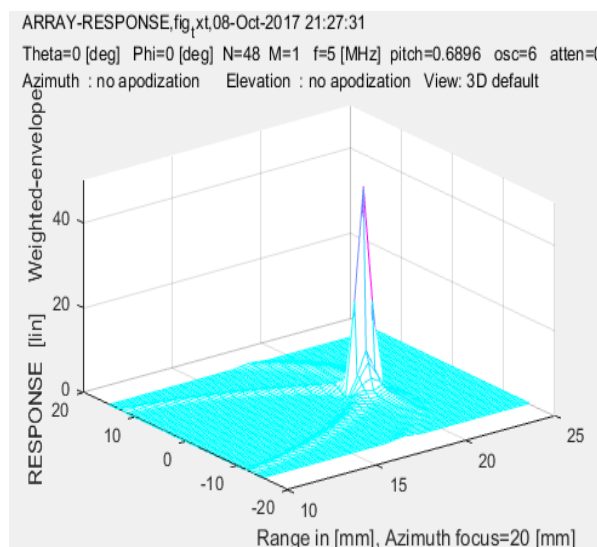
Фиг. 9. Интензитет на енергията на ултразвуковата вълна с 64 елемента



Фиг. 10. Контурен плот на разпространението на вълната с 64 елемента



Фиг. 11. Разположение на елементите на трансдюсер с 48 елемента и радиус на закръгление 15 мм.



Фиг. 12. Интензитет на енергията на ултразвуковата вълна с 48 елемента и радиус на закръгление 15 мм.

III. ДИСКУСИЯ

Според графиките можем да направим следните изводи:

1. В графики 2 и 4 са видими по-високи странични лобове при разпространение на ултразвуковата вълна в точката на фокусиране. Това означава, че имаме разсейване на голяма част от ултразвуковата енергия извън фокусната област съсредоточена в тях, а по-малка част във фокусната област;
2. В графики 6 и 9 са видими малки странични лобове по пътя на разпространение на ултразвуковата вълна в точката на фокусиране. Това означава, че малка част от ултразвуковата енергия е фокусирана върху тях, като по-голямата е във фокуса;
3. От графиките 6 и 9 се вижда, че няма голяма разлика в нивото на енергия в страничните лобове. Това ни позволява да заключим, че оптималният брой елементи за този тип трансдюсер е 48. Това ще осигури по-лесна конструкция на преобразователя и ефективно управление на елементите на трансдюсера в зоната на фокусиране;
4. Сравнявайки графики 6 и 12 (графика на конвексен трансдюсер с радиус на закръгление 15мм.) се вижда, че съществени разлики в диаграмите не съществуват.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатът от изследванията и анализите в тази публикация може да бъде направен след следните основни изводи:

1. За анализите е избрана конструкция на конвексен ултразвуков трансдюсер с фокусно разстояние - 20 мм и

основна работна честота 5 MHz, както и радиус на закръгление 30 мм.;

2. Изследвано е разпределението на енергията на ултразвуковата вълна във фокусната точка за конвексен ултразвуков трансдюсер с 24, 32, 48 и 64 елемента;

3. Избран е оптималния брой елементи да бъде 48, тъй като органите които се наблюдават са на по-малка дълбочина и фокусно разстояние 20 мм., следователно мощността необходима в основния лоб за наблюдение ще бъде напълно достатъчна за получаване на качествено изображение;

4. Конвексният трансдюсер с 48 елемента е по лесен конструктивно за изработка и управление на елементите от този с 64 елемента. Той е и с по-ниска производствена себестойност. Следователно конвексен трансдюсер с 48 елемента е оптимален вариант в нашето проектиране;

5. Целесъобразно е 64 елементен трансдюсер да се използва за органи на по-голяма дълбочина на фокусното разстояние, където е необходима и по-голяма енергия в основния лоб.

V. ЛИТЕРАТУРА

[1] Л. Осипов, Ултразвукови диагностични прибори, Москва, 1999

[2] L. Szabo, Diagnostic Ultrasound – Imaging inside out, Elsevier Press, 2004

[3] I. Dascalov, Ultrasound diagnostic, Patra, Greece, 1996

[4] Goldenberg R., Smith W., Ultrasound-transducer, CRC Press, New York , 2004

[5] Ghorayeb S.,Maione E., Magna V., Modeling of ultrasonic Wave propagation in using Pspice, IEEE Trans. Ultrasonic, Ferroelektronik, Freq. Contr.,vol.48 pp 1124-1131, Juli.2001

[6] S. Holm, Ultrasound field simulation, Norway, 2001

[7] S. Holm, Ultrasim – Technical Manual, Norway, 2000

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2017”	Варна 10 - 11.10.2017 г. София 01 - 02.12.2017 г. Декември 2017 г.
Година XIX	□ Брой 19	

СИГНАЛЕН ПРОЦЕСОР НА ШИРОКОЛЕНТОВИ АКУСТИЧНИ СИГНАЛИ ВЪВ ВРЕМЕННО ЧЕСТОТНАТА ОБЛАСТ

SIGNAL PROCESSOR OF BROADBAND ACOUSTIC SIGNAL IN TEMPORARY FREQUENCY FIELD

Доцент д-р. И. Илиев
ВВМУ „Н. Й. Вапцаров, Email: ilieviliyan@ymail.com

Abstract: The processing of passive acoustic signals in the field of marine science requires the determination of the frequency range, the intensity of the fundamental frequency components and the construction of the sound images of the object's own noise. Images of sound signals created by the passive acoustics method are used in both civilian and military spheres. To the extent that the received signal does not directly extract the useful information, it needs to be transformed by a certain type of processing. The quality of the information extracted depends on the processing methods used in the signal processor. The report presents a software signal processor for frequency and temporal frequency analysis of modulated broadband signal based on FFT with averaging and STFT.

Keywords: narrowband analysis, STFT, DEMON, modulated noise.

1. Увод.

Откриването и класификацията на обекти под вода чрез различни видове сензори представлява основно предизвикателство пред бизнеса свързан с морската индустрия. От всички видове собствени полета на обектите шумовото поле предоставя най-добри възможности за ефективно решаване на тези задачи, което дава тласък в изследванията на корабния шум. Амплитудната модулация на шума на винта поражда явленията биене, което се изразява в периодично усилване на шумовия сигнал в зависимост от оборотите на винта и броя на лопатките. Явлението е известно и се използва от операторите на хидроакустични станции за класификация на целите и определяне на тяхната скорост. Спектърът на шума на винта в нискофреkwентната област съдържа дискретни спектрални съставки, честотите, на които се определят чрез формулата: [1]

$$(1) \quad f_m = \frac{mns}{60}$$

където m-номер на дискретната съставка; n- брой на лопатките на винта; s – честота на въртене на винта в об/мин.

Кавитационен или хидродинамичен шумов сигнал модулиран по амплитуда от дискретните спектрални съставки се описва със съотношението: [2]

$$(2) \quad p(t) = [1 + \sum_{i=1}^q m_i A_i \cos(\omega_i t)] x(t)$$

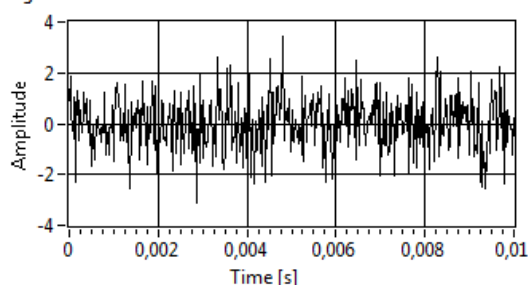
където m_i е коефициента на модулация на i-я дискретен шум; A_i – амплитуда на i-я модулиращ дискретен шум; ω_i – кръгова честота на i-я модулиращ дискретен шум; $x(t)$ – хидроакустичен шум, чиято плътност на разпределение се подчинява на гаусовия закон.

Комплексният дискретен модулиран шумов сигнал се представя чрез израза:

$$(3) \quad p(n) = [1 + \sum_{i=1}^q m_i A_i e^{j \frac{2\pi k_i n}{N}}] x(n)$$

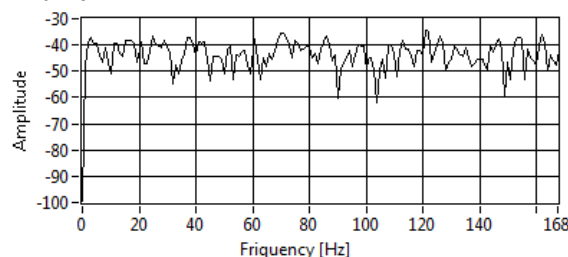
Временна диаграма на симулиран адитивен гаусов шум с ефективно ниво 10mV модулиран с адитивна смес от два синусоидални сигнала с честоти (10; 15) Hz и коефициенти на модулация (0,33; 0,5) е показан на фигура 1. Спектърът на симулирания сигнал показан на фигура 2 се определя от шумовия спектър, чиито спектрални линии модифицират спектралните линии на модулирания сигнал.

Input Signal



Фиг. 1. Симулиран модулиран шумов сигнал.

FFT - (RMS)



Фиг. 2. Мощностен спектър на модулиран шумов сигнал. Дискретният спектър на модулирания сигнал се описва с израза:

(4)
$$N(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \left[1 + \sum_{i=1}^q m_i A_i e^{\left(\frac{2\pi k_i n}{N}\right)} \right] x(n) e^{-j\frac{2\pi kn}{N}}$$
 където N е броя на отчетите на сигнала; k_i – дискретна честота на модулиращ дискретен шум.

Реалният сигнал във формула (2) е представен чрез неговата комплексна форма. Дискретният спектър след преобразуване може да се представи във вида:

$$(5) \quad N(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j\frac{2\pi kn}{N}} + \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{i=1}^q m_i A_i x(n) e^{-j\frac{2\pi(k-k_i)n}{N}}$$

Първият член в спектъра на сигнала представлява спектъра на широколентов шумов сигнал - $X(k)$. Вторият член е конволюция на спектрите на широколентов шум и дискретните съставни. Спектърът на сигнала в честотната лента на сигналния процесор е равен на:

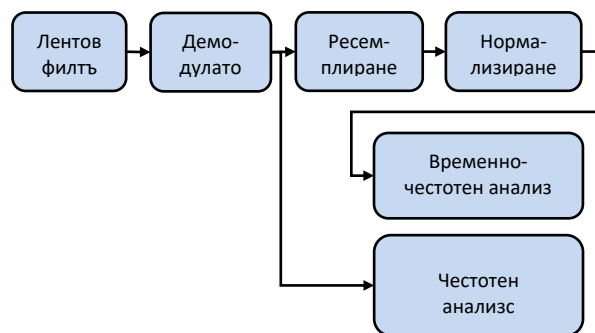
$$(6) \quad N(k) = X(k) + \sum_{i=1}^q m_i A_i X(k - k_i)$$

Доколкото спектралните съставни на широколентов шумов сигнал клонят към нула, то $N(k) \approx X(k)$. Този извод показва, че чрез директно прилагане на FFT преобразуването върху входния модулиран сигнал не е възможно да се открият спектралните линии на модулиращите сигнали, което се доказва от спектъра на такъв сигнал показан на фиг. 2.

На съвременния етап са разработени два метода за анализ на широколентов корабен сигнал DEMON (Detection Envelope Modulation On Noise) (Nielsen, 1991) и LOFAR (Low Frequency Analysis and Recording) (Di Martino, 1993), [3]. Първият метод определя дискретните съставни в спектъра на модулирания широколентов шум чрез теснолентов анализ на сигнала, докато вторият метод представлява широколентов анализ на шума и открива насложените в него дискретни честотни сигнали. И двата метода се базират на спектралната обработка на сигнала и се използват за откриване и класификация на целите.

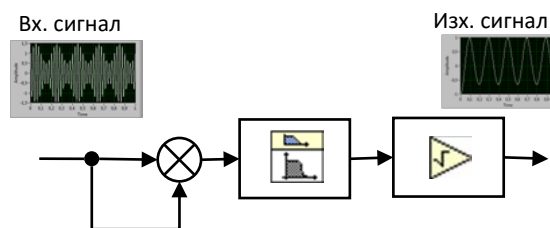
2. Софтуерна реализация на сигнален процесор за откриване на дискретните съставни в модулиран широколентов шум.

Разработеният сигнален процесор представлява софтуерна реализация на DEMON обработката на широколентов сигнал в среда на LabView. Алгоритъмът на обработката включва операциите демодулация, ресемплиране, нормализация на бейсбанд сигнал. Определянето на честотите на дискретните спектрални съставни в нормализирания бейсбанд сигнал се извършва чрез честотен анализ с усредняване и временно-честотен анализ. В първият случай извлечената полезна информация се представя под формата на усреднен мощностен спектър, а във вторият случай във вид на спектрограма. Блокова диаграма на алгоритъма е показана на фигура 3.



Фиг. 3. Блокова диаграма на DEMON обработка на широколентов сигнал.

Използването на STFT позволява да се получи детайлна сигнатура на сигнала във временно-честотната област. Демодулаторът използва методът на асинхронно квадратично детектиране на реалния сигнал за отделяне на модулиращата компонента на широколентов шум. Цифрова версия на блокова диаграма на асинхронен квадратичен детектор е показана на фигура 4.

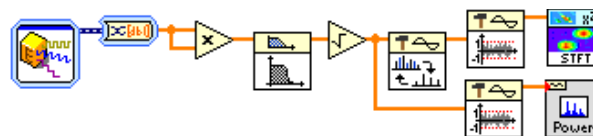


Фиг. 4. Блокова диаграма на цифров асинхронен квадратичен детектор на реален сигнал.

Детекторът преобразува спектъра на дискретния входен сигнал във вида:

$$(7) \quad N(k) = X^2(k) + \sum_{i=1}^q m_i A_i X^2(k - k_i) + \sum_{i=1}^q m_i^2 A_i^2 X^2(k - 2k_i)$$

Първият член на спектъра представлява спектъра на квадрата на шумовата компонента, чиито компоненти са с ниски стойности. Вторият член е конволюция на спектрите на дискретните съставни със спектъра на квадрата на шумовата компонента. За стойности на дискретната честота k равна на дискретната спектрална линия k_i тази компонента е произведение от амплитудата на спектралната линия и дисперсията на шумовата компонента. Поради това нивото на тези компоненти е отчетливо по-високо от нивото на останалите спектрални линии. Третата компонента представлява конволюция между спектрите на квадрата на дискретните съставни с удвоена честота и квадрата на шумовата компонента. Нивото на тази компонента за стойност на дискретната честота k равна на дискретната спектрална линия $2k_i$ също е високо, но нежеланото влияние на тези компоненти върху анализа се отстранява чрез нискочестотния филтър. Ресемплирането е необходимо за да се повиши разрешаващата способност на STFT обработката. Нормализирането премахва отместването на спектъра и изравнява амплитудите на спектралните линии относно ниво 1. Блокова диаграма на процесор за DEMON анализ на широколентов модулиран шум в среда на LabView е показана на фигура 5. [4]



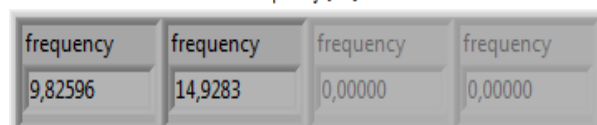
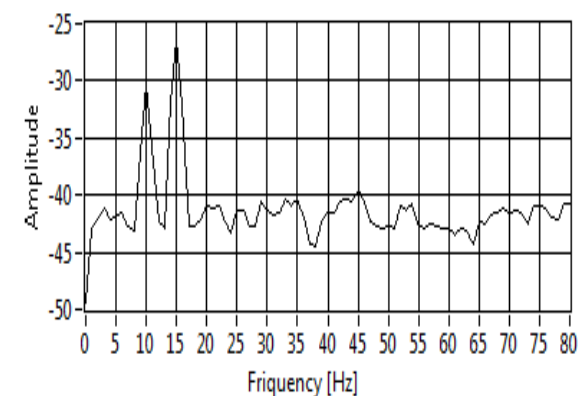
Фиг. 5. Блокова диаграма на процесор за DEMON анализ на широколентов модулиран шум.

3. Резултати и дискусия.

Работата на процесора е демонстрирана чрез сигнална анализ на симулирания амплитудно модулиран гаусов шум от фиг. 1 и реален собствен шум на катер. Горната гранична честота на нискочестотния филтър е 200 Hz. Усредненият спектър на получената след демодулацията амплитуда на модулирания шум е представен на фигура 6. Откритите спектрални линии на модулиращите сигнали с честоти 10 и 15 Hz превишават максималното ниво на спектралните линии на широколентовата компонента с 20 и 25 dB съответно. В процесорът е вградена функция за прагова оценка на

честотата на спектралните съставки, чийто стойности се извеждат на цифров индикатор, показан на фиг. 6.

FFT - (RMS)

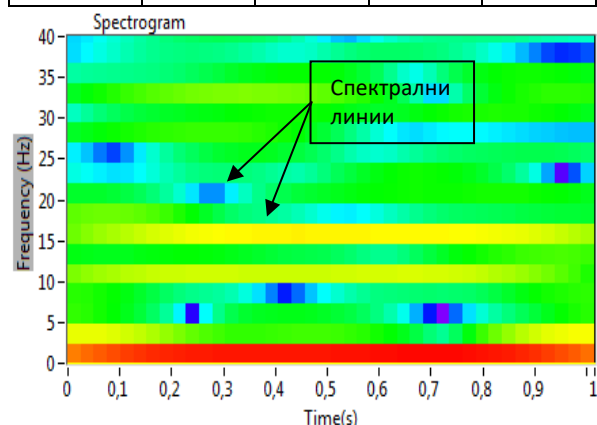


Фиг. 6. Усреднен мощностен спектър на модулираната амплитуда на широколентов шум.

Една секундна спектрограма на симулирания сигнал получена чрез временно-честотен анализ на базата на STFT е показана на фигура 7. Ресемплираният демодулиран сигнал е с честота 1260 Hz. Използваните параметрите на STFT преобразуването - Hanning прозорец с ширина 1024 смпъла, стъпка 32 смпъла и изобразяване на спектъра с 512 бина позволяват представяне на временно-честотния спектър на сигнала с разрешаващи способности по време 0,025 s, и по честота 2,5 Hz.

Корабите използват винтове с брой на лопатките средно от 3 до 6 и честота на въртене под 200 об/мин. Честотите на първата модулираща дискретна съставка при въртене на винта с 180 об/мин в зависимост от броя на лопатките изчислени чрез формула (1) са дадени в таблица 1.

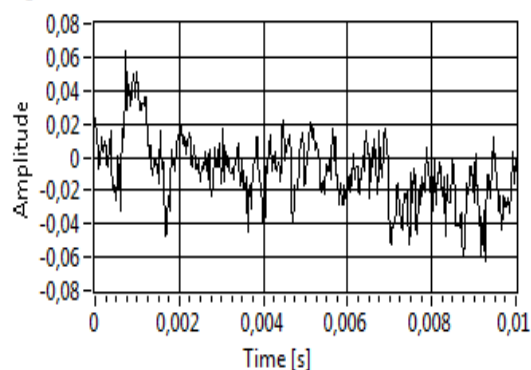
Брой лопатки	3	4	5	6
f_1 (Hz)	9	12	15	18



Фиг. 7. Спектрограма на демодулиран симулиран амплитудно модулиран широколентов шум.

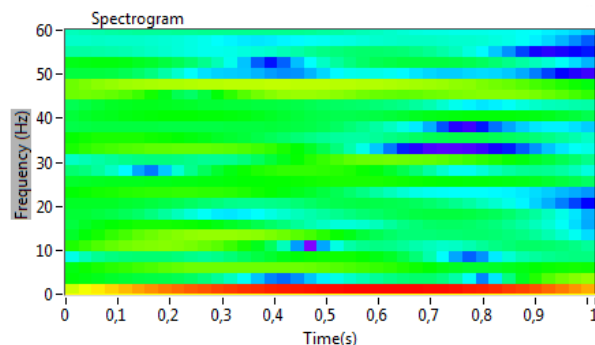
Реалният запис е на катер на котва с работещ дизелгенератор и е направен с честота на дискретизация 44,1 kHz. Временна диаграма на 0,1 s от записа е показана на фигура 8.

Input Signal



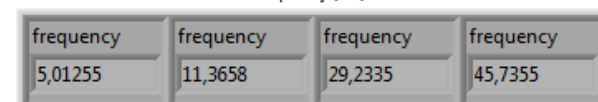
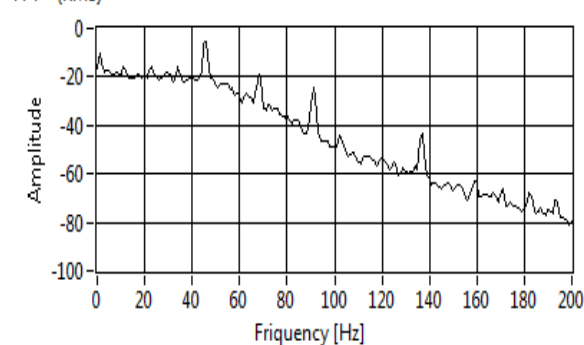
Фиг.8. Временна диаграма на реален собствен шумов сигнал на катер на котва.

Поради липса на движение на катера се предполага, че собственият му шум представлява адитивна смес от дискретни съставки от работата на дизелгенератора и широколентов шум и DEMON анализа не трябва да открие дискретни съставки. В случая обработката чрез DEMON анализ открива една сравнително ясно изразена дискретна съставка на 45 Hz, фигура 9, но поради високата честота не би трябвало да се приеме, че тя е от винта.



Фиг.9. Спектрограма на шумов сигнал на катер на стоп чрез DEMON анализ.

Спектърът на шума на катера е показан на фигура 10.

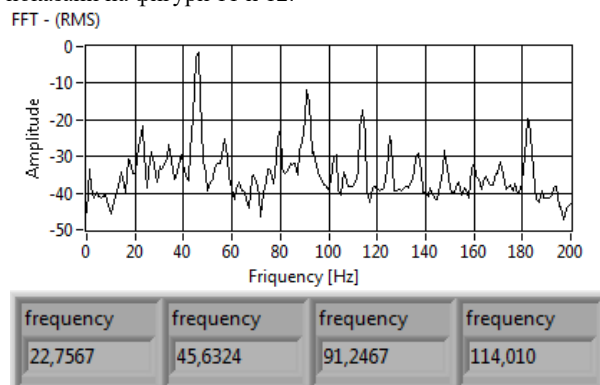


Фиг. 10. Спектър на шумов сигнал на катер на стоп чрез DEMON анализ.

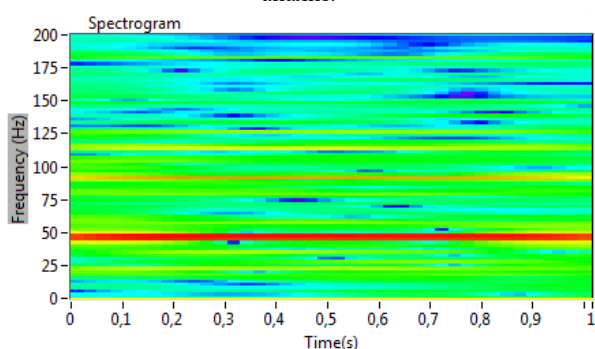
Дискретните съставки на 5, 11 и 29 Hz, които са открити не се наблюдават отчетливо на спектрограмата и трябва да се подложат на допълнителна проверка преди окончателно вземане на решение. Анализът на спектъра и спектрограмата на реален собствен шумов сигнал показва, че правилната класификация изисква многократно сравняване на резултатите получавани с

различни методи с цел намаляване на вероятността от грешка.

Собственият шум на катера е анализиран и чрез LOFAR анализ. Спектърът и спектрограмата на шума са показани на фигури 11 и 12.



Фиг. 11. Спектър на собствен шум на катер чрез LOFAR анализ.



Фиг. 12. Спектрограма на собствен шум на катер чрез LOFAR анализ.

От анализите на графиките и работата на откривателя се идентифицират честотите на четирите дискретни съставни с най-високо ниво в шума на дизелгенератора - честотите 22, 45, 91 и 114 Hz.

4. Заключение.

В доклада на основата на DEMON анализа и виртуалните инструменти на LabView е показан вариант на сигналния процесор за обработка на пасивен модулиран широколентов сигнал. Паралелно е направена математическа обосновка на необходимостта от квадратурна демодулация на този тип сигнал за извличане на спектралните съставни класифициращи обекта. За изследване работата на процесорът са обработени симулиран модулиран шумов сигнал и запис на реален шум от катер. Резултатът от обработката е получаване на усреднен спектър на сигналите и спектрограма на 1 s от сигналите, която представлява тяхната сигнатура във временно-честотната област.

Литература:

1. Роберт Дж. Урик, „Основы гидроакутики“, „Судостроение“, 1978
2. А.П.Евтюпов, А.Е.Колесников и др., „Справочник по гидроакустике“, „Судостроение“, 1982
3. N. N. de Moura, J. M. de Seixas and Ricardo Ramos, „Passive Sonar Signal Detection and Classification Based on Independent Component Analysis“, *Federal University of Rio de Janeiro, COPPE/Poli, Signal Processing Laboratory, Rio de Janeiro, Brazil, 2011*
4. Fedosov V. P, Nesterenko A. K, „Digital signal processing in LabView“, DMK Press, 2007, ISBN 5-8327-0269-7.

	АКУСТИКА Национална конференция "Акустика 2017"	Варна 13 - 14.10.2017 г. София 01-02.12.2017 г.
Година XIX	□ Брой 19	Декември 2017 г.

ВЪЗМОЖНОСТ ЗА КОМПЛЕКСНО ИЗПОЛЗВАНЕ НА УЛТРАЗВУКОВИ МЕТОДИ ЗА ОЦЕНКА НА МЕХАНИЧНОТО НАПРЕГНАТО СЪСТОЯНИЕ НА ГАЗОПРОВОДИ

маг.инж. П. Чукачев

Мултитест ООД, гр.Варна, 9009, България, e-mail: p.chukachev@multitest.bg

Резюме: Представени са резултати от ултразвуково определяне на скоростите на разпространение на надлъжни, повърхностни и подповърхностни вълни, от пресмятане на акустикоеластичните коефициенти използвани за оценка, в механичните напрежения в материала. Приведени са данни от определяне на механичните напрежения в тръба от газопровод със заварено съединение.

Ключови думи: ултразвукови методи, механични напрежения, надлъжни, напречни, повърхностни и подповърхностни вълни.

POSSIBILITY OF COMPLEX USE OF ULTRASONIC METHODS FOR EVALUATION OF MECHANICAL STRESS CONDITION OF PIPELINES

P.Chukachev

Summary: Results are presented of ultrasonic determination of the propagation velocities of longitudinal, surface and subsurface waves, from the calculation of the acoustic elastic coefficients used for evaluation in mechanical stresses in the material. Data are provided from the determination of the mechanical stresses in a pipe of pipeline with a welded joint.

Познаването на промените в механичното напрегнато състояние (МНС) на тръбопроводи (топло, газо, нефтопроводи) е необходимо условие за вземане на необходимите решения за провеждане на ремонт. Данните се използват и при оценка на ресурса на тръбопроводи, с цел удължаване на срока на ползването им експлоатация.

В литературата могат да бъдат намерени значителен обем от материали за използване на безразрушителни методи за оценка на МНС, като например шумове на Баркхаузен, тензометричен, акустична емисия, рентгеноструктурен анализ, поляризационнооптичен и др. Съществува и група полуразрушителни методи, като например, метода чрез пробиване на цилиндрични отвори в повърхностния слой на материала [1 ÷ 11].

Като най-силно развити се очертават ултразвуковите методи, основани на използването на различни видове вълни разпространяващи се в материала. Определянето на МНС се основава на добре изучените теоретично и потвърдени експериментално зависимости между скоростите на разпространение и действащите механични напрежения в материалите [1 ÷ 13].

В настоящата работа изследванията ни се основават на получените теоретични резултати в [3 ÷ 7, 11 ÷ 13].

Експерименталните изследвания са проведени с използване на най-прецизна апаратура, която дава възможност за определяне на времената на разпространение, респективно на скоростите на

разпространение на различни видове ултразвукови вълни в материала.

Разработена е специална методика и апаратура, която позволява минимизиране на грешките в контактния слой, следене за качеството на контакта, използване на специални измервателни уреди и краишни мерки за определяне на разстоянието между осезателите. Чрез многократни независими измервания се реализират измервания с доверителна вероятност до 95%.

1. Ултразвукови методи за оценка на МНС.

Ултразвуковите методи за оценка на МНС са предпочитани от редица изследователи и внедрители, на основата на неоспорими предимства: висока точност, локалност на измерването в областта на осезателите, възможност за оценка на МНС на повърхностния слой и в обема, възможност за оценка на действащи и остатъчни напрежения, възможност за реализация в полеви условия, възможност за внасяне на поправки вследствие на температурни влияния и др.

1.1. Метод на Никитина Н.Е.

Методът е подробно представен в монографията на Никитина [4]. Използват се ултразвукови вълни - надлъжни и напречни (с различна поляризация), разпространяващи се нормално към плоскостта на действащите механични напрежения в тръбопроводи.

За двуосно напрегнато състояние на тръбопровода, в съответствие със стандарти ГОСТ Р 52731 и ГОСТ Р 52890

механичните напрежения по оста на тръбата σ_z и по окръжността σ_t и се пресмятат по зависимости

$$\sigma_z = K_1'' \left(\frac{t_{01}t_3}{t_{03}t_1} - 1 \right) - K_2 \left(\frac{t_{02}t_3}{t_{03}t_2} - 1 \right) \quad (1)$$

$$\sigma_t = K_1^\perp \left(\frac{t_{02}t_3}{t_{03}t_2} - 1 \right) - K_2 \left(\frac{t_{01}t_3}{t_{03}t_1} - 1 \right) \quad (2)$$

където K_1'' , $K_1^\perp$ са акустико еластичните коефициенти действащи по и напречно на образуващата на тръбата.

Тук коефициентите на акустикоеластична връзка K_1'' , $K_1^\perp$ и K_2 се пресмятат по зависимостите

$$K_1'' = \frac{k_1'' - k_3}{(k_1'' - k_3)(k_1^\perp - k_3) - (k_2 - k_3)^2}, \quad (3)$$

$$K_1^\perp = \frac{k_1^\perp - k_3}{(k_1'' - k_3)(k_1^\perp - k_3) - (k_2 - k_3)^2}, \quad (4)$$

$$K_2 = \frac{k_2 - k_3}{(k_1'' - k_3)(k_1^\perp - k_3) - (k_2 - k_3)^2}, \quad (5)$$

където t_0 и t_i са времената на разпространение на вълната, съответно преди и след прилагане на механично натоварване на материала, k_1'' , $k_1^\perp$, k_2 и k_3 са акустико механични коефициенти за материала.

1.2. Метод за използване на подповерхностни вълни [13].

Зависимостта между промяната на скоростта на разпространение на подповерхностна вълна, спряма скоростта в материала без механични напрежения се представя със зависимостта

$$d\sigma = \frac{E(dc_n / c_n)}{L_n} = \frac{E}{L_n t_0} dt \quad (6)$$

където E - модул на еластичност на материала, t_0 - време на разпространение на вълната при $\sigma = 0$, dt - промяната на времето на разпространение на вълната, свързано с промяна dc_n на скоростта на разпространение в материала при приложено механично напрежение, L_n - акустикоеластична константа за надлъжна вълна, разпространяваща се по посока на прилаганите напрежения.

1.3. Метод с използване на вълни на Релей [3].

Зависимостта между промяната на σ и промяната на скоростта на разпространение на вълната на Релей C_R се представя със зависимости

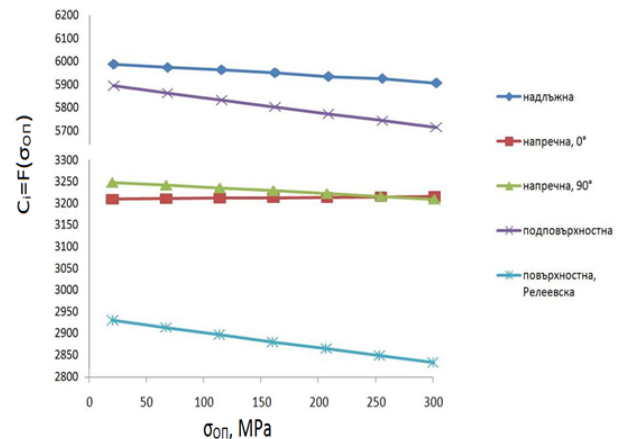
$$\delta C_R = \beta_{xy} \cdot \sigma_{zz} \quad (7)$$

където β_{xy} е акустико механичен коефициент, σ_{zz} - действащи по оста механични напрежения.

2. Експерименталните изследвания за пресмятане на акустико механични коефициенти

Изследванията се провеждат върху специално подготвени образци които са предназначени за изпитване на опън. Натоварването се провежда до създаване на механични напрежения в материала до 300 МПа.

На фиг. 1 са представени зависимостите на скоростите на разпространение на изследваните вълни от приложни механични напрежения в материала [14].



Фиг.1. Зависимости за скоростите на разпространение при създадено механично напрежение на опън

Обработката на получените зависимости позволява получаване на стойностите на акустико механични коефициенти за материала на тръбопровода, които са представени в таблица 1 и в таблица 2.

Табл. 1. Пресметнати акустико еластични коефициенти k_1 , k_2 и k_3

$\sigma_{оп}$, MPa	$k_1 \cdot 10^6$, MPa ⁻¹	$k_2 \cdot 10^6$, MPa ⁻¹	$k_3 \cdot 10^6$, MPa ⁻¹
50	6.659	-40.336	-47.557
100	6.661	-40.225	-41.001
150	6.663	-39.435	-41.631
200	6.109	-39.541	-45.093
250	6.667	-40.013	-42.024
300	6.670	-39.933	-45.594

Табл. 2. Пресметнатите стойности за K_1 и K_2

$\sigma_{оп}$, MPa	$K_1 \cdot 10^{-5}$, MPa	$K_2 \cdot 10^{-5}$, MPa
50	0.1878	0.0250
100	0.2099	0.0033
150	0.2075	0.0094
200	0.1977	0.0214
250	0.2057	0.0085
300	0.1936	0.0210

3. Изследване на механични напрежения в тръба на газопровод

Цел на изследванията е определяне на разпределението на механични напрежения в тръба от газопровод с диаметър $D = 273 \text{ mm}$ и дебелина на стената

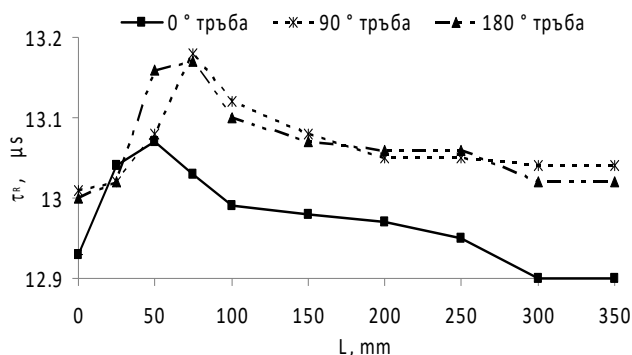
14 mm. Тръбата не е подложена на механични натоварвания. Предполага се, обаче, че по дължина на тръбата и по периметъра ѝ има неравномерно разпределени механични напрежения.

Особено значими промени се очакват в частта от тръбата, разположена в околешевната зона и в самото заварено съединение.

Измерванията на първоначалните информационни параметри (скоростите на разпространение на надлъжни, напречни, повърхностни и подповърхностни вълни) са проведени по дължината на три образуващи на тръбата, разположени на 0° , 90° и 180° по периметъра. Нулевият отчет по дължина на образуващата съвпада с централната част на завареното съединение. Чрез механично почистване е свалено усилването на шева, така както това се прави предварително при много отговорни заварени съединения, например в АЕЦ.

По образуващата измерванията са представени от 0 mm (в центъра на завареното съединение) до 350 mm със стъпка 50 mm. В някои случаи допълнително са проведени измервания и непосредствено в завареното съединение със стъпка 5 mm.

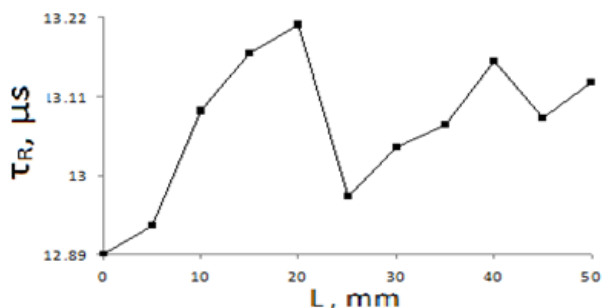
На фиг.2 са представени получените зависимости за промените на времето на разпространение на повърхностните вълни на Релей по дължина на образуващата L на тръбата. С 0° тръба, 90° тръба и 180° тръба са означени получените стойности по образуващата при посоки 0° , 90° и 180° по периметъра. Разстоянието между челата на използваните осезатели C567SM е 10 mm.



Фиг. 2. Зависимост на времето на разпространение на повърхностна вълна $\tau_R = F(L)$

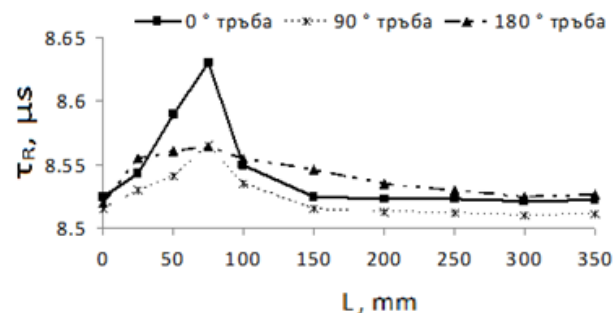
На фиг.3 е представена зависимост τ_R от местоположението на осезателя по дължина на тръбата за образуваща, разположена на 90° по периметъра. Стъпката на измерването е през 5 mm от 0 mm до 50 mm.

Наблюдават се съществени разлики във времената на разпространение за областта на завареното съединение и околешевната зона.



Фиг. 3. Зависимост на времето на разпространение на повърхностната вълна $\tau_R = F(L)$ за околешевната зона

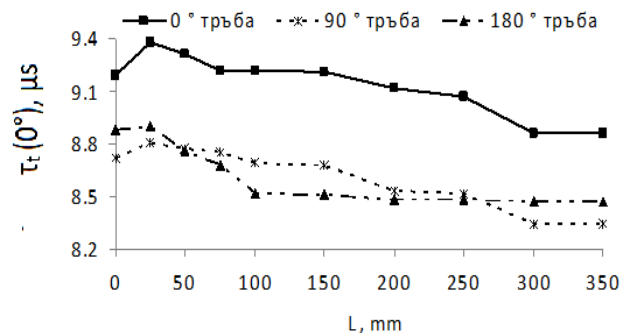
На фиг.4 са представени зависимостта на времето на разпространение τ_{Π} на подповърхностната вълна, измерена по дължина на образуващата L . Разстоянието между осезателите за подповърхностни вълни тип ToFD е 30 mm.



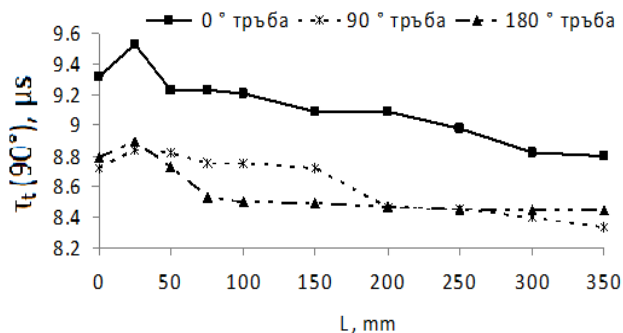
Фиг. 4. Зависимост на времето на разпространение на подповърхностна вълна $\tau_{\Pi} = F(L)$

Необходимо е да се отбележи, че са получени различни стойности на времената на разпространение на около 75 mm от завареното съединение, спрямо всички останали участъци.

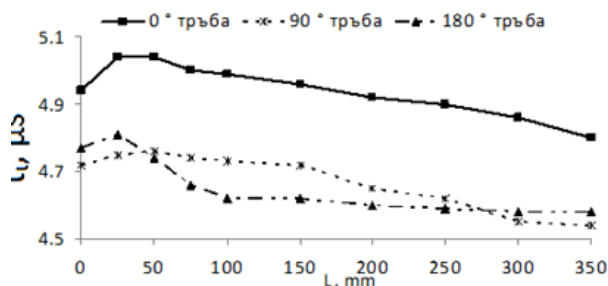
На фиг.5, фиг.6 и фиг.7 поотделно са представени зависимостите за времената на разпространение на напречни $\tau_t(0^\circ)$, (с посока на поляризация по образуващата), напречни $\tau_t(90^\circ)$, (с посока на поляризация напречно на образуващата), и на надлъжни τ_l вълни, в различни точки по образуващите, при 0° , 90° и 180° по обиколката на тръбата. Необходимо е да се отбележи, че има разлика в дебелината на тръбата на различните точки по образуващата. От 0 mm до 100 mm стъпката на измерване е през 25 mm, а от 100 mm до 350 mm стъпката на измерване е през 50 mm.



Фиг. 5. Зависимост на времето на разпространение на напречна вълна с посока на поляризацията по $\tau_t(0^\circ) = F(L)$



Фиг. 6. Зависимост на времето на разпространение на напречна вълна с поляризацията напречно на образуващата $\tau_t(90^\circ) = F(L)$



Фиг. 7. Зависимост на времето на разпространение на надлъжна вълна $t_l = F(L)$

3.1. Обработване на експерименталните данни

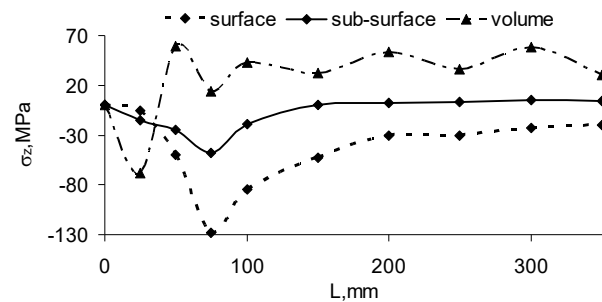
По получените експериментални данни са определени относителните изменения на остатъчните механични напрежения. Стойностите, необходими за получаване на механичните напрежения за повърхностни и подповърхностни вълни, са получени на основание на относителни разлики в определените времена за разпространение при две фиксирани разстояния между осезателите. Механичните напрежения са оценени по представените на фиг.1 калибровъчни зависимости за повърхностни и подповърхностни вълни.

На основата на получените стойности за времената на разпространение на надлъжни t_l и напречни $t_t(0^\circ)$ и $t_t(90^\circ)$ вълни в еталонните образци са изчислени разпределенията на механичните напрежения (меридианни σ_z и окръжностни σ_θ) на тръбопровода. В този случай определените механични напрежения се отнасят за участъка на прозвучаване на цялата дебелина на стената на тръбопровода. Като се използват средните стойности на получените теоретично-експериментално акустикоеластични коефициенти K_1 и K_2 , относителните изменения на механичните напрежения, се получават по зависимостите в ГОСТ-Р-52890 и ГОСТ-Р-52731.

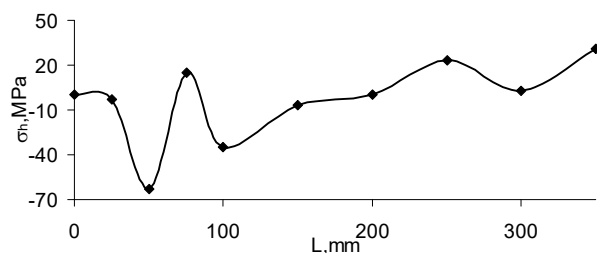
Разпределението на напреженията в изследваната тръба са представени на фиг.8. Разпределенията на напреженията се разглеждат по дължина на образуващата L от центъра на завареното съединение. Образуващата е разположена на 90° по обиколката на тръбата, спрямо приетата нула. Стойностите на остатъчните механични напрежения са сравнени с напрежението в центъра на завареното съединение. Те са определени чрез използване на ултразвукови методи и теоретично-експериментално получени акустико еластични коефициенти за еталонните образци в настоящата работа.

На фиг. 8а са дадени стойностите на механичните напрежения σ_z , действащи по посока на образуващата на тръбопровода (меридианни). С повърхностна, подповърхностна и обемни са означени напреженията получени от определяне, съответно на времената на разпространения в материала на повърхностни, подповърхностни и обемни ултразвукови вълни.

На фиг. 8б са дадени стойностите на механичните напрежения σ_θ , действащи по обиколката на тръбата (окръжностни). Тук напреженията се определят от получените времена за разпространение на обемни ултразвукови вълни в материала и акустико еластичните коефициенти, получени от измерванията на еталонните образци.



а)



б)

Фиг. 8. Разпределение на напреженията по образуващата L (меридианни) а) и по обиколката на тръбата (окръжностни) б)

Най-значителни по абсолютна стойност са измененията на остатъчните напрежения σ_z в повърхностния слой- до 128 MPa . Механичните напрежения за целия обем по посока на прозвучаване по дълбочина се изменят до 140 MPa (фиг.8а). В подповърхностният слой получените напрежения се променят до 50 MPa .

Разпределението на механичните обемни напрежения на фиг.8а е немонотонно, което се дължи на факта, че в дълбочина на стената остатъчните напрежения се променят немонотонно от едната към другата повърхност. Този факт оказва съществено влияние на стойностите на еквивалентните напрежения определени с обемни ултразвукови вълни, особено в завареното съединение и околосшевната зона с дължина до 75 mm .

Разпределението на механичните напрежения, действащи по обиколка на тръбата (окръжностни), се изменят до 80 MPa .

Комплексното използване на „드릴“-метода (чрез пробиване на отвор) с акустичната тензометрия позволява от относителните изменения на напреженията в повърхностния слой на материала да се получат действителните им стойности. Това се прави като за една от изследваните с акустичната тензометрия точки се определи с „드릴“-метода (чрез пробиване на отвор) остатъчните напрежения в повърхността за една и съща посока на действие на напреженията.

Всички получени при обработката на данните стойности са изведени в табл.3 и табл.4, за точки разположени на разстояния 0 mm , 75 mm и 200 mm по дължина на образца L , при 90° по периметъра му.

Табл. 3. Механични напрежения действащи по посока на образуващата (меридианно), определени чрез използване на ултразвукови методи

Метод	$L=0, \text{ mm}$	$L=75, \text{ mm}$	$L=200, \text{ mm}$
Подповърхностни вълни	0 MPa	-48MPa	2MPa
Повърхностни вълни	0 MPa	-128MPa	-30MPa
Надлъжни, напречни вълни	0 MPa	14MPa	54MPa

Таблица 4. Механични напрежения действащи по обиколката на тръбата (окръжно), перпендикулярно на образуващата, определени чрез използване на ултразвукови методи

Метод	$L = 0$, <i>mm</i>	$L = 75$, <i>mm</i>	$L = 200$, <i>mm</i>
Надлъжни, напречни вълни	0 МПа	15 МПа	0 МПа

Логично е получените стойности за различните точки на измерване и използваните методи да се различават. Обемът от тръбопровода, в който се измерват времената от разпространението за различните видове вълни е различен - повърхностен слой, подповърхностен слой и обем в дълбочина.

Независимо от това, получените стойности показват приложимостта на разработения алгоритъм за оценка на механичните напрежения в изследвания материал от тръбопровода.

Заключение

Получени са акустикоеластични коефициенти за изпитвания материал и зависимостите на скоростите от механични напрежения за обемни, повърхностна и подповърхностна вълни.

Предложен е алгоритъм за оценка на механични напрежения, апробиран върху част от тръбопровод, за който са определени относителните изменения на механичните напрежения (меридианни и окръжни).

Литература:

1. Бобренко В.М., А.Н. Куценко, И.П. Малахов, Акустический контроль механических напряжений. Одеса: Astroprint. 1997.
2. Вингреневич В.Л., Принципы и практика диагностик напряженного состояния конструкций, изделий и сварки. В мире неразрушающего контроля. 2005,1 (27).4-9.

3. Неразрушающий контроль, справочник в 7 томах под редакцией чл.-корр. РАН В.В.Клюева, Том 4, Неразрушающий контроль, Москва, „Машиностроение“ 2004.
4. Никитина, Н.Е., Акустоупругость. Опыт практического применения.- Н. Новгород: ТАЛАН, 2005.
5. Bonner N.W., D.J. Smith, Measurement of residual stresses using the deep-hole method. Pressure Vessels and Piping 1996; 327: 53–65.
6. Degtyar A.D., A.I.Lavrentyev, S.I. Rokhlin, New method for determination of applied and residual stresses in anisotropic materials from ultrasonic velocity measurement. Mat.Eva. 1997, v.55, 10,1162-1168.
7. Schajer G.S., Hole-Drilling Residual Stress Measurements at 75: Origins, Advances, Opportunities. Experimental Mechanics 2009; 50: 245–253.
8. Vishay TN-503, Measurement of Residual Stresses by the Hole Drilling Strain Gauge method.
9. Бобренко В.М., М.С. Вангели, А.Н.Куценко, Акустическая тензометрия. Кишинев: Штиинца, 1991.
10. Гузь А.Н., Ф.Г.Махорт, О.И. Гуша, Введение в акустоупругость. Киев: Наукова думка. 1977.
- 11.Клюев В.В., Ф.Р. Соснин, В.Х. Филипов и др., Неразрушающий контроль и диагностика. М.: Машиностроение. 1995
12. Adler L., K.B.Cook, B.R.Dewey, R.T.King, The relationship between ultrasonic Rayleigh waves and surface residual stress. Mat.Eval. 1977, v-35,1,33-38.
13. Javadi Y., S.H.Mosteshary, Evaluation of Welding residual Stress in a Nickel Alloy Pressure Vessel using the Ultrasonic Stress Mesurement Technique, Mat.Eval., June 2015, 862-868.
14. Чукачев П.Х., Мирчев Й.Н., Миховски М.М., Оценка на механичното напрегнато състояние в газопроводи. - Научни изв. на СЕЕС (*ISSN 1312-4897*), Сб. Нац. Конф. „Акустика 16”, година XVIII, София, Декември 2016, стр. 34-39.



ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ НАПРАВЛЕННЫХ ВОЛН С НЕСПЛОШНОСТЯМИ В ТРУБОПРОВОДАХ

А.И. Бондаренко¹, А.Л. Шекеро¹, А. Алексиев², В. Кавърджиков²,
¹Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина
²Институт механики Болгарской академии наук, София, Болгария

Введение

В настоящее время одной из острых проблем является необходимость определения технического состояния находящихся в эксплуатации протяженных трубопроводных систем различного назначения. Решение этой проблемы относится к одной из главных задач технического диагностирования с использованием средств неразрушающего контроля. Однако возможности контроля и диагностики протяженных трубопроводов обычными средствами контроля весьма ограничены. В то же время существует постоянная необходимость проведения периодического мониторинга технического состояния трубопроводов для выявления критических дефектов, к которым относятся различные несплошности сварных соединений и поперечного сечения стенки труб, вызванных их коррозионным поражением или эрозийным износом.

Для решения проблемы контроля и диагностики технического состояния труб и трубопроводов путем обнаружения дефектов коррозии и других дефектов потери металла в мировой практике в течение многих лет развиваются технологии и средства, основанные на методе дальнего действия ультразвукового контроля (НЧ УЗК) направленными волнами.

Суть метода НЧ УЗК направленными волнами

Для уяснения метода дальнего действия НЧ УЗК протяженных трубопроводов направленными волнами в процессе выявления дефектов стенки трубы воспользуемся простым примером отражения морских волн от защитных дамб различной высоты морского побережья во время цунами, который приведен в работе [1]. При этом под цунами понимается не стихийное бедствие, а высокие приливные или штормовые волны. На рис. 1 схематически изображены амплитуды H_1 и H_2 волн цунами в зависимости от высоты 1 и 2 защитных дамб.

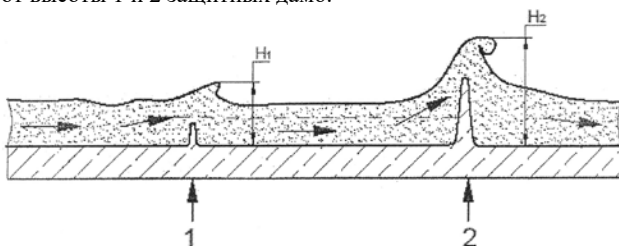


Рис. 1. Схематическое изображение амплитуд волн цунами в зависимости от высоты дамб

Во время движения морской волны в направлении малой дамбы 1 высота H_1 волны цунами будет небольшой. Соответственно при попадании морской волны на более высокую дамбу 2 высота H_2 волны цунами возрастет значительно.

Для сравнения на рис. 2 схематически изображены амплитуды A_1 и A_2 отраженных сигналов в зависимости от размеров дефектов 1 и 2 в поперечном сечении трубы в процессе распространения низкочастотной ультразвуковой направленной волны в стенке протяженного трубопровода.

При незначительном дефекте 1 в сечении стенки трубы амплитуда A_1 отраженного сигнала будет также небольшой. Увеличение размера дефекта 2 в стенке трубы соответственно приводит к возрастанию амплитуды A_2 отраженного от него сигнала направленной волны. Здесь существует соответствие амплитуды сигнала направленной волны, отраженной от дефектов трубы разных размеров, высоте волны цунами в зависимости от высоты дамбы.

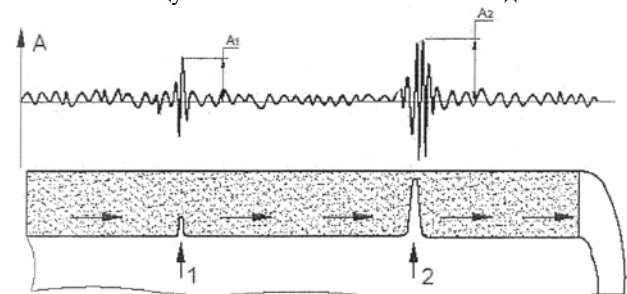


Рис. 2. Схематическое изображение амплитуд отраженных сигналов в зависимости от размеров дефектов поперечного сечения

Исходя из изложенного, выявление дефектов внутри трубы возможно вследствие того, что в месте их расположения образуется уменьшение поперечного сечения стенки трубы, которое влияет на распространение ультразвуковой направленной волны как граничные поверхности. Уменьшение поперечного сечения стенки трубы происходит вследствие возникновения коррозионных поражений и эрозийного износа стенки трубы.

Рассмотрим механизм взаимодействия низкочастотной направленной волны с несплошностями трубопроводов, обусловленных различными дефектами в поперечном сечении стенки трубы.

Взаимодействие направленной волны с дефектами трубы

Взаимодействие направленной волны с дефектами трубопроводов базируется на принципе отражения и прохождения падающей ультразвуковой волны на участке изменения поперечного сечения трубы.

Проанализируем в общем виде процессы отражения и прохождения направленных волн на границе перехода одного волновода сечения S_1 к достаточно длинному второму волноводу сечения S_2 . Будем считать границу перехода волноводов как неразъемный абсолютно жесткий контакт двух труб с различными материальными постоянными $\rho_1 E_1$ и $\rho_2 E_2$ для направленной волны продольной моды и материальными постоянными $\rho_1 \mu_1$ и $\rho_2 \mu_2$ для крутильной моды. Принцип отражения и прохождения направленных волн на границе волноводов с разными сечениями показан на фрагменте трубопровода с разными внутренними диаметрами труб, который приведен на рис. 3, где $t_1 r_{e1}$ и $t_2 r_{e2}$ – толщины стенок и внутренние радиусы первой и второй трубы соответственно; r_n – наружный радиус труб.

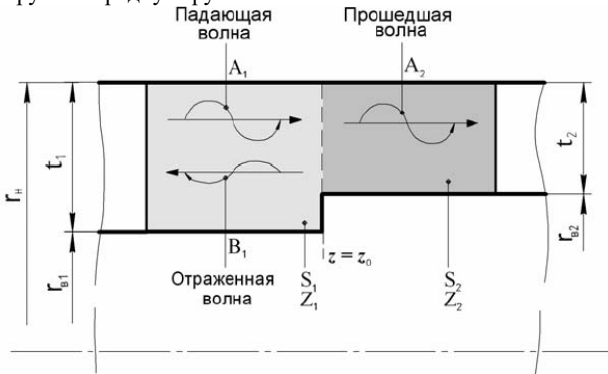


Рис. 3. Принцип отражения и прохождения направленных волн на границе изменения сечения трубы

При распространении направленной волны по участку трубопровода с площадью поперечного сечения S_1 падающая ультразвуковая волна амплитуды A_1 достигает другого трубопровода, площадь поперечного сечения которого составляет S_2 . При этом падающая волна преобразуется в отраженную, амплитуда B_1 которой зависит от степени изменения поперечного сечения трубы, и в прошедшую с амплитудой A_2 , которая распространяется дальше по сечению трубы. Вследствие того, что образование отраженной волны происходит на участке изменения площади поперечного сечения трубы, то при рассмотрении процессов распространения акустических волн в волноводах пользуются понятием механического импеданса Z , зависящего как от параметров волновода (площади его сечения S), так и от свойств среды – скорости звука C и плотности ρ . Механический импеданс по сути показывает степень сопротивления трубы распространению ультразвуковых направленных волн.

На рис. 3 показан простейший случай перехода от первой трубы с механическим импедансом $Z_1 = \rho_1 C_1 S_1$ к достаточно длинной трубе с механическим импедансом $Z_2 = \rho_2 C_2 S_2$.

Вывод формул для определения коэффициентов отражения R и прохождения D по амплитуде от скачка механического импеданса на границе раздела двух сред с различными механическими импедансами и при нормальном падении сдвиговой волны был дан немецким ученым А.Шохом в 1950 г. [2].

Формулы для определения коэффициентов отражения и прохождения ультразвуковой волны имеют вид:

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}; \quad D = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad (1)$$

Подставляя в выражения (1) значения механических импедансов Z_1 и Z_2 , а также значения скорости C звуковой волны продольной моды получим выражения для определения коэффициентов отражения и прохождения на границе раздела двух сред в виде:

$$R = \frac{\rho_2 C_2 S_2 - \rho_1 C_1 S_1}{\rho_2 C_2 S_2 + \rho_1 C_1 S_1} = \frac{S_2 \sqrt{\rho_2 E_2} - S_1 \sqrt{\rho_1 E_1}}{S_2 \sqrt{\rho_2 E_2} + S_1 \sqrt{\rho_1 E_1}}; \\ D = \frac{S_2 \sqrt{\rho_2 E_2}}{S_2 \sqrt{\rho_2 E_2} + S_1 \sqrt{\rho_1 E_1}} \quad (2)$$

Таким образом в соответствии с закономерностями распространения акустических волн в волноводах в основу механизма выявления дефектов в трубопроводах можно положить процесс отражения падающей волны от дефектного участка трубы, связанный с изменением акустического импеданса трубы $Z = \rho C S$. Это позволяет использовать выражение (2) для определения коэффициента отражения направленной волны от дефектов в трубопроводе.

Так как распространение направленной волны согласно рис. 3 происходит в направлении уменьшения поперечного сечения трубы ($S_2 < S_1$), то наблюдается смена фазы отраженного эхо-сигнала, что аналогично случаю нормального отражения плоской волны от плоской границы раздела сред при переходе от акустически более жесткой среды к акустически более мягкой среде $\rho_2 C_2 < \rho_1 C_1$ [3]. При этом частоты падающей и отраженной волны равны во всех случаях, что значительно облегчает решение задач об отражении направленной волны. Из рис. 3 также следует, что коль скоро отраженные волны образуются на участке изменения площади поперечного сечения трубы, то резкое изменение поперечного сечения трубы можно обнаружить независимо от его расположения (со стороны внутренней или наружной поверхностей трубы).

При использовании направленной волны продольной моды $L(0,1)$ и $L(0,2)$ наличие в стенке трубы незначительного коррозионного поражения, приводящего к ее утонению, в общем случае не приводит к изменению плотности ρ металла и скорости C распространения ультразвуковой волны, т.е. свойства материала трубы не изменяются и произведение $\rho C = const$. В этом случае коэффициенты отражения R и прохождения D волны на дефектном участке трубы будут зависеть только от изменения поперечного сечения трубы, приводящего к потере некоторой части металла.

Приравняв в выражениях (2) $\rho_1 E_1 = \rho_2 E_2$, получим формулы для определения коэффициентов отражения и прохождения направленной волны продольной моды на границе дефекта в протяженном трубопроводе:

$$R = \frac{S_2 - S_1}{S_2 + S_1}; \quad D = \frac{2S_2}{S_2 + S_1} \quad (3)$$

При проведении контроля трубопроводов с использованием направленной волны крутильной моды ее

поведение при распространении будет отличаться от поведения волны продольной моды из-за зависимости скорости крутильной моды от параметров дефектов трубы. Если же учитывать предположение, что направленные волны продольной и крутильной мод используются для выявления дефектов, которые находятся в начальной стадии их зарождения (до 10% потери металла в поперечном сечении трубы), то можно не учитывать уменьшение скорости распространения волны крутильной моды. Это позволяет применять выражение (3) для определения коэффициента отражения R при выявлении дефектов направленными волнами продольной и крутильной мод.

Оценка амплитуды отраженных эхосигналов

Отраженные эхосигналы НЧ УЗ направленных волн в трубопроводе образуются вследствие изменения механического импеданса контролируемой трубы, которое возникает из-за влияния дефектов на этот импеданс, так как коррозионное поражение или эрозионный износ приводят к изменению площади поперечного сечения стенки трубы.

На каждой границе раздела падающая волна будет расщепляться на одну отраженную и одну прошедшую волну, в результате чего эти волны создадут последовательность импульсов. При этом каждая прошедшая волна после преодоления границы раздела будет меньше падающей по амплитуде. На участке последнего дефекта по длине трубы падающая волна амплитудой A_n преобразуется в отраженную B_n и прошедшую амплитудой A_k , которая отражается от конца труб с амплитудой B_k . При отсутствии затухания низкочастотной ультразвуковой волны на конечном участке трубопровода амплитуды прошедшей волны A_k и отраженной B_k будут равны. Поэтому между амплитудами прошедших и отраженных от дефектов волн на всех участках контролируемого трубопровода будет иметь место зависимость:

$$\begin{aligned} B_1 &= A_1 - A_2 \\ B_2 &= A_2 - A_3 \\ &\dots\dots\dots \\ B_n &= A_n - A_k \end{aligned} \quad (4)$$

Амплитуды каждого из импульсов отраженной и прошедшей волн можно рассчитать, если применить формулы (4) для каждого отдельного процесса отражения и прохождения направленной волны на границе раздела. Звуковое давление последовательности импульсов каждый раз будет уменьшаться вследствие очередного расщепления волны.

Оценим зависимость амплитуды отраженной и прошедшей волн от степени изменения поперечного сечения трубы из-за действия коррозии. С учетом выражения (3) для определения коэффициентов отражения R и прохождения D направленной волны на границе изменения поперечного сечения стенки трубы вследствие ее коррозионного поражения амплитуды отраженной B_1 и прошедшей A_2 волн будут определяться формулами вида:

$$B_1 = R \cdot A_1 = \frac{S_2 - S_1}{S_2 + S_1} \cdot A_1 \quad (5)$$

$$A_2 = D \cdot A_1 = \frac{2S_2}{S_2 + S_1} \cdot A_1 \quad (6)$$

Из выражения (5) видно, что величина амплитуды отраженной волны пропорциональна разности площадей $S_2 - S_1$, т.е. зависит от размеров пораженной коррозией площади поперечного сечения стенки трубы. Это означает,

что низкочастотная направленная волна чувствительна к потерям металла в поперечном сечении стенки трубы. Из выражения (5) также следует, что коэффициент отражения по амплитуде, обусловленный резким изменением площади поперечного сечения стенки трубы из-за наличия дефекта, значительно меньше, чем отношение поперечных сечений $\frac{S_2}{S_1}$. Поэтому направленная волна распространяется

дальше вдоль трубы и только небольшая ее часть отражается от перепада поперечного сечения трубы.

Если принять, что площади поперечных сечений в месте дефекта отличаются в два раза, т.е. $S_2 = \frac{1}{2} \cdot S_1$, то амплитуда отраженной волны B_1 будет равна:

$$B_1 = \frac{S_2 - S_1}{S_2 + S_1} \cdot A_1 = -\frac{S_2}{3S_2} \cdot A_1 = -\frac{1}{3} \cdot A_1 \quad (7)$$

В этом случае амплитуда прошедшей волны A_2 будет равна:

$$A_2 = \frac{2S_2}{S_2 + S_1} \cdot A_1 = \frac{2S_2}{3S_2} \cdot A_1 = \frac{2}{3} \cdot A_1 \quad (8)$$

Оценим, какая часть энергии возбужденной волны отражается при соотношении сечений $S_2 = \frac{1}{2} \cdot S_1$.

Известно [3], что коэффициент отражения R падающей плоской звуковой волны на границе изменения площади поперечного сечения объекта с одинаковыми материальными постоянными, оцениваемый по энергии, равен:

$$R_s = \left(\frac{S_2 - S_1}{S_2 + S_1} \right)^2 \quad (9)$$

В общем случае это означает, что только небольшая часть энергии звуковой волны отражается от дефекта обратно, а значительная часть энергии проходит дальше по трубе. Для соотношения сечений трубы

$S_2 = \frac{1}{2} \cdot S_1$ из выражения (7) значение отраженной энергии звуковой волны будет равно:

$$\left(\frac{B_1}{A_1} \right)^2 = \left(-\frac{1}{3} \right)^2 = \frac{1}{9} \quad (10)$$

Из выражения (10) следует, что если сечения доброкачественной и пораженной дефектом трубы отличаются в два раза, то только $\frac{1}{9}$ часть падающей энергии отражается обратно. При этом, согласно [4], удовлетворяется закон сохранения энергии, состоящий о том, что разность энергий падающей и отраженной волны должна быть равна энергии прошедшей волны. Поскольку плотность энергии пропорциональна квадрату амплитуды, то выполняется следующее соотношение:

$$S_1(A_1^2 - B_1^2) = A_2^2 S_2 \quad (11)$$

Заключение

Хотя только незначительная часть энергии звуковой волны отражается обратно от дефектов, амплитуда отраженного эхо-сигнала является основным параметром, положенным в основу механизма выявления дефектов коррозионного поражения и эрозионного износа стенки трубы, так как величина амплитуды эхо-сигналов соответствует степени изменения поперечного сечения трубы, т.е. зависит от размера дефекта. Это соответствие является фундаментальной технологической особенностью дефектоскопии протяженных трубопроводов низкочастотными ультразвуковыми направленными волнами.

Литература

1. Takashi K., Fumitoshi S. Guided Wave Pipe Inspection and Monitoring System / Журнал Японского сварочного общества. – 2006. – V.75. – No.4. – pp.8–12.
2. Крауткремер Й., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль металлов: Справочник. Под ред. В.Н. Волченко. – М.: Металлургия, 1991. – 752 с.
3. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1957. – 727 с.
4. Скучик Е. Основы акустики. Т.1. – Пер. с англ.. – М.: Мир, 1976. – 520 с.

	АКУСТИКА Национална конференция "Акустика 2017"	Варна 10 - 11.10.2017 г. София 01 - 02.12.2017 г.
Година XIX	□ Брой 19	Декември 2017 г.

EVALUATION OF SOUND CHARACTERISTICS IN BUILDING ELEMENTS PRODUCED FROM "WEISS PROFIL"

ОЦЕНКА НА ШУМОВИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА СТРОИТЕЛНИ ЕЛЕМЕНТИ ПРОИЗВЕДЕНИ ОТ „ВАЙС ПРОФИЛ“

Йордан Мирчев¹, Петранка Найденова², М. Алиев², Ивелина Маринова¹

¹ Institute of Mechanics- BAS, Sofia 1113, Bulgaria, e-mail: mirchev@imbm.bas.bg

² Solar Project Ltd, Sofia 1220, Bulgaria: laboratory@solarproject.bg

Abstract. В работата са представени резултати от оценка на шумовите характеристики на строителни елементи произведени от „Вайс профил“. Измерванията са проведени в лабораторията на „Вайс профил“ по стандартна методика, съгласно БДС EN ISO 10140-2 с апарат Norsonic Nor 140. Анализът се провежда в честотния диапазон 100 Hz до 3.15 KHz на два образца. Резултати показват влиянието на размера на образците върху определяните шумови (акустични) характеристики.

Едно от основните изисквания при изграждане на сгради е шума в помещенията да бъде под изискваните норми, характеризиращи субективната оценка на човешкото ухо и професионалният риск от него. За оценката на шума са въведени амплитудно-честотни коригиращи криви A, B, C и D. Техните характеристики са определени в нормативни документи.

В настоящата работа се изследва звукоизолацията на строителни елементи на сгради от въздушен шум, когато източникът на звук не е свързан с конструкцията на сградата. Оценката се провежда по изискванията на стандарт БДС EN ISO 717-1, а метода за изпитване е регламентиран в стандарт БДС EN ISO 10140-2.

1. Образци, апаратура, метод за изпитване и за оценка

Измерванията се извършват в лабораторията на „Вайс Профил“, съгласно изискванията на стандарт БДС EN ISO 10140-2. Схема на провежданите измервания е дадена на фиг.1.

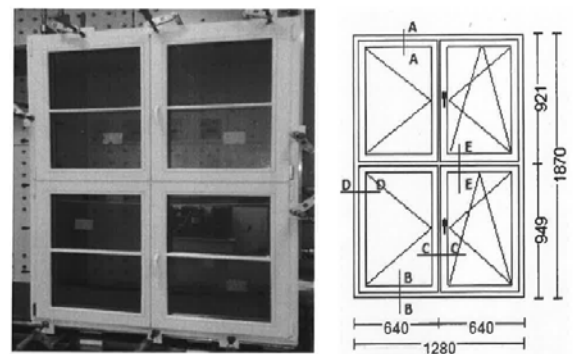


Фиг.1. Схема на провежданите измервания.

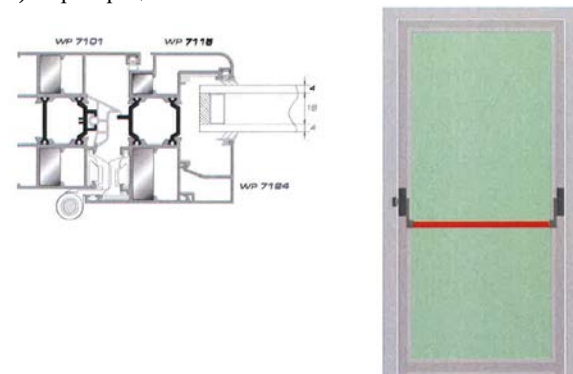
Източникът на шум се излъчва от колонките 1 с компютър в честотния обхват от 100 Hz до 5000 Hz. Нивото на излъчвания звуков сигнал за всяка от честотите е 90 dB. В стаята на приемника се измерва преминалото количество звуков сигнал през изпитвания

образец 2 с шумомер Norsonic Nor 140. Измерванията се провеждат в 16 терцаоктавен (съставен от 1/3 октавни ленти) лентов честотен диапазон.

Изпитани са два образца, представени на фиг.2.



а) Прозорец



б) Врата

Фиг.2. Изпитвани образци.

Данни за образците са дадени в табл.1.

Таблица 1. Характеристики на изпитваните образци

Характеристика	Прозорец	Врата
размери	1280x1870mm	1000x2070mm
каса	78/80	WP7101
стъклодържател	18mm	WP7124
брой заключвания	6бр.	1бр.
тип на стъклото	“Rolplast”	-
крило	78/80	WP7115
обков	GU	GIESSE
размер на стъклопакета	40mm	-
тип на панела	-	PVC панел 20mm
тип на отваряне	-	антипаник
гумено уплътнение	-	EPDM
брой панти	-	3бр.

Индексът на звукоизолация се определя със следната зависимост

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A}, dB, \quad (1)$$

където L_1 е ниво на излъчвано звуково налягане в помещението на източника 1, L_2 – ниво на звуково налягане в помещението на приемника 3, S – площ на изпитвания образец 2, A – еквивалентна площ на звукопоглъщане в приемното помещение 3.

За определяне и оценяване на звукоизолацията на сгради и техните елементи се използва, истински индекс на звукоизолация R' (apparent sound reduction index) за изследваните честотни ленти. Той се записва във следния вид

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \lg \left(\frac{T}{T_0} \right) + 10 \lg \left(\frac{S \cdot T_0}{0.16 \frac{s}{m} \cdot V} \right), dB, \quad (2)$$

където T е време за реверберация в помещението на приемника, T_0 – референтно време за реверберация в помещението на приемника, V – обем на помещението с приемника.

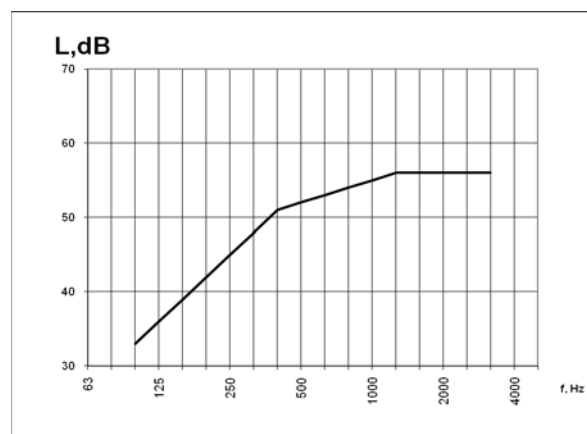
За практически цели е удобно да се работи с една стойност, даваща информация за звукоизолацията. Тази стойност е приета да се нарича претеглен индекс на звукоизолация R_w (weighted sound reduction index) и се определя от стойността на крива за сравняване при 500 Hz след преместването и в съответствие с подхода, описан в БДС EN ISO 717-1. Сравнителна крива по изискванията на стандарта за оценка на звукоизолация на сгради и техните елементи е дадена на фиг.3, а нейните стойности в табл.2

Този подход се състои в преместването на стандартизирана крива със стъпка 1 dB, за сравняване към кривата, получена при измерване. Преместването продължава докато сумата от неблагоприятните отклонения стане колкото може по-голяма, но не повече от определена стойност. Тази стойност за определяне на звукоизолация на сгради от външен (въздушен) шум е 32 dB за 1/3 октавни ленти.

Неблагоприятното отклонение за отделна честота се появява, когато резултатите от измерванията са по-малки от стойността за сравняване. При изчисление се вземат пред вид само неблагоприятните отклонения.

Таблица 2. Сравнителни стойности L за звукоизолация на сгради и техните елементи

Честота в Hz	Сравнителни стойности L за 1/3 октава в dB
100	33
125	36
160	39
200	42
250	45
315	48
400	51
500	52
630	53
800	54
1000	55
1250	56
1600	56
2000	56
2500	56
3150	56



Фиг.3. Сравнителна крива, съгласно изискванията на БДС EN ISO 717-1

За да се отчитат характеристиките на отделните видови звукови спектри към едночислената стойност R_w се добавя корекционен коефициент C или C_{tr} . Видовете звукови спектри за съответния коефициент за корекция са дадени в таблица 3.

Таблица 3. Видове източници на шум за съответния корекционен коефициент

Вид източник на шум	Спектрален корекционен коефициент
-Битов шум -Играещи деца -ЖП транспорт със средна и висока скорост -Движение по магистрала със скорост над 80 км/час	C

-Реактивен въздушен транспорт от близко разстояние -Промислени предприятия, излъчващи средно и високочестотен шум	
-Улично движение в града -ЖП транспорт с малка скорост -Витлови самолети -Реактивни самолети на голямо разстояние -Дискомузика -Промислени предприятия, излъчващи ниско и средночестотен шум	C_{tr}

Съгласно т.4.5 на БДС EN ISO 717-1, корекционните коефициенти, се изчисляват със следната зависимост

$$C_j = X_{Aj} - R_w, dB, \quad (3)$$

където

$$X_{Aj} = -10 \lg \sum 10^{(L_{ij} - R_i')/10}, dB, \quad (4)$$

R_w – претеглен индекс на звукоизолация, R_i' – истински индекс на звукоизолация за съответната стойност i на 1/3 октавна лента от 100 Hz до 3.15 KHz, j - използвания вид на спектъра 1 или 2 за изчисляване, съответно на коефициента C или C_{tr} , L_{ij} – ниво в dB за съответния корекционен коефициент, дадено в таблица 4.

Таблица 4. Звукови нива на спектъра за изчисляване на коефициентите за корекция C и C_{tr}

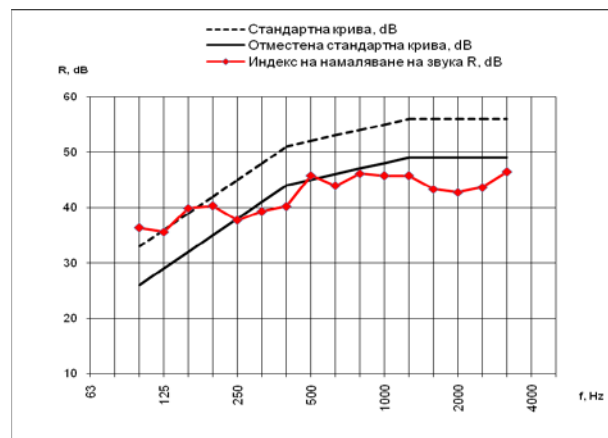
Честота, Hz	Звуково ниво L_{ij} , dB	
	Спектр № 1 за изчисляване на C	Спектр № 2 за изчисляване на C_{tr}
	1/3 октава	
100	-29	-20
125	-26	-20
160	-23	-18
200	-21	-16
250	-19	-15
315	-17	-14
400	-15	-13
500	-13	-12
630	-12	-11
800	-11	-9
1000	-10	-8
1250	-9	-9
1600	-9	-10
2000	-9	-11
2500	-9	-13
3150	-9	-15

Резултата от проведените измервания се представя във вида $R_w (C ; C_{tr})$.

2. Резултати и дискусия

Истинския индекс на звукоизолация R' е даден на фиг.4 и на фиг. 5, съответно за образца прозорец и

врата. На фигурите са дадени и сравнителната крива преди и след отместването.

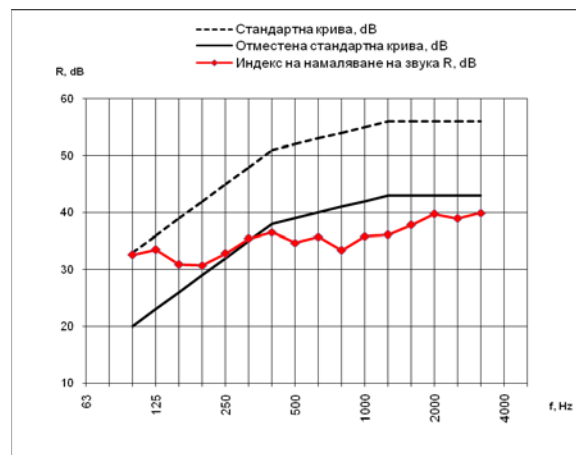


Фиг.4. Индекс на намаляване на звука R' за образец прозорец

В резултата от проведените изпитвания са определени характеристиките претеглен индекс на звукоизолация R_w и двата коефициента за корекция C и C_{tr} . Както се вижда от фиг.4, стойността на индекса на намаляване на звука (с червена непрекъсната линия) за честота 500 Hz е 45 dB. Следователно, по подхода даден в БДС EN ISO 717-1, претегления индекс $R_w = 45$ dB.

Изчисленията на корекционните коефициенти се правят по зависимости (3), (4) и данните от таблица 4, взето от стандарт БДС EN ISO 717-1. За корекционните коефициенти C и C_{tr} , се получи съответните стойности -1 dB и -2 dB.

Съгласно изискванията на БДС EN ISO 717-1, резултата за изпитвания прозорец, се представя в следния вид $R_w (C ; C_{tr}) = 45 (-1; -2)$ dB.



Фиг.5. Индекс на намаляване на звука R' за образец врата

Както за прозореца, са проведени същите стъпки и за вратата за определяне на, претеглен индекс на звукоизолация R_w и двата коефициента за корекция C и C_{tr} .

Съгласно изискванията на БДС EN ISO 717-1, резултата за изпитваната врата, се представя в следния вид $R_w (C ; C_{tr.}) = 39 (-2; -4) \text{ dB}$.

3. Заключение

Представена е стандартна методика за определяне на коефициента на звукоизолация (претеглен индекс на звукоизолация) R_w и корекционните коефициенти C и $C_{tr.}$.

В представените резултати на фиг.4 и на фиг.5 се наблюдава нарастване на индекса на звукоизолация над стандартната крива, за стойности на честотата до 250 Hz. В този случай, например за 100 Hz дължината на излъчваната във въздуха вълна е приблизително 3.44 m. Изпитваните образци са с габаритни размери до 2 m, следователно определяния индекс на намаляване на звука е комплексен и в него участват, както изпитвания образец така и стените на помещението в което е разположен източника на шум.

Премахването на този недостатък е възможно, като се намалят със 6 dB резултатите от измервания индекс на намаляване на звука до честоти 100 Hz.

С нарастване на честота се вижда нарастване на индекса на намаляване на звука, което е обичайно при нарастване на честота да се увеличават и звукоизолационните възможности на изпитваните елементи за сгради.

Литература:

1. ISO 717-1: 2014. Акустика. Оценка на звукоизолацията в сгради и на строителни елементи. Част 1: Изолация от въздушен шум.;
2. БДС EN ISO 10140-2: 2010. Акустика. Лабораторно измерване на звукоизолацията на строителни елементи. Част 2: Измерване на изолацията от въздушен шум.

	АКУСТИКА Национална конференция "Акустика 2017"	Варна 13 - 14.10.2017 г. София 01 - 02.12.2017 г.
Година XIX	□ Брой 19	Декември 2017 г.

ТЕОРИТИЧЕН АНАЛИЗ НА ПРОСТРАНСТВЕНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА КРЪГЪЛ БУТАЛЕН АКУСТИЧЕН ПРЕОБРАЗУВАТЕЛ С КОНУСНА ФОРМА НА МЕМБРАНАТА

THEORETICAL ANALYSIS OF SPATIAL CHARACTERISTICS OF CIRCULAR ACOUSTIC PISTON TRANSDUCER WITH CONICAL SHAPE OF THE MEMBRANE

инж. Георги Марков

Технически университет - Варна, България. E-mail: georgi.s.markov@mail.bg

доц. д-р инж. Екатеринослав Сираков

Технически университет - Варна, България. E-mail: katosirakov@avb.bg

Abstract

In the present paper the problem about spatial characteristics of circular acoustic piston transducer with conical shape of the membrane is considered. Short theoretical definitions of the spatial characteristics are given. An analytical expression is proposed for calculating the sound pressure level of a circular transducer with conical shape of the membrane. Conclusions with practical value have been made. Topics for future work are also considered.

Keywords: analysis, spatial characteristics, circular transducer, conical shape piston.

УВОД

В настоящата статия се разглежда въпросът за пространствените характеристики на кръгъл акустичен преобразувател с конусна форма на мембраната. Представен е кратък обзор на теоретични изрази за пространствените характеристики на акустични преобразуватели.

Предложен е аналитичен израз за изчисляване на нормираната характеристика на насоченост приложим за кръгли преобразуватели с конусна форма на мембраната. Извършено е сравнение с известни изрази за изчисляване на звуково налягане на кръгъл плосък бутален излъчвател.

Направени са изводи с практическа приложност. Разгледани са и възможности за бъдещи изследвания в областта.

Глобално погледнато въпросът се разпростира върху цели области от познатието: образна диагностика, геодезия, сеизмология, радио-, хидро- и аудио- локацията, архитектурна акустика, машиностроене, идентификацията на системи и редица други в които се използват акустични преобразуватели [1,2,3,4,5,6].

1. ПРЕДПОСТАВКИ И НАЧИНИ ЗА РАЗРЕШАВАНЕ НА ПРОБЛЕМА

За изследване на пространствените характеристики на кръгли преобразуватели с конусна форма на мембраната е необходимо първо да се изчисли елементарното налягане създавано от елементарен излъчвател в точка N (с координати x, y, z) създадено в произволна точка в пространството M с координати x_1, y_1, z_1) представено в сферична координатна система израз е:

$$dp_{\theta,\varphi} = \frac{\rho_s \cdot c_0 \cdot k \cdot v_m}{2\pi} e^{j\omega t} \frac{e^{-jkr'}}{r'} dS \quad [2,5]. \quad (1)$$

Сумирането на всички звукови налягания създавани от елементарните излъчватели се извършва чрез интегрирането на израз (3) по площта на буталото:

$$p_{\theta,\varphi} = \frac{\rho_s \cdot c_0 \cdot k \cdot v_m}{2\pi} e^{j\omega t} \int_S \frac{e^{-jkr'}}{r'} dS \quad [2] \quad (2)$$

Нормираната характеристика на насоченост за буталния излъчвател:

$$G(\theta, \varphi) = \frac{p_{\theta,\varphi}}{p_{\theta,\varphi \max}} = \frac{p_{\theta,\varphi}}{p_{0^\circ, \varphi \max}} = \frac{\int_S \frac{e^{-jkr'}}{r'} dS}{\int_S \frac{e^{-jkr'}}{r'} dS (\theta = 0^\circ)} \quad [2,6] \quad (3)$$

Чрез израз (3) насочеността не се определя от разликите в пътищата на елементарните звукови вълни, а от дължините на самите пътища. Следователно не се налагат допускания по отношение на амплитудите и фазите за разстоянието r' което води до по-голяма точност [7,8,9].

2. РЕШЕНИЕ НА ПРОУЧВАНИЯ ПРОБЛЕМ

За определяне на разстоянието r' от елементарния източник до точката на наблюдение и всички елементарни излъчватели се определят координатите на чрез геометрично представяне на повърхнината на буталния излъчвател в сферична координатна система [5,6]. За произволна точка на излъчвателя N (x, y, z) точка на наблюдателя M (x_1, y_1, z_1) като в положението и е полупространството пред N.

$$x_1 = d \sin \theta \cos \varphi$$

$$y_1 = d \sin \theta \sin \varphi, \quad -\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2 \quad 0 \leq \varphi \leq \pi$$

$$z_1 = d \cos \theta$$

От аналитичната геометрия следва:

$$r' = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} \quad (4)$$

След заместване:

$$r' = \sqrt{(d \sin \theta \cos \varphi - x)^2 + (d \sin \theta \sin \varphi - y)^2 + (d \cos \theta - z)^2} \quad (5)$$

При максимално излъчване $\theta = 0$ (по оста на излъчване [10]:

$$r'(\theta = 0) = \sqrt{x^2 + y^2 + (d - z)^2} \quad (6)$$

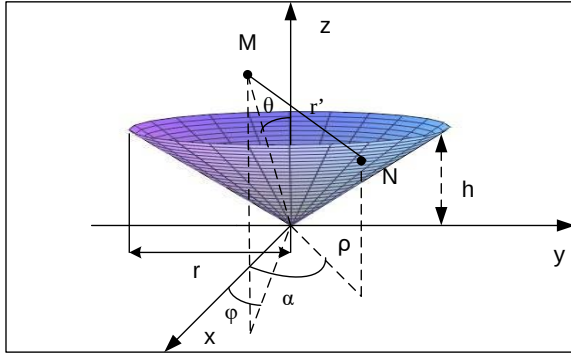
След заместване на координатите на точките М и N в известния от аналитичната геометрия израз за r' излиза

добива обобщен вид за елементарна нормирана характеристика на бутален излъчвател:

$$G(\theta, \varphi) = \frac{\int_S \frac{e^{-jk\sqrt{(d\sin\theta\cos\varphi-x)^2+(d\sin\theta\sin\varphi-y)^2+(d\cos\theta-z)^2}}}{\sqrt{(d\sin\theta\cos\varphi-x)^2+(d\sin\theta\sin\varphi-y)^2+(d\cos\theta-z)^2}} dS}{\int_S \frac{e^{-jk\sqrt{x^2+y^2+(d-z)^2}}}{\sqrt{x^2+y^2+(d-z)^2}} dS} \quad (7)$$

където: $-\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2$ и $0 \leq \varphi \leq \pi$

За случая на конусен бутален излъчвател постановката е следната:



Фиг. 1. Геометрична постановка на проблема

Координатите на точка N от излъчващата повърхност са:

$$\begin{aligned} x &= r \cos \alpha \\ y &= r \sin \alpha \quad 0 \leq \alpha \leq 2\pi \text{ и } 0 \leq \rho \leq 1 \\ z &= \rho h \end{aligned}$$

$$r' = \sqrt{(d\sin\theta\cos\varphi - r\cos\alpha)^2 + (d\sin\theta\sin\varphi - r\sin\alpha)^2 + (d\cos\theta - \rho h)^2} \quad (10)$$

В посоката на максимално излъчване r' при $\theta = 0^\circ$ се получава:

$$r'(\theta = 0^\circ) = \sqrt{(-r\cos\alpha)^2 + (-r\sin\alpha)^2 + (d - \rho h)^2}$$

където ρ и α са текущи радиус вектор и ъгъл
 h – височина на излъчвателя

r – радиус на излъчвателя

Площта на елементарен излъчвател dS се определя чрез диференциране по части:

$$dS = \sqrt{E \cdot G - F^2} d\alpha d\rho \quad (8)$$

където

$$\begin{aligned} E &= \left(\frac{\partial x}{\partial \alpha}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \alpha}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial \alpha}\right)^2 \\ G &= \left(\frac{\partial x}{\partial \rho}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \rho}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial \rho}\right)^2 \\ F &= \frac{\partial^2 x}{\partial \alpha \partial \rho} + \frac{\partial^2 y}{\partial \alpha \partial \rho} + \frac{\partial^2 z}{\partial \alpha \partial \rho} \end{aligned}$$

Който е решим посредством Maple и след аналитично опростяване като краен израз за dS се получава:

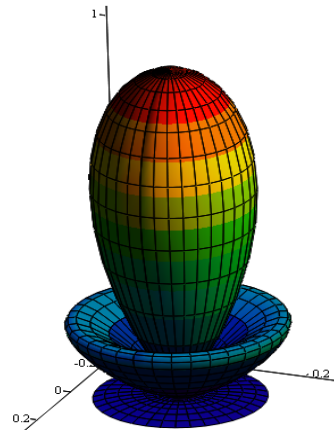
$$dS = \rho \cdot r \sqrt{r^2 + h^2} d\alpha d\rho \quad (9)$$

Разстоянието r' от елементарния излъчвател до точката на наблюдение M се получава след заместване на координатите на точка N в израз (6) и се получава:

$$G(\theta, \varphi) = \operatorname{Re} \left[\frac{\int_0^1 \int_0^{2\pi} \frac{e^{-jk\sqrt{(d\sin\theta\cos\varphi-r\cos\alpha)^2+(d\sin\theta\sin\varphi-r\sin\alpha)^2+(d\cos\theta-\rho h)^2}}}{\sqrt{(d\sin\theta\cos\varphi-r\cos\alpha)^2+(d\sin\theta\sin\varphi-r\sin\alpha)^2+(d\cos\theta-\rho h)^2}} d\alpha d\rho}{\int_0^1 \int_0^{2\pi} \frac{e^{-jk\sqrt{r^2\cos^2\alpha+r^2\rho^2\sin^2\alpha+(d-\rho h)^2}}}{\sqrt{r^2\cos^2\alpha+r^2\rho^2\sin^2\alpha+(d-\rho h)^2}} d\alpha d\rho} \right] \quad (11)$$

Полученият израз е подходящ за изчисляване на диаграми на насоченост на кръгли бутални излъчватели с конусна форма на мембраната.

Използването на израза (11) в Mathcad осъществява тримерно изобразяване на диаграма на насоченост на кръгли бутални акустични преобразователи с конусна форма на мембраната. На фиг. 2 е изобразен резултат от изчисляване на примерна диаграма на насоченост на плосък бутален излъчвател с конусна форма на мембраната със следните параметри: диаметър – $d=0.229$ m, височина – $h=0.071$ m. При честота $f=4400$ Hz на разстояние 0.045 m. Разстоянието е подбрано при получаване на минимум на звуковото налягане определящ близката зона. Честотата е така подбрана, че се реализира на първа нула в честотната характеристика на това разстояние.



Фиг. 2. Тримерна диаграма на насоченост

За получаване на двумерни графики изискващи по-малко ресурси на компютърните системи и подходящи за сравнителен анализ с измерени насочености в равнината пресичаща центъра на конусната мембрана изразът се

опростява като се приеме ъгъл $\varphi=0^\circ$ [11,12,13,14]. Изразът добива вида:

$$G(\theta) = \left| \operatorname{Re} \frac{\int_0^1 \int_0^{2\pi} \frac{\rho \sqrt{r^2+h^2} e^{-jk \sqrt{(d \sin \theta - r \cos \alpha)^2 + (r \rho \sin \alpha)^2 + (d \cos \theta - \rho h)^2}}}{\sqrt{(d \sin \theta - r \cos \alpha)^2 + (r \rho \sin \alpha)^2 + (d \cos \theta - \rho h)^2}} d\alpha d\rho}{\int_0^1 \int_0^{2\pi} \frac{2\pi \rho r \sqrt{r^2+h^2} e^{-jk \sqrt{r^2 \cos^2 \alpha + r^2 \rho^2 \sin^2 \alpha + (d-\rho h)^2}}}{\sqrt{r^2 \cos^2 \alpha + r^2 \rho^2 \sin^2 \alpha + (d-\rho h)^2}} d\alpha d\rho} \right| \quad (12)$$

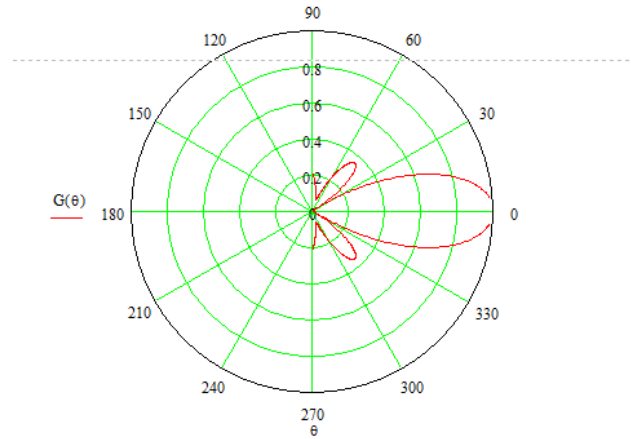
Ако разгледаме случая в който точката на наблюдателя е пред равнината xOy т.е. излъчвателя е пред безкраен екран изразът може да бъде опростен допълнително, защото

ъгъл θ е в границите $-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ и в този случай изразът добива вида:

$$G(\theta) = \left| \operatorname{Re} \frac{\int_0^1 \int_0^{2\pi} \frac{\rho \sqrt{r^2+h^2} e^{-jk \sqrt{(d \sin \theta - r \cos \alpha)^2 + (r \rho \sin \alpha)^2 + (d \cos \theta - \rho h)^2}}}{\sqrt{(d \sin \theta - r \cos \alpha)^2 + (r \rho \sin \alpha)^2 + (d \cos \theta - \rho h)^2}} d\alpha d\rho}{\int_0^1 \frac{2\pi \rho r \sqrt{r^2+h^2} e^{-jk \sqrt{(\rho r)^2 + (d-\rho h)^2}}}{\sqrt{(\rho r)^2 + (d-\rho h)^2}} d\rho} \right| \quad (13)$$

Използването на изразът в Mathcad позволява двумерно изобразяване на диаграма на насоченост на кръгли бутални акустични преобразователи с конусна форма на мембраната. На фиг. 3 е изобразен резултат от изчисляване на двумерна диаграма на насоченост на плосък бутален излъчвател с конусна форма на мембраната със следните параметри: диаметър – $d=0.229$ m, височина – $h=0.071$ m. При честота $f=4400$ Hz на разстояние $0,045$ m.

Изразът може да бъде опростен и при допускане, че точката на наблюдателя лежи по оста на излъчване на излъчвателя Oz или ъгъл $\theta = 0^\circ$ изразът добива вида:

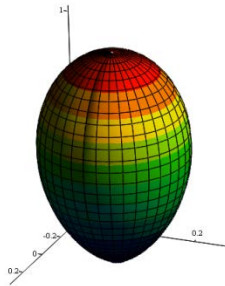


Фиг. 3. Двумерна диаграма на насоченост

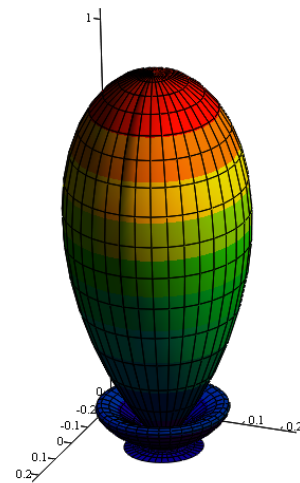
$$G(0) = \frac{\int_0^1 \int_0^{2\pi} \frac{\rho \cdot r \sqrt{r^2+h^2} e^{-jk \sqrt{(\rho \cdot r \cos(\alpha))^2 + (\rho \cdot r \sin(\alpha))^2 + (d-\rho \cdot h)^2}}}{\sqrt{(\rho \cdot r \cos(\alpha))^2 + (\rho \cdot r \sin(\alpha))^2 + (d-\rho \cdot h)^2}} d\alpha d\rho}{\int_0^1 \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot r \sqrt{r^2+h^2} e^{-jk \sqrt{(\rho \cdot r)^2 + (d-\rho \cdot h)^2}}}{\sqrt{(\rho \cdot r)^2 + (d-\rho \cdot h)^2}} d\rho} \quad (14)$$

Изследването на зависимостта на характеристиката на насоченост спрямо височината на конуса представлява интерес [15,16] поради което е направен анализ и сравнение спрямо характеристиката на насоченост на плосък бутален излъчвател и характеристики на конусна мембрана с централен ъгъл 120° и 90° .

При плосък бутален излъчвател височината на конуса $h=0$.

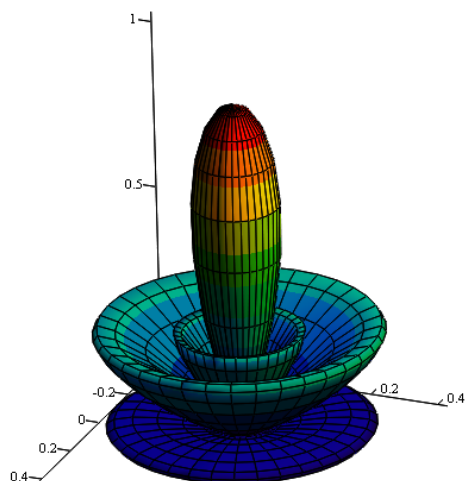


Фиг. 4. Тримерна диаграма на насоченост при $h=0$



Фиг. 5. Тримерна диаграма на насоченост при $h=0.05725$ m

На фиг. 5 е изобразена тримерна диаграма на насоченост при централен ъгъл на конуса 120°



Фиг. 6. Тримерна диаграма на насоченост при $h=0.1145m$
 На фиг. 6 е изобразена тримерна диаграма на насоченост при централен ъгъл на конуса 90°

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

Разглежда се въпроса за пространствените характеристики на кръгъл акустичен преобразувател с конусна форма на мембраната. Представен е кратък обзор на теоретични изрази за пространствените характеристики на акустични преобразуватели.

Предложен е аналитичен израз (11) за изчисляване на нормираната характеристика на насоченост приложим за кръгли преобразуватели с конусна форма на мембраната.

Предложения израз е напълно приложим за изобразяване на характеристики на насоченост на кръгли плоски бутални и кръгли конусни бутални излъчватели.

Направено е графично сравнение на характеристиките на насоченост при различни височини на конуса [17,18]. В резултат на което се получава, че с увеличаване на височината на конуса (намаляване на централния ъгъл) излъчвателите концентрират по-голямо налягане по оста на излъчване но се получават странични листи в диаграмата при честота $f=4400\text{Hz}$ на разстояние $r=0.045m$.

Научните изследвания, резултатите които са представени в настоящата публикация, са извършени по проект ПД2/2017г. в рамките на присъщата на ТУ-Варна научноизследователска дейност, финансирана целево от държавния бюджет.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящата работа може да има приложение във всички сфери на изследователската и инженерна работа, където е необходимо да се използват кръгли конусни бутални мембрани за излъчвания във звуковата област [19]. Резултатите довеждат до важни изводи за характеристиките на насоченост на кръгъл бутален излъчвател с конусна форма на мембраната. Предложен е израз приложим да изчисляване на характеристиката на насоченост на кръгли бутални излъчватели с плоска и конусна мембрана. Показани са графично характеристики на насоченост съпоставени спрямо височината на конусната мембрана. Тема на следващи изследвания е реално измерване на звуково налягане на високо говорители с конусни мембрани на по-големи разстояния от близката зона и съпоставяне с резултати изчислени с предложения израз за доказване на функционалността на изказа сравнени с реално предоставени от производителите на високо говорители характеристики на насоченост. Също така в бъдеще може

да се прави сравнителен анализ на характеристиката на насоченост при различни честоти. Предлагане на аналитичен израз за изследване на звуковото налягане в близката зона на конусна мембрана и експериментално изследване на зависимостта и от разстоянието и честота.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]И. Вълчев, Електроакустика, издателство „Техника“, София, 1975 (In Bulgarian);
- [2]Ек. Сираков. Електроакустика. Варна, ТУ–Варна, 2009.
- [3]L. F. Lependin, Acoustics (in Russian), Moscow, Vysshaya Shkola, 1978;
- [4]T. D. Rossing, M. Schroeder, W. Hartmann, N. Fletcher, F. Dunn, D. Campbell, A. Pierce, Handbook of Acoustics, Springer, New York, 2007.
- [5]Rayleigh, John William Strutt, Baron, The theory of sound, vol. 1, Macmillan and co. London, 1877;
- [6]L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, J. V. Sanders, Fundamentals of Acoustics 4th ed., John Wiley&Sons, New York, 2000;
- [7]Klippel W., Schlechter J. Measurement and Visualization of Loudspeaker Cone Vibration. Presented at the 121st Convention of the Audio Eng. Soc., New York, USA, 2006;
- F.J.M. Frankort, “Vibration Patterns and Radiation Behavior of Loudspeaker Cones,” J. of Audio Eng. Soc., Sept. 1978, Vol. 26.
- [8]Klippel, Schlechter, „Distributed Mechanical Parameters of Loudspeakers, Part 1: Measurements“, Journal of Audio Eng. Soc. Vol. 57, No. 7/8, 2009 July/August.
- [9]W. Klippel, J. Schlechter, „Distributed Mechanical Parameters of Loudspeakers, Part 2: Diagnostics“, Journal of Audio Eng. Soc. Vol. 57, No. 9, 2009.
- [10]R. M. Aarts and A. J.R.E. M. Janssen. “Modeling a loudspeaker as a flexible spherical cap on a rigid sphere”. J. Acoust. Soc., pp. 182, 2010;
- [11]Guangjian Ni, Stephen Elliott, Andrew Langley, Dynamics and Waves in Loudspeaker Cones, University of Southampton, SO17 1BJ, UK, Newtonia Ltd. Poole, BH17 2PW, UK
- [12]M. Petyt and P. N. G´ elat, Vibration of loudspeaker cones using the dynamic stiffness method, Applied Acoustics, Vol. 53, No. 4 (1998).
- [13]Y. Hu, X. Zhao, T. Yamaguchi, M. Sasajima, Y. Koike, Excitation Experiments of a Cone Loudspeaker and Vibration-Acoustic Analysis Using FEM, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering Vol:9, No:12, 2015
- [14]W. N. Brown Jr., “Theory of conical sound radiators,” J .Acoust. Soc. Am., vol. 13, no. 1, pp. 20–22, 1941
- [15]P. G. Bordoni, “The conical sound source,” J. Acoust. Soc. Am., vol. 28, no. 2, 1945
- [16]T. Nimura, E. Matsui, K. Shibayama, and K. Kido, “Study on the cone type dynamic loudspeakers,” J. Acoust. Soc. Jpn., vol. 7, no. 2.
- [17]F. J. Frankfort, “Vibration and Sound Radiation of Loudspeaker Cones,” Thesis, Delft, 1975 (Philips Res. Rep. Suppl., no. 2, 1975).
- [18]T. Ueno, K. Takahashi, K. Ichida, and S. Ishii, “The vibration analysis of a cone loudspeaker by the finite element method,” J. Acoust. Soc. Jpn., vol. 34, no. 8, 1978
- [19]N. Kyouno, T. Usagawa, T. Yamabuchi, and Y. Kagawa, “Acoustic response analysis of a cone-type loudspeaker by the finite element method,” J. Acoust. Soc. Jpn., vol. 61, no. 6, 2005.

	АКУСТИКА Национална конференция "Акустика 2017"	Варна 13 - 14.10.2017 г. София 01 - 02.12.2017 г.
Година XIX	□ Брой 19	Декември 2017 г.

ТЕОРИТИЧЕН АНАЛИЗ НА ЗВУКОВОТО НАЛЯГАНЕ ПО ОСТА НА ИЗЛЪЧВАНЕ НА КРЪГЪЛ БУТАЛЕН АКУСТИЧЕН ПРЕОБРАЗУВАТЕЛ С КОНУСНА ФОРМА НА МЕМБРАНАТА В БЛИЗКАТА ЗОНА

NEAR FIELD THEORETICAL ANALYSIS OF SOUND PRESSURE LEVEL ON THE AXIS OF RADIATION OF CIRCULAR ACOUSTIC PISTON TRANSDUCER WITH CONICAL SHAPE OF THE MEMBRANE

инж. Георги Марков

Технически университет - Варна, България. E-mail: georgi.s.markov@mail.bg

доц. д-р инж. Екатеринослав Сираков

Технически университет - Варна, България. E-mail: katosirakov@avb.bg

Abstract

In the present paper the problem about near field sound pressure level (SPL) on the axis of radiation of circular acoustic piston transducer with conical shape of the membrane is considered. Short theoretical definitions of the near field SPL are given. An analytical expression is proposed for calculating the near field sound pressure level of a circular transducer with conical shape of the membrane on the axis of radiation. Conclusions with practical value have been made. Experimental measurements of the near field SPL have been made. Topics for future work are also considered.

Keywords: analysis, measurement, near field, circular transducer.

УВОД

В настоящата статия се разглежда въпросът за звуковото налягане в близката зона по оста на излъчване на кръгъл бутален акустичен преобразувател с конусна форма на мембраната. Представен е кратък обзор на теоретични изрази за близката зона на акустични преобразуватели.

Предложен е аналитичен израз за изчисляване на звуковото налягане по оста на излъчване приложим за кръгли преобразуватели с конусна форма на мембраната. Извършено е сравнение с известни изрази за изчисляване на звуково налягане на кръгъл плосък бутален излъчвател.

Извършено извършена е съпоставка експериментално измерено на звуково налягане в пространството на високоговорител. Направени са изводи с практическа приложност. Разгледани са и възможности за бъдещи изследвания в областта.

Глобално погледнато въпросът се разпростира върху цели области от познанието: образна диагностика, геодезия, сеизмология, радио-, хидро- и аудио- локацията, архитектурна акустика, машиностроене, идентификацията на системи и редица други в които се използват акустични преобразуватели [1,2,3,4].

1. ПРЕДПОСТАВКИ И НАЧИНИ ЗА РАЗРЕШАВАНЕ НА ПРОБЛЕМА

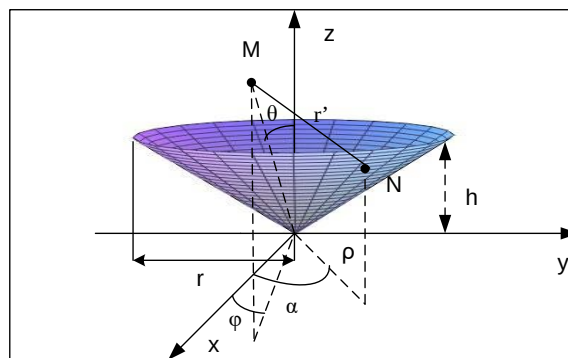
За изследване на звуковото налягане на кръгли преобразуватели с конусна форма на мембраната е необходимо първо да се изчисли елементарното налягане създавано от елементарен излъчвател в точка N (с координати x, y, z) създадено в произволна точка в пространството M с координати (с координати x_1, y_1, z_1) представено в сферична координатна система израз е:

$$dp_{\theta,\varphi} = \frac{\rho_s \cdot c_0 \cdot k v_m}{2\pi} e^{j\omega t} \frac{e^{-jkr'}}{r'} dS \quad [2] \quad (1)$$

Сумирането на всички звукови налягания създавани от елементарните излъчватели се извършва чрез интегрирането по площта на буталото:

$$p_{\theta,\varphi} = \frac{\rho_s \cdot c_0 \cdot k \cdot v_m}{2\pi} e^{j\omega t} \int_S \frac{e^{-jkr'}}{r'} dS \quad [2,5] \quad (2)$$

За случая на конусен бутален излъчвател постановката е следната:



Фиг. 1. Геометрична постановка за определяне на елементарното налягане създавано от конусен излъчвател. Площта на елементарен излъчвател dS се определя чрез диференциране по части [6,7,8] на:

$$dS = \sqrt{E \cdot G - F^2} da dp \quad (3)$$

След заместване и решение се получава:

$$dS = \rho \cdot r \sqrt{r^2 + h^2} da dp \quad (4)$$

За определяне на разстоянието r' от елементарния източник до точката на наблюдение и всички елементарни излъчватели се определят координатите на чрез геометрично представяне на повърхнината на буталния излъчвател в сферична координатна система. За произволна точка на излъчвателя N (x, y, z) точка на наблюдателя M (x_1, y_1, z_1) като в положението и е полупространството пред N.

$$\begin{aligned}x_1 &= d \sin \theta \cos \varphi \\y_1 &= d \sin \theta \sin \varphi, \quad -\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2 \quad 0 \leq \varphi \leq \pi \\z_1 &= d \cos \theta\end{aligned}$$

Координатите на точка N от излъчващата повърхност са:

$$\begin{aligned}x &= r \rho \cos \alpha \\y &= r \rho \sin \alpha \quad 0 \leq \alpha \leq 2\pi \text{ и } 0 \leq \rho \leq 1 \\z &= \rho h\end{aligned}$$

От аналитичната геометрия следва:

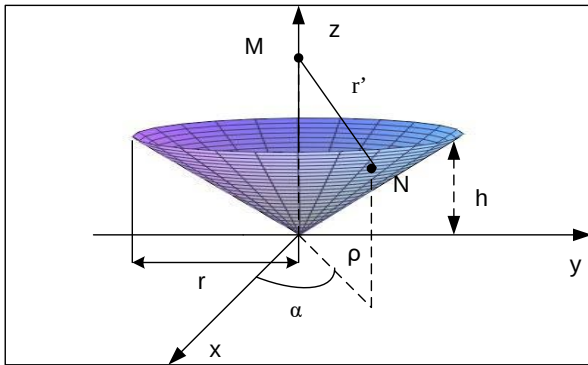
$$r' = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} \quad (5)$$

След заместване

$$r' = \sqrt{(d \sin \theta \cos \varphi - x)^2 + (d \sin \theta \sin \varphi - y)^2 + (d \cos \theta - z)^2} \quad (6)$$

При максимално излъчване $\theta = 0$ (по оста на излъчване):

$$r'(\theta = 0) = \sqrt{x^2 + y^2 + (d - z)^2} \quad (7)$$



Фиг. 2. Геометрична постановка за определяне на налягането по оста на конусен излъчвател

След заместване на координатите на M и N в разглеждания случай на максимално налягане или точка на наблюдателя по оста на излъчване.

$$p_{max} = \int_0^1 \int_0^{2\pi} \frac{r \rho \sqrt{r^2 + h^2} e^{-jk \sqrt{r^2 \rho^2 \cos^2 \alpha + r^2 \rho^2 \sin^2 \alpha + (d - \rho h)^2}}}{\sqrt{r^2 \rho^2 \cos^2 \alpha + r^2 \rho^2 \sin^2 \alpha + (d - \rho h)^2}} d\alpha d\rho \quad (8)$$

2. РЕШЕНИЕ НА ПРОУЧВАНИЯ ПРОБЛЕМ

Изведения израз за максималното налягане създавано от кръгъл конусен бутален акустичен преобразувател по оста на излъчване е необходимо да опрости. Израза за максимума на налягането при ъгъл $\theta = 0^\circ$ не зависи от ъгъл α и израза след опростяване добива вида:

$$p_{max} = \int_0^1 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot r \sqrt{r^2 + h^2} \cdot \frac{e^{-jk \sqrt{(r\rho)^2 + (d - \rho h)^2}}}{\sqrt{(r\rho)^2 + (d - \rho h)^2}} d\rho \quad (9)$$

След преминаване от сферична в декартова координатна система чрез формулата на Ойлер [9,10,11] за максимална стойност на звуковото налягане се получава израза:

$$p_{max} = \frac{k}{2} \int_0^1 x \cdot a \cdot \frac{\sqrt{a^2 + h^2} \cdot e^{-jk \sqrt{(r-x \cdot h) + a^2 \cdot x^2}}}{\sqrt{(r-x \cdot h) + a^2 \cdot x^2}} dx \quad (10)$$

където:

x – радиус вектор

a – ефективен радиус на мембраната

r – разстояние от излъчвателя до точката на наблюдателя по оста Oz

h – височина на конусния излъчвател

$k = \frac{2\pi f}{c}$ – вълново число

f – честота

c – скорост на звука във въздуха

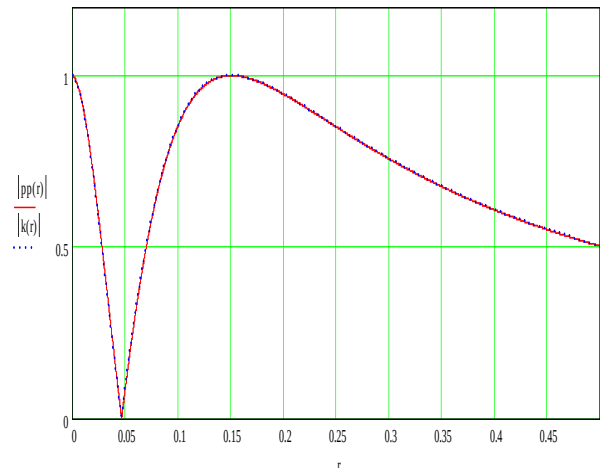
Израз (10) се предлага от авторите за изчисляване на максимума на налягането на кръгъл бутален конусен излъчвател.

Въвеждането на получения израз в съвременни софтуерни продукти като Mathcad позволява изчисляването на звуково налягане на конусни мембрани с различни радиуси и височини в спрямо разстоянието.

Извършено е сравнение с известен израз за изчисляване на звуково налягане на кръгъл плосък бутален [12,13,14] излъчвател:

$$p_a = 2 \cdot \rho_0 \cdot c_0 \cdot \left| \sin \left\{ \frac{1}{2} k [\sqrt{r^2 + a^2} - r] \right\} \right| \quad [15](11)$$

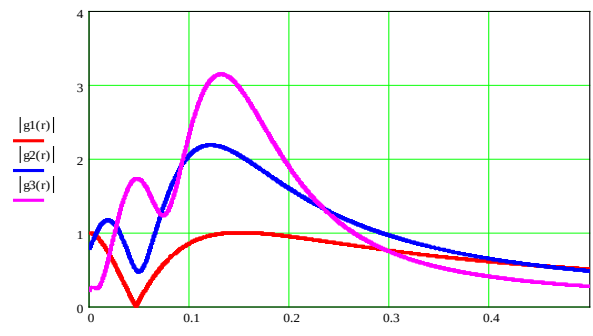
При аналитично решение с Mathcad на израз (10) и израз (11) при еднакви характеристики на мембраната и височина $h=0$ в израз (10), което съответства на плосък бутален излъчвател се получава пълно съвпадение на резултатите в зависимост от разстоянието.



Фиг. 3 Графично сравнение на звуково налягане изчислено с изрази (7) и (8) при мембрана с $a=0,1145$ и при честота $f=4440$ Hz

Получения резултат показва възможността за използване на израз (10) за аналитично изчисляване на звуково налягане в зависимост от разстоянието освен за конусни и за плоски бутални излъчватели.

За определяне на зависимостта на звуковото налягане от височината е извършено решение на израза при различни стойности на височината – h (при $f=4440$ Hz).



Фиг. 4 Графично сравнение на звуково налягане на конусни мембрани с различни височини при честота $f=4440$ Hz и съпоставено спрямо разстоянието r

На фиг. 3 е показан резултата от решението на израз (10) за мембрани с $a=0,1145$ при честота $f=4440$ Hz като в червено е изобразена графика на решението при височина $h=0$, в синьо $h=0,05725$ (съответстваща на 120° централен

ъгъл на конуса) и в розово $h=0.1145$ (съответстваща на 90° централен ъгъл на конуса).

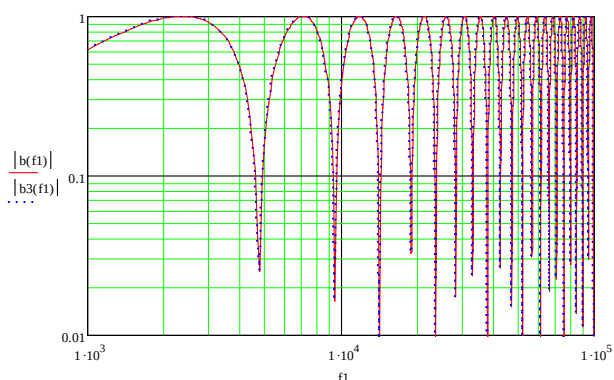
Извод от изследването е потвърждение на доказани минимум на налягането при кръгла плоска мембрана получен с известния израз (11) и с предложени израз (10). Минимума настъпва при едно и също разстояние $r=0.045$ m. за разглежданата мембрана при честота $f=4440$ Hz.

След въвеждане на параметъра височина на конуса също се наблюдава минимум, но формата на графиката се изменя и минимума настъпва след максимум. Настъпилия минимум при конусните мембрани зависи от височината и настъпва на по-голямо разстояние от известния минимум за плоска мембрана. Което означава, че близката зона на конусните мембрани е на по-голямо разстояние от кръглите плоски мембрани.

Звуковото налягане съгласно изчисленията за конусни мембрани след преминаване на минимума се увеличава с увеличаване на височината спрямо налягането на плоски мембрани.

Освен за измерване на налягането в зависимост от разстоянието израз (10) е приложим и за определяне на зависимостта на налягането при изменение на честотата.

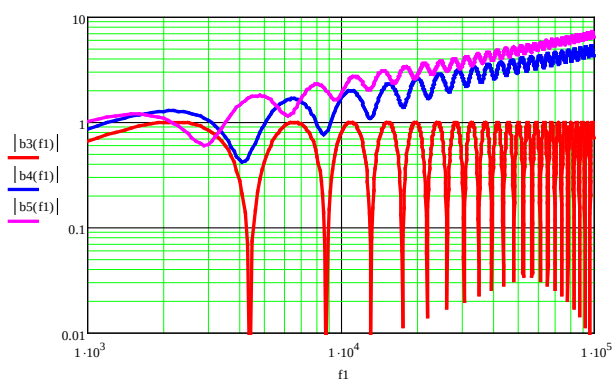
При аналитично решение с Mathcad на израз (10) и израз (11) при еднакви характеристики на мембраната и височина $h=0$ в израз (10), което съответства на плосък бутален излъчвател се получава пълно съвпадение на резултатите в зависимост от честотата.



Фиг. 5 Графично сравнение на звуково налягане изчислено с изрази (7) и (8) при мембрана с $a=0.1145$ и при разстояние $r=0.045$ m.

Получения резултат показва възможността за използване на израз (10) за аналитично изчисляване на звуково налягане в зависимост от честотата освен за конусни и за плоски бутални излъчватели.

За определяне на зависимостта на звуково налягане от височината е извършено решение на изрза при различни стойности на височината – h (при $r=0.045$ m).



Фиг. 6 Графично сравнение на звуково налягане на конусни мембрани с различни височини при разстояние $r=0.045$ m.

На фиг. 6 е показан резултата от решението на израз (7) за мембрани с $a=0.1145$ при разстояние $r=0.045$ m като в червено е изобразена графика на решението при височина $h=0$, в синьо $h=0.05725$ (съответстваща на 120° централен ъгъл на конуса) и в розово $h=0.1145$ (съответстваща на 90° централен ъгъл на конуса).

Извод от изследването е потвърждение на доказани минимум на налягането при кръгла плоска мембрана получен с известния израз (11) и с предложени израз (10). Минимума настъпва при една и съща честота $f=4440$ Hz за разглежданата мембрана при разстояние $r=0.045$ m.

След въвеждане на параметъра височина на конуса също се наблюдава минимум, но формата на графиката се изменя и минимума настъпва при различна честота. Настъпилия минимум при конусните мембрани зависи от височината и настъпва на по-ниска честота от известния минимум за плоска мембрана. Което означава, че минимума настъпва при по-ниски честоти при конусните мембрани спрямо честотите при кръглите плоски мембрани.

Звуковото налягане съгласно изчисленията за конусни мембрани след преминаване на минимума се увеличава с увеличаване на височината спрямо налягането на плоски мембрани, което запазва нивото си.

Обобщен извод е че нивата на минимумите при изчисления с израз (10) и при параметър h по-голям от 0 са на по-високи нива на налягането спрямо нивата на минимумите при кръглите плоски мембрани.

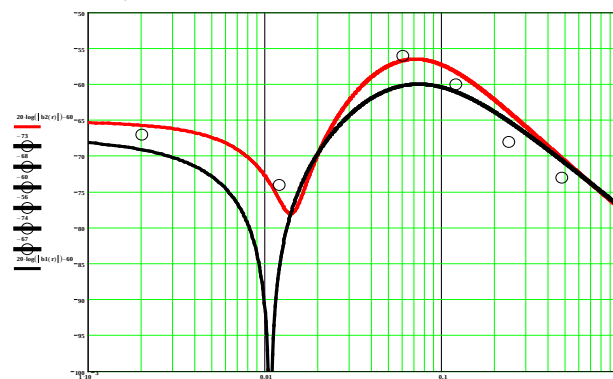
За потвърждаване на аналитичните резултати с измервания на реален високоговорител са използвани данни от проведен експеримент с високоговорител ВВК201БГ и съпоставянето им с получени аналитични резултати чрез използване на израз (10).

ВВК201БГ е с със следните характеристики на мембраната:

- ефективен радиус – $a=0.08$ m.
- височина на конусната мембрана – $h=0.024$ m.

Експеримента е проведен при честота $f=4900$ Hz при която настъпва минимум на налягането при разстояние $r=0.055$ m.

При поставяне на аналитичните резултати получени от известния израз (11) и предложени израз (10) спрямо измерените стойности при разстояния: $r=0.002$ стойност - 67dB, $r=0.012$ стойност -74dB, $r=0.06$ стойност -56dB, $r=0.12$ стойност -60dB, $r=0.24$ стойност -68dB, $r=0.48$ стойност - 73dB се получава:



Фиг. 7 Измерено звуково налягане на високоговорител ВВК201БГ съпоставено с аналитично получени резултати чрез решаване на израз (11) (черно) и израз 10(червено).

Получените резултати от съпоставката доказват приложимостта на израз (10) при изчисляване на звуковото налягане съпоставено спрямо разстоянието. Предложения израз увеличава точността на изчисления спрямо предложени до момента изрази за изчисление за кръгли

плоски излъчватели, въпреки че разглежданият в известни изследвания говорител ВВК201БГ е с малка височина на конусната мембрана, което е търсен ефект от изследователите за приближаване на резултатите до случая на плосък бутален излъчвател. Предложният израз с по-голяма точност предоставя възможност за изследване на звуковото налягане спрямо разстоянието.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

Разглежда се въпроса за пространствените характеристики на кръгъл акустичен преобразувател с конусна форма на мембраната. Представен е кратък обзор на теоретични изрази за пространствените характеристики на акустични преобразуватели.

Предложен е аналитичен израз (10) за изчисляване на звуковото налягане приложим за кръгли преобразуватели с конусна форма на мембраната. Извършено е сравнение с известни изрази за изчисляване на звуково налягане на кръгъл плосък бутален излъчвател.

Предложения израз (10) е приложим за изследване на звуково налягане спрямо разстоянието и честотата по оста на излъчвателя.

Предложения израз е напълно приложим за изследвания на кръгли плоски бутални излъчватели поради пълно препокриване на резултатите с вече получени резултати плоски бутални излъчватели.

Потвърден е доказателствения минимум на налягането при кръгла плоска мембрана получен с известния израз (11) и с предложени израз (10) и височина $h=0$. Минимума настъпва при едно и също разстояние $r=0.045$ m. и честота $f=4440$ Hz за разглежданата мембрана.

Извършения аналитичен анализ чрез предложени израз (10) и увеличаване на височината на конусната мембрана доведе до следните изводи:

- формата на графиката за звуковото налягане спрямо разстоянието се изменя и минимума настъпва след максимум при конусни мембрани. Настъпилия минимум при конусните мембрани зависи от височината и настъпва на по-голямо разстояние от известния минимум за плоска мембрана.

- формата на графиката спрямо честотата се изменя и минимума настъпва при различна честота. Настъпилия минимум при конусните мембрани зависи от височината и настъпва на по-ниска честота от известния минимум за плоска мембрана. Кое означава, че минимума настъпва при по-ниски честоти при конусните мембрани.

- звуковото налягане съгласно изчисленията за конусни мембрани след преминаване на минимума се увеличава с увеличаване на височината.

- нивата на минимумите при изчисления с израз (10) и при параметър h по-голям от 0 са на по-високи нива на налягането спрямо нивата на минимумите при кръглите плоски мембрани.

Извършено извършена е съпоставка [12,13] експериментално измерено на звуково налягане в пространството на високоговорител ВВК201БГ. При което се получава потвърждение на приложимостта на изрза и по-добрата му точност при изчисление на кръгли конусни излъчватели спрямо известния израз за изчисляване на налягане на кръгли плоски излъчватели.

Научните изследвания, резултатите които са представени в настоящата публикация, са извършени по проект ПД2/2017г. в рамките на присъщата на ТУ-Варна научноизследователска дейност, финансирана целево от държавния бюджет.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящата работа може да има приложение във всички сфери на изследователската и инженерна работа[14], където

е необходимо да се използват кръгли конусни бутални мембрани за излъчвания във звуковата област. Резултатите довеждат до важни изводи за характеристиките на насоченост на кръгъл бутален излъчвател с конусна форма на мембраната. Предложен е израз приложим да изчисляване на налягането по оста на конусна мембрана, който дава изчислени стойности с по-голяма точност от известните до момента. Показани са графично характеристики на звуково налягане съпоставени спрямо височината на конусната мембрана. Тема на следващи изследвания е реално измерване на звуково налягане по оста на високоговорители с конусна мембрана. Предлагане на аналитичен израз за изследване на характеристика на насоченост на конусна мембрана и експериментално изследване на зависимостта и от разстоянието и честота.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]И. Вълчев, Електроакустика, издателство „Техника“, София, 1975 (In Bulgarian);
- [2]Ек. Сираков. Електроакустика. Варна, ТУ–Варна, 2009.
- [3]T. D. Rossing, M. Schroeder, W. Hartmann, N. Fletcher, F. Dunn, D. Campbell, A. Pierce, Handbook of Acoustics, Springer, New York, 2007.
- [4]L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, J. V. Sanders, Fundamentals of Acoustics 4th ed., John Wiley&Sons, New York, 2000;
- [5]Klippel W., Schlechter J. Measurement and Visualization of Loudspeaker Cone Vibration. Presented at the 121st Convention of the Audio Eng. Soc., New York, USA, 2006;
- F.J.M. Frankfort, “Vibration Patterns and Radiation Behavior of Loudspeaker Cones,” J. of Audio Eng. Soc., Sept. 1978, Vol. 26.
- [6]Guangjian Ni, Stephen Elliott, Andrew Langley, Dynamics and Waves in Loudspeaker Cones, University of Southampton, SO17 1BJ, UK, Newtonia Ltd. Poole, BH17 2PW, UK
- [7]M. Petyt and P. N. G´ elat, Vibration of loudspeaker cones using the dynamic stiffness method, Applied Acoustics, Vol. 53, No. 4 (1998).
- [8]Y. Hu, X. Zhao, T. Yamaguchi, M. Sasajima, Y. Koike, Excitation Experiments of a Cone Loudspeaker and Vibration-Acoustic Analysis Using FEM, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering Vol:9, No:12, 2015
- [9]W. N. Brown Jr., “Theory of conical sound radiators,” J .Acoust. Soc. Am., vol. 13, no. 1, 1941
- [10]P. G. Bordoni, “The conical sound source,” J. Acoust. Soc. Am., vol. 28, no. 2, 1945
- [11]T. Nimura, E. Matsui, K. Shibayama, and K. Kido, “Study on the cone type dynamic loudspeakers,” J. Acoust. Soc. Jpn., vol. 7, no. 2.
- [12]F. J. Frankfort, “Vibration and Sound Radiation of Loudspeaker Cones,” Thesis, Delft, 1975 (Philips Res. Rep. Suppl., no. 2, 1975).
- [13]T. Ueno, K. Takahashi, K. Ichida, and S. Ishii, “The vibration analysis of a cone loudspeaker by the finite element method,” J. Acoust. Soc. Jpn., vol. 34, no. 8, 1978
- [14]N. Kyouno, T. Usagawa, T. Yamabuchi, and Y. Kagawa, “Acoustic response analysis of a cone-type loudspeaker by the finite element method,” J. Acoust. Soc. Jpn., vol. 61, no. 6, 2005.
- [15] Il Iliev, Ek Sirakov, Hr Zhivomirov, Sound near field examination of a circular piston, UNITECH’2013, November 2013, Gabrovo, Bulgaria, pp59–63.

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2017”	Варна 10 - 11.10.2017 г. София 01 - 02.12.2017 г.
Година XIX	□ Брой 19	Декември 2017 г.

РАЗПОЗНАВАНЕ НА ХАРАКТЕРИСТИЧНА МЕЛОДИЯ НА БИОАКУСТИЧНИ СИГНАЛИ

инж. Пролет Денева

Technical University of Varna, str. Studentska 1, 9010 Varna, Bulgaria

E-mail: pchalakova@mail.bg, URL: <http://tu-varna.bg/aspl/>

Резюме: В настоящата разработка е предложен метод за откриване на характеристични мелодии в биоакустични записи на птици, регистрирани в техните местообитания в дивата природа. За целта първо е приложен метод за 2-D обработка на аудио спектрограми [1], който спомага за елиминиране на значителна част от конкурентните акустични събития, даже когато превъзхождат по амплитуда целевите акустични емисии. Впоследствие, характеристичната мелодия се открива чрез интерполация през спектралните пикове на основния хармоник на сигнала, определени за отделните времеви интервали на акустичните събития. Основният принос на разработката се състои в представената обща структура на концептуалното решение и предложената методика за откриване на характеристичната мелодия.

Ключови думи: цифрова обработка на сигнали, биоакустични сигнали, изчислителна биоакустика, интерполация, характеристична мелодия

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Както е добре известно, в полеви условия регистрирането на биоакустични емисии от ключови животински видове е силно затруднено, главно заради изменчивостта на шума от околната среда и множеството съпътстващи звукови събития от други животински видове. Това е една от основните пречки за постигане на висока точност при автоматичното акустично разпознаване на видовете. Традиционните методи за обработка на акустични сигнали, насочени към потискане на шума във времева или честотна област, не са ефективни, особено в случая когато съпътстващите звукови събития се припокриват както по време, така и по честота с вокализациите на целевите видове.

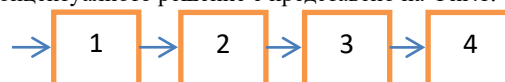
За преодоляване на тези трудности е разработен подход за намаляване на смущенията, които работи едновременно на няколко колони и редове от аудио спектрограмата, използвайки методи и алгоритми типични за обработката на изображения. Методите основани на този подход се възползват от съпоставянето на времевата и честотната информация за локализация на енергията на сигнала и по тази причина често се наричат 2-D методи за обработка на аудио [1]. Важно е да се отбележи, че при тези методи резултатът от обработката на сигнала в определен момент зависи от бъдещите стойности на сигнала, което не позволява реализацията на тези алгоритми в реално време. Въпреки това, тъй като записите на биоакустични емисии обикновено се обработват на блокове, обработката в близко до реално време, или в off-line режим е приемлива за голяма част от типичните приложения. В тази връзка, методите за 2-D аудио параметризиране са докладвани приложими за целите на предварителната обработка на сигнала или последващия процес на извличане на характеристиките на акустичните събития[2-6].

Съществуващите подходи за определяне на характеристиките на птичи вокализации се основават на: (i) извличане на описатели на сигнала директно във времевата област; (ii) получаване на спектрални описатели; (iii) методи работещи едновременно във време-честотната област; (iv) методи използващи други преобразувания на сигнала, с цел извличане на информативни характеристики. Тези подходи, приложени към отделни акустични събития, срички, пасажии или последователности от такива, са в основата на многообразието от методи докладвани в научната литература.

В настоящата разработка е изследвано възможността за определяне на характеристичната мелодия чрез интерполация през спектралните пикове на основния хармоник на сигнала, определени за кратки времеви интервали. Накратко, в Секция 2 е описано концептуалното решение на проблема и е предложено метод за откриване траекторията на характеристичната мелодия в биоакустични записи на птици, регистрирани в дивата природа. Числени резултати от прилагането на метода са представени в Секция 3, а в Секция 4 е предложено обобщение, изводи, и конкретизиране потенциалната приложимост на метода.

2. МЕТОД

С цел потискане на фоновия шум и определени конкурентни акустични събития се извършва предварителна обработка на аудио сигнала, след което въз основа на откритите спектрални пикове за основния хармоник извършваме интерполация за изчисляване траекторията на характеристичната мелодия. Общата структура на концептуалното решение е представено на Фиг.1.



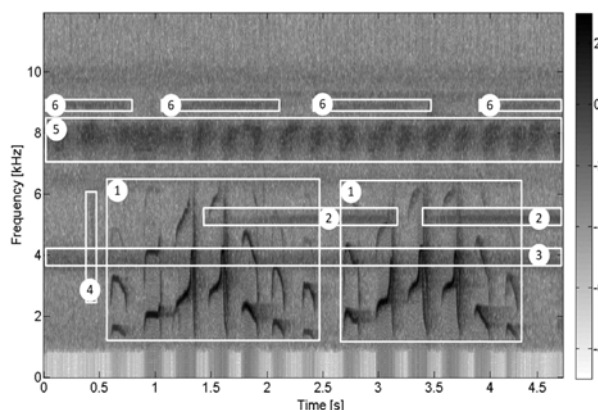
Фиг.1. Блокова схема на процеса за откриване на характеристичната мелодия

Основните етапи при извличане на характеристичните мелодии от аудио записи на птици са:

1. предварителна обработка на сигнала за потискане на шума и конкурентни акустични емисии;
2. откриване на спектралните пикове за първия хармоник на сигнала;
3. интерполация през откритите спектралните пикове;
4. съставяне на система характеристични уравнения.

2.1 Предварителна обработка на сигнала

В настоящата разработка е използван 2-D метод [1] за предварителна обработка на аудио сигнали който е докладван подходящ за шумопотискане в записи на птици. Този метод предлага добро потискане на фоновия шум в цялата честотна лента на сигнала и ефективно елиминира конкурентни акустични събития от повечето видове насекоми и земноводни. На Фиг. 2 е представен пример за необработен аудио запис направен в естественото местообитание на *Myrmotherula multistriata*.

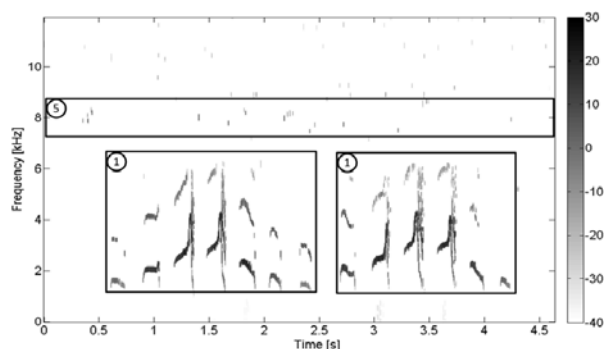


Фиг.2. Аудио спектрограма за откъс от пет секунди от запис на *Myrmotherula multistriata* (акустични събития в правоъгълници с етикет 1), но включваща акустични събития от пет други животински вида (заградени в правоъгълници с етикети 2-6).

Спектрограмата от Фиг. 2 е изчислена за 5-секунден откъс от запис MYRMUL09.mp3, които е публично достъпен чрез базата данни Xeno-Canto¹. Звучите от Amazonian Streaked Antwren (*Myrmotherula multistriata*) са отбелязани с правоъгълници с номера 1, а акустичните събития от други животински видове са отбелязани с правоъгълници с номера от „2“ до „6“.

На Фиг. 3 е показан резултата от прилагането на метода за потискане на фонов шум и нежелани акустични събития [1], приложен върху спектрограмата от Фиг. 2. В резултат на обработките, фоновия шум и съпътстващите акустични емисии от други животински видове, различни от Amazonian Streaked Antwren, са подгизнати с изключение на дребни фрагменти от акустичната емисия заградена с правоъгълник „5“.

¹ Автор на записа е Jeremy Minns, 2003-04-10, 15:58h, Brazil, Pousada Thaimaçu. Rio São Benedito. Източник: Xeno-Canto. URL: <http://www.xeno-canto.org/sounds/uploaded/DGVLLRDXS/MYRMUL09.mp3>



Фиг.3. Аудио спектрограма след предварителна обработка на сигнала от Фиг.2 с 2-D метода [1]

За случаите на вокализации с изявиени хармонични съставлящи, има възможност да бъде направена апроксимация на характеристичната мелодия. За целта се започва с прилагане на маска за отделяне на първия хармоник, последвано от време-честотна локализация на пиковете на енергията. За пример, прилагането на маска и локализацията на пиковете на енергия в изображението от Фиг. 3, дава възможност за определяне на малък набор от позиции които трасират изменението на максималната енергия по време на вокализацията. Локализацията на позициите с пикова енергия във време-честотната област дава възможност за компактно представяне вокализацията и за създаване на нови методи за разпознаване на голям брой животински видове по тяхната характеристичната мелодия.

Параметричното описание на характеристичната мелодия дава възможност за бързо сравнение между структурите и композициите на множество акустични емисии на пойни птици и други животински видове, които издават звуци с изявена хармонична структура.

2.2 Интерполация

Използвайки позициите с максимална концентрация на енергията, определени съгласно обработките на сигнала описани в секция 2.1, с помощта на числова интерполация можем да конструираме нови числови стойности които да допълват липсващи участъци от характеристичната мелодия. Според конфигурацията и броя на получените позиции с максимална енергия може да се използва линейна, параболична, билинейна, бикубична, или други видове функции за интерполиране. В конкретният случай приемаме параболичната интерполация като подходящ начин да намерим характеристичната мелодия.

Въпросът за наборът от позиции, които ще бъдат използвани за основа на интерполацията, е много съществен, тъй като оптималният им избор помага за редуциране на риска от грешки. Подборът на критерии за избор на тези позиции е извън обсега на текущата публикация, поради което тук се задоволяваме с избора на максималния пик в локална околност в рамките на интервал от 300 милисекунди. Така можем да подберем позициите $\{x_i, y_i\}$, в които да пресметнем функцията, която апроксимираме. Допускаме че система от уравнения от втора степен, за всяка последователна комбинация от три позиции, имащи по една обща точка, дава задоволителна точност при определяне на характеристичната мелодия.

Нека да приемем, че прилагането на обработката на сигнала описана в секция 2.1, е довело до определяне на

координатите за всеки от спектралните пикове, представени в Таблица 1.

Таблица 1. Координати на спектралните пикове

x_i	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_4, \dots$	x_m
y_i	y_0	y_1	y_2	y_3	$y_4, \dots$	y_m

При пресмятанята ще считаме, че стойностите y_i в точките на аргумента x_i са получени от експеримент и ние не познаваме стойностите на функцията y за стойности различни от x_i . За всяка комбинация от три последователни позиции се съставя параболично уравнение чрез интерполационен полином на Лагранж. Така, за първите три позиции получаваме израза:

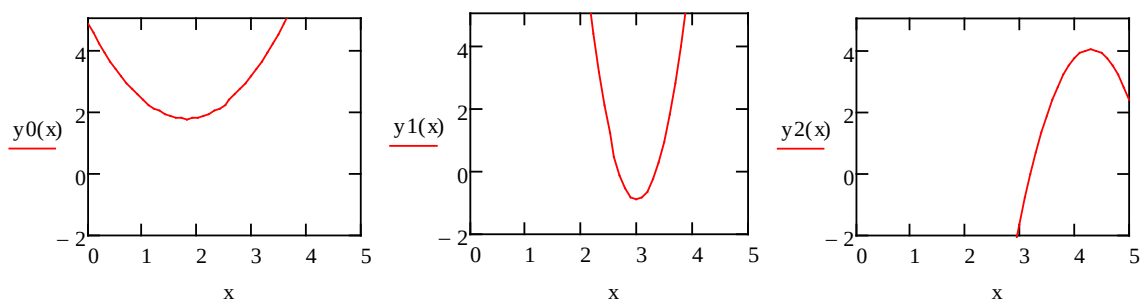
$$Y_0(x) = y_0 \cdot \frac{(x-x_1) \cdot (x-x_2)}{(x_0-x_1) \cdot (x_0-x_2)} + y_1 \cdot \frac{(x-x_0) \cdot (x-x_2)}{(x_1-x_0) \cdot (x_1-x_2)} + y_2 \cdot \frac{(x-x_0) \cdot (x-x_1)}{(x_2-x_0) \cdot (x_2-x_1)}$$

За следващите позиции изразите са:

$$Y_1(x) = y_2 \cdot \frac{(x-x_3) \cdot (x-x_4)}{(x_2-x_3) \cdot (x_2-x_4)} + y_3 \cdot \frac{(x-x_2) \cdot (x-x_4)}{(x_3-x_2) \cdot (x_3-x_4)} + y_4 \cdot \frac{(x-x_2) \cdot (x-x_3)}{(x_4-x_2) \cdot (x_4-x_3)}$$

$$Y_2(x) = y_4 \cdot \frac{(x-x_5) \cdot (x-x_6)}{(x_4-x_5) \cdot (x_4-x_6)} + y_5 \cdot \frac{(x-x_4) \cdot (x-x_6)}{(x_5-x_4) \cdot (x_5-x_6)} + y_6 \cdot \frac{(x-x_4) \cdot (x-x_5)}{(x_6-x_4) \cdot (x_6-x_5)}$$

$$\begin{aligned} y0(x) &:= 2 \cdot \left[\frac{(x-1.6)}{(1.3-1.6)} \cdot \frac{(x-2.4)}{(1.3-2.4)} \right] + 1.8 \cdot \left[\frac{(x-1.3)}{(1.6-1.3)} \cdot \frac{(x-2.4)}{(1.6-2.4)} \right] + 2.1 \cdot \left[\frac{(x-1.3)}{(2.4-1.3)} \cdot \frac{(x-1.6)}{(2.4-1.6)} \right] \\ y1(x) &:= 2.1 \cdot \left[\frac{(x-2.5)}{(2.4-2.5)} \cdot \frac{(x-3.7)}{(2.4-3.7)} \right] + 1.2 \cdot \left[\frac{(x-2.4)}{(2.5-2.4)} \cdot \frac{(x-3.7)}{(2.5-3.7)} \right] + 2.8 \cdot \left[\frac{(x-2.4)}{(3.7-2.4)} \cdot \frac{(x-2.5)}{(3.7-2.5)} \right] \\ y2(x) &:= 2.8 \cdot \left[\frac{(x-4.6)}{(3.7-4.6)} \cdot \frac{(x-4.9)}{(3.7-4.9)} \right] + 3.7 \cdot \left[\frac{(x-3.7)}{(4.6-3.7)} \cdot \frac{(x-4.9)}{(4.6-4.9)} \right] + 2.8 \cdot \left[\frac{(x-3.7)}{(4.9-3.7)} \cdot \frac{(x-4.6)}{(4.9-4.6)} \right] \end{aligned} \quad (2)$$



Фиг. 4. Елементи на характеристична мелодия определени от уравнения (2)

В общият случай, получената система от уравнения се представя както следва:

$$\begin{aligned} Y_{0(x)} &= a_0 \cdot x^2 + b_0 \cdot x + c_0 \quad \text{за интервал } \Delta_0 = x_0 \div x_2 \\ Y_{1(x)} &= a_1 \cdot x^2 + b_1 \cdot x + c_1 \quad \text{за } \Delta_1 = x_2 \div x_4 \\ Y_{2(x)} &= a_2 \cdot x^2 + b_2 \cdot x + c_2 \quad \text{за } \Delta_2 = x_4 \div x_6 \\ &\dots (1) \\ Y_{m-4} &= a_{m-4} \cdot x^2 + b_{m-4} \cdot x + c_{m-4} \quad \text{за } \Delta_{m-4} = x_{(m-2)} \div x_m \end{aligned}$$

Графичната интерполация на получената система уравнения създава визуална представа за образа на характеристичната мелодия. Тя се явява предпоставка за създаване на характеристична критериална система в подкрепа на методите за сравняване и разпознаване на звуци за голям брой биологични видове.

3. ЧИСЛЕН ПРИМЕР

Приемаме че прилагането на обработката на сигнала описана в секция 2.1 е довело до определяне позициите с максимална енергия, за най-значимите спектрални пикове от Фиг. 3, чиито примерни координати са представени в Таблица 2.

Таблица 2. Примерни позиции с максимална енергия

x_i	1.3	1.6	2.4	2.5	3.7	4.6	4.9
y_i	2	1.8	2.1	1.2	2.8	3.7	2.8

Прилагаме системата от уравнения (1) за всяка комбинация от три последователни позиции и съставяме параболичните уравнения, представени чрез уравнения (2).

Графичната интерполация на получената система уравнения, представен на Фиг. 4, създава визуална представа за елементите на характеристичната мелодия определени от уравненията.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящата разработка въвежда нов метод за описване на акустични емисии на животински видове, подходящ за сигнали, които имат ясно изразена хармонична съставна. Методът задава формална параметрична рамка в която се дефинира изчисляването на характеристична мелодия на акустични емисии на пойни птици. Параметричното описание на характеристичната мелодия дава възможност за бързо сравнение между структурите и композициите на множество акустични емисии на пойни птици и други животински видове, които издават звуци с изявена хармонична структура. Предложената методика създава предпоставки за създаване и развитие на нови методи за бързо търсене на определен тип вокализация в дълги записи, а също така, за ускорено разпознаване на голям брой животински видове по тяхната характеристичната мелодия.

Счита се, че след съответното доразвитие и усъвършенстване на критериите за подбор на позициите, използвани при апроксимация и типа на интерполационната функция, методът би могъл да намери приложение в системи за наблюдение на биоразнообразието на животинските видове.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Ganchev T., "Computational Bioacoustics: Biodiversity Monitoring and Assessment", First edition, De Gruyter, Berlin, June 2017. ISBN: 978-1-61451-729-0
- [2]. Aide, T.M., Corrada-Bravo, C., Campos-Cerqueira, M., Milan, C., Vega, G., Alvarez, R. "Real-time bioacoustics monitoring and automated species identification". PeerJ 1: e103, 2013. Available on-line: <https://dx.doi.org/10.7717/peerj.103>
- [3]. Bardeli, R. "Similarity Search in Animal Sound Databases", IEEE Transactions on Multimedia, vol. 11, no. 1, Jan. 2009. pp. 68–76.
- [4]. Briggs, F., Lakshminarayanan, B., Neal, L., Fern, X. Z., Raich, R., Hadley, S. J. K., Hadley, A. S., Betts, M. G., "Acoustic classification of multiple simultaneous bird species: A multi-instance multi-label approach". The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 131, no. 6, 2012, pp. 4640–4650.
- [5]. Lee, C.-H., Hsu, S.-B., Shih, J.-L., Chou C.-H. "Continuous Birdsong Recognition Using Gaussian Mixture Modeling of Image Shape Features", IEEE Trans. on Multimedia, vol. 15, no. 2, Feb. 2013.
- [6]. Potamitis, I., "Automatic classification of a taxon-rich community recorded in the wild". PLoS ONE, vol. 9, no.5, e96936, 2014.
- [7]. Heijmans, H., Ronse, C. "The algebraic basis of mathematical morphology. Part I: Dilations and erosions", Computer Vision, Graphics and Image Processing, vol. 50, 1990, pp. 245–295.



ГЕНЕРАТОР НА ПРИЗНАКОВИ ВЕКТОРИ НА БАЗАТА НА ХИДРОАКУСТИЧЕН ОБРАЗ ЗА ОБУЧЕНИЕ НА НЕВРОННА МРЕЖА

GENERATOR OF SIGN VECTORS BASED ON A HYDROACOUSTIC IMAGE FOR NEURAL NETWORK TRAINING

ас. д-р Сивков Й. А.

Висше Военноморско училище „Н.Й.Вапцаров“, Варна, България. E-mail: jsivkov@naval-acad.bg

Abstract

In the process of hydrolocation recognition, one of the most important processes is the training of the classifier used. Ensuring a sufficient number of uncut objects is a complicated and in some cases incomprehensible process, so it is necessary to use the generated computer objects resembling the searched objects. The development of such algorithms may lead to a reduction in training time, assisting in the verification process and testing the stability and noise resistance of the classifier. The proposed algorithm produces signaling vectors for hydroacoustic objects based on a given real representative with input of a level of dispersion by the user. Additionally, it is possible to generate sign vectors with random signs or close to real but not within the specified range.

Keywords: classification, passive hydrolocation, generator of sign, neural network training.

УВОД

Хидролокационното разпознаване е важен, актуален и развиващ се с бързи темпове етап в процеса на хидролокационното наблюдение [1]. Използването на методи за разпознаване симулиращи процесите на човешкия мозък (невронни мрежи) е един подход даващ високи резултати (над 90% вероятност за правилна класификация) при класификация, и имат възможност за реализация на компютърно базирана системи, чрез подходящ софтуер.

Разпознаването е процес на определяне на принадлежността на наблюдавания обект към дадена група(клас) от обекти, по характеристиките на излъчвания или отразения от него сигнал. Процесът на разпознаване включва в себе си три основни подетапа:

- определяне на признаците за разпознаване на обекта /целта/;
- определяне на метода /-ите/ за разпознаване на базата на тези признаци;
- извършване на класификация чрез определения метод /-и/.

В общия случай тестването на експертни системи за оценка на класификацията в хидроакустични станции изисква определен брой входни сигнали представляващи обекти принадлежащи на класовете, на които е обучена системата. Тези сигнали се използват за обучение и тестване на вече обучената система. Осигуряването им е процес, който не зависи от потребителите на системата и изисква наблюдаване на различни представители на класовете, с които се иска да се извърши обучението. Това налага използването на алтернативен подход, при който на базата на по-малък брой реални представители да се генерират допълнителни образи.

1. ПРЕДПОСТАВКИ И НАЧИНИ ЗА РАЗРЕШАВАНЕ НА ПРОБЛЕМА

При обучение на класификатора е нужно да се използва достатъчен брой вектори с признаци за всеки клас осигуряващ обучение на класификатора с желаната вероятност за правилна класификация, които са създадени чрез разработен алгоритъм и програмно осигуряване използвайки, като основен и централен всеки един от наличните сонарни образи [2].

С помощта на предварително зададена максимална дисперсия за всеки признак, като отделните признаци се изменят по случаен закон в посочения диапазон:

$$m_i \in [(M_i - D) \dots (M_i + D)], \quad (1)$$

където m_i е генериран по случаен закон признак принадлежащ на пространството около централен базов признак $M_i \pm$ зададена дисперсия D . При генерирането няма корелация между отделните признаци в един вектор, както и при отделните вектори един спрямо друг. След формирането всички вектори се записват, заедно с предварително формиран вектор за обучение даващ информация, към кой клас се отнася дадения образ.

За входни данни на алгоритъма (Фиг. 1) се използват набор от реални признакови вектори на пасивни хидролокационни образи на съществуващи образци бойна техника, описани в Тактически симулационен комплекс Dangerous Waters използван при учения от ВМС на България. Образите са съставени от U.S. Naval Institute, Annapolis, Maryland и представят всеки обект, чрез последователност от пет стойности, като честоти [3], в които се получени максимални по амплитуда сигнали посочени в Таблица 1.

Използваните записи съдържат пет признака в един вектор. При експеримента са реализирани следните случаи:

- използване на първите четири признака;
- използване на всичките признаци;

- добавяне на допълнителни признаци и разширяване на признаковото пространство.

тип	клас	F1	F2	F3	F4	F5
Подводница	POISK-2	60	125	485	995	1937
Кораб	KONI	50	125	320	755	1787
Кораб	Fishing Boat	50	125	485	1200	1484

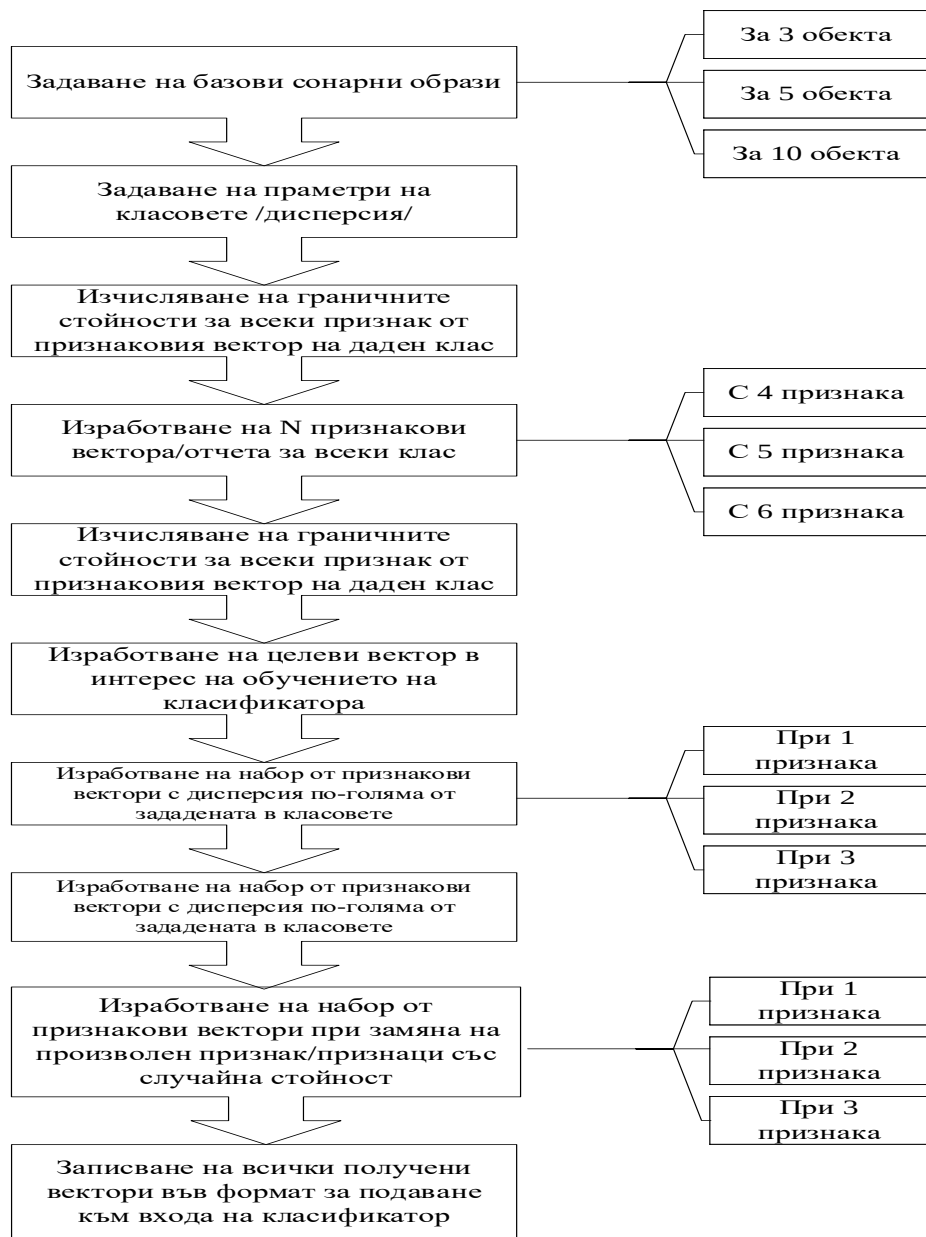
Таблица 1 Сонарни образи на примерни обекти

Посочения подход цели подпомагането на извършването на оценка на работата на класификатор на хидроакустични сигнали относно оптималния брой признаци и зависимостта на вероятността за правилна класификация от броя признаци, отнесено към времето за обработване на данните от класификатора.

За симулиране на класове от обекти от един единствен се извършва допълнителна обработка разширяваща областите

на признаците в признаковия вектор. Тези вектори са използвани в процеса на обучение.

Поради единичните налични записи е изработен и реализиран алгоритъм за създаване на набор от признакови вектори на базата на посочените по-горе, като е изменена стойността на някой от признаците с добавено отместване по случаен закон в диапазона на 2% [2]. Векторите са реализирани на два етапа, като изместване на един или повече от признаците в даден интервал /дисперсия/ и заместване на един или няколко от признаците със случайни числа извън посочения интервал. Тези два етапа целят симулиране на адитивни шумове, които водят до грешно измерване на даден признак или появата на признак, маскиращ по енергиен или друг критерии предварително зададения. Така създадените признакови вектори могат да бъдат приложени в процеса на проверка на адекватността на модел на класификатор за поставените му задачи и шумоустойчивостта на алгоритъма.



Фиг. 1 Алгоритъм за генериране на признакови вектори

2. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

Алгоритъма посочен по-горе е реализиран в средата на програмния продукт Matlab 2013, а изходните от неговата работа признакови вектори са подадени към класификатор реализиран с изкуствена невронна мрежа Многослоен перцептрон (МСП) обучен с учител по алгоритъма с обратно разпространение на грешката /MLP with BPA/ с цел обучение, тестване и изследване на шумоустойчивостта [4, 2]. На изхода на изкуствената невронна мрежа (ИНМ) е поставен краен класификатор за добавяне на възможност за оценка на вектори непринадлежащи към обучаващите класове [2].

При изследването на приложимостта на векторите генерирани от алгоритъма се използват пет модела на ИНМ съответно два с невронни елементи (НЕ) разположени в един слой, два с НЕ разположени в два слоя – (структура 9-9 и 9-12) и един с три слоя (структура 9-6-6) [4, 1]. Всяка структура от НЕ е обучена с генерирани вектори и е зададен максимален брой епохи за обучение 30 и крайна цел вероятност за правилна класификация 100%. След извършеното обучение последователно се извършва тестване с генерирани и реални признакови вектори принадлежащи и не принадлежащи на обучителните класове, като резултатите от това са посочени в Таблица 2.

Таблица 2 Резултати от обучение на ИНМ

Структура на ИНМ	ВПК	Време за обучение	ВПК при тест
Еднослоен МСП с 12 НЕ	100%	0.212	100%
Еднослоен МСП с 18 НЕ	100%	0.243	100%
Двуслоен МСП с 18 НЕ	100%	0.503	100%
Двуслоен МСП с 21 НЕ	100%	0.33	100%
Трислоен МСП с 21 НЕ	100%	0.785	100%

От проведения експеримент може да се заключи, че генерираните вектори на базата на разработения алгоритъм посочен по-горе могат да се използват за обучение на класификатори изградени на базата на ИНМ, като времето за обучение зависи от наличието на достатъчен брой входни вектори и липсата на реални такива го увеличава или води до невъзможност за обучение му до желаното ниво.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

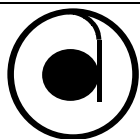
В резултат на изработения алгоритъм могат да се създават обучаващи и тестови вектори за различни типове кораби, които ще бъдат използвани при изграждането на класификатор. За целите на изследването генерираните входни вектори са с различни дължини /четири, пет и шест признака/ и различен брой семпли. За извършване на проверка на вече обучен класификатор са генерирани допълнителни признакови вектори, различни от използваните за обучение, като освен признакови вектори принадлежащи на клас използван при обучението са заложили и признакови вектори при, които един или два от признаците се различават, както и напълно случайно генерирани признаци.

Използването на разработения генератор спомага за намаляване на времето за разработване на класификатори базирани на изкуствени невронни мрежи, тяхното тестване и верификация.

При следващи разработки и подобрения е възможно добавяне на напълно самостоятелно генериране на признакови вектори на базата на математически апарат описващ излъчването от обекта звуково поле.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] V. J. Lobo, *Ship Noise Classification*, Lisbon: New University of Lisbon, College of Science and Technology, 2002.
- [2] Й. Сивков, Цифрови методи за обработка на сигналите от хидроакустични системи, Варна: ВВМУ, 2017.
- [3] А. Опенхайм, Приложение на цифрова обработка на сигналите, София: ДИ "Техника", 1982.
- [4] Ф. Уоссермен, *Неурокомпьютерная техника*, Москва: Мир, 1992.
- [5] R. P. Hodges, *Underwater acoustic, analysis, design and performance for sonar*, Singapore: A John Wiley and Sons, Ltd., Publication, 2010.
- [6] T. Curtis, *"Sonar Technology – Past and Current," Technology*, Curtis, 2004.
- [7] M. A. Ainslie, *Principles of Sonar Performance Modeling*, Berlin: Springer, 2010.
- [8] Р. Урик, *Основы гидроакустики, Судостроение*, 1978.



КРАЕН КЛАСИФИКАТОР НА СИГНАЛИТЕ ОТ ИЗХОДА НА НЕВРОННА МРЕЖА ЗА ОБРАБОТКА НА ХИДРОАКУСТИЧНИ СИГНАЛИ

FINAL CLASSIFIER OF SIGNALS FROM THE OUTPUT OF A NEURAL NETWORK FOR PROCESSING HYDROACOUSTIC SIGNALS

ас. д-р Сивков Й. А.

Висше Военноморско училище „Н.Й.Вапцаров“, Варна, България. E-mail: jsivkov@naval-acad.bg

Abstract

One of the main problems in passive hydroacoustics is related to the process of classification of detected objects. This requires the development of methods for its realization and the introduction of new approaches to solving the problem. A modern approach to classifying is the use of artificial neural networks that have a number of advantages. A major drawback in this approach is the lack of the ability to classify objects that have not been the subject of training, in which case the likelihood of false alarm is high. The analysis of the output signals in the classification of these objects leads to the development of a model of final classifier for estimating the outputs of the artificial neural network.

Keywords: final classifier, neural network, classification, passive hydrolocation.

УВОД

Един от основните проблеми в пасивната хидроакустика е свързан с процеса на разпознаване на откритите обекти. Това налага развитието на методите за неговата реализация и навлизане на нови подходи за решаване на проблема. Класическият подход с използването на обучен оператор е един от основните, но има редица ограничения, като например:

- липсата на достатъчно обучени оператори;
- нуждата от повече от един оператор при продължително наблюдение;
- висока себестойност на обучението;
- операторите имат индивидуални характеристики и няма повторимост на крайния резултат;
- няма възможност за прехвърляне на знанието към следващ оператор.

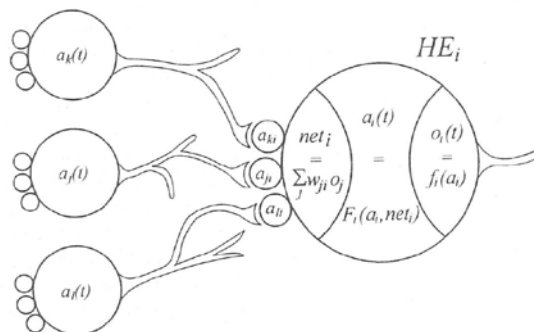
Тези ограничения водят до търсенето на алтернативни подходи, като това значително се подпомага от навлизането и използването на цифрови системи за обработка на информацията. Използването на методи за разпознаване симулиращи процесите на човешкия мозък (невронни мрежи) е един подход даващ високи резултати (над 90% вероятност за правилна класификация) при класификация, и имат възможност за реализация на компютърно базирана системи, чрез подходящ софтуер.

Невронната мрежа се състои от краен брой неврони (нервни клетки), свързани по определен начин с конкретно функционално предназначение. Неврона се изгражда от следните елементи [1]–[6]:

- о тяло;
- о входни връзки (дендриди);
- о изход (аксон);
- о изходящи връзки (синапси).

С изкуствените невронни мрежи се преследва моделиране на предполагаема структура на естествените

невронни мрежи и симулиране на някой функции на човешки мозък. С навлизане на микропроцесорната техника и повишаване на изчислителната и мощност интересът към структурата и алгоритмите на работа на невронните мрежи нараства.



Фиг. 1 Структура на ИНМ

Един от най-често използваните алгоритми за реализиране на изкуствена невронна мрежа (ИНМ) при решаване на проблема с класификацията на обекти към даден клас е многослойния перцептрон. Познат още от 40-те години на 20 век и се стреми да възпроизведе най-точно функциите на човешката нервна система. Изграждат се от входен, изходен и един или няколко скрити слоя, които зависят от решаваната задача.

Изграждането на ИНМ е свързано и с определяне на нейните параметри и структура, като при направеното изследване на набор от примерни образи със следните входни стойности:

- признакови вектори с размерност от четири, пет и шест независими признака;

- 10, 200 и 500 различни образци на входните вектори за всеки клас;
- различни структури на ИНМ, като брой неврони и слоеве, като е спазено правилото за кратност на невроните в даден слой спрямо броя входни признаци в един признаков вектор.

Еднослойните и двуслойните невронни мрежи с посочения брой НЕ, кратен на броя на класовете осигуряват нужните параметри за работата с такъв вид входни сигнали.

Малкият брой обучаващи вектори осигурява същия процент на вероятност за правилна класификация при намалено време за извършване на обучението. На базата на направените експериментални изследвания се приемат 10 признакови вектори за всеки клас като достатъчни за обучението на ИНМ[7].

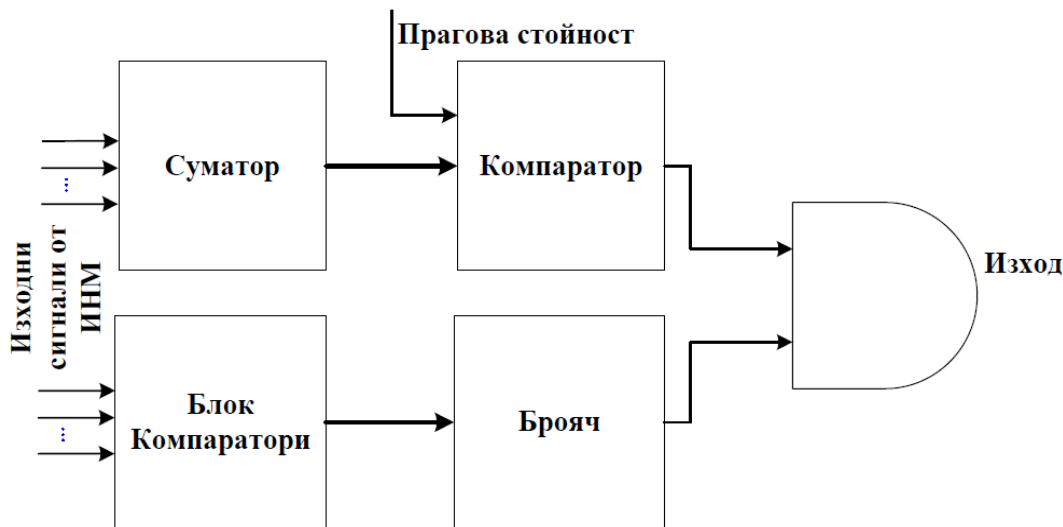
Извършването на коректна класификация изисква

оценка на конкретните числови стойности и техните отношения.

1. ПРЕДПОСТАВКИ И НАЧИНИ ЗА РАЗРЕШАВАНЕ НА ПРОБЛЕМА

Посочения по-горе проблем изисква разглеждане на структурата на изходните сигнали от ИНМ и оценката им за вземане на решение за принадлежност или не на дадения вектор към определен клас. За извършването на обработката се използва допълнителен блок наречен краен класификатор, добавящ допълнителен изход индициращ разпознаване на обект непринадлежащ към нито един от обучените класове.

След разглеждане на числовите стойности на изхода на ИНМ при класификация на обект принадлежащ към клас използван за обучение и такъв непринадлежащ на нито един от класовете се виждат следните разлики:



Фиг. 2 Блокова схема на краен класификатор на изхода на ИНМ

наличието на признаково пространство, което да позволява вземането на еднозначно решение. За формиране на признакови вектори се използва приоритетно честотната област поради своята най-висока информативност, което води до определянето и като фокус на настоящото изследване.

За извличане на признаците от реалните записи на собственото шумово поле от надводни обекти се използва LOFAR и DEMON честотно-временен анализ, чийто изходен резултат се подава към входа на класификатора. Осредняването се извършва на базата на дванадесет изчисления на честотния спектър.

При обработката на входния сигнал се счита, че отношението сигнал/шум надвишава 15 dB.

При проведеното изследване се установи, че вече обучена ИНМ дава вероятност за правилна класификация над 99% за признакови вектори принадлежащи към клас, за който е обучена да разпознава [7]. При подаване на признаков вектор непринадлежащ към никой от обучаващите класове се наблюдава случайно разпределение на резултатите, т.е. генериране на грешна класификация. Този проблем е свързан с липсата на изход отговарящ за липсата на правилна класификация, както и спецификата на използвания софтуерен продукт (Matlab версия 2013a). Оценката за принадлежност на даден входен сигнал към обучен клас се определя от изхода с максимален сигнал, а не се извършва

- при обект принадлежащ на класът имаме стойности на изхода на съответния клас над 0,98;
- при обект принадлежащ на класът имаме стойности на останалите изходи под 0,0005;
- при обект непринадлежащ на нито един клас, имаме стойности на поне един изход над 0,5 (зависи от броя класове);
- при обект непринадлежащ на нито един клас, имаме стойности на поне повече от един изход над 0,005 (зависи от броя класове).

Тези особености спомагат за изработване на модел за оценка и обработка на изходните сигнали на ИНМ.

Оценката се извършва от краен класификатор чрез два паралелни канала /Фигура 2/ в първия всички изходни сигнали от ИНМ се сумират и се подават към компаратор, сравняващ сумата с предварително зададен праг. При преминаването му се изработва двоичен резултат 1, а при стойност по-ниска от прагът изходният резултат е 0.

Прагът се определя при обучението и тестването на ИНМ с образи принадлежащи към някой от класовете, на които се обучава класификатора. За праг се определя максималната получена стойност от всички образи, т.е. за всяка конкретна ситуация този праг ще бъде различен. За да се гарантира, че класификатора няма да пропусне правилна класификация поради неправилно определен праг се извършва същата оценка през компаратор за прагове с 2,4,6 и 10% по-високи от

базовата стойност. При преминаване на сигнала през някой от филтрите по-високи от базовия се извежда и индикация за процента повишение и вероятността за грешно сработване на класификатора.

$$C_{\text{пр}}^1 = \sum_{i=1}^n o_i, \quad (1)$$

където o_i – сигнали от изходните слоеве на ИНМ,

n – броя изходни НЕ,

$C_{\text{пр}}^1$ – прагова стойност за първия канал.

Във втория канал се извършва паралелна обработка на всеки от изходите с компаратор изработващ двоичен изходен сигнал при преминаване на зададена гранична стойност. Граничната стойност се определя от прагът определен в първия канал и броя канали, като се изчислява по форм. 1. Всеки компаратор изработва 1 при преминаване на прага. Активните сигнали на изхода на компараторите се преброяват и ако са повече от един или нула се изработва изходен сигнал 1, ако имаме само един компаратор изпълнил условието се изработва 0 на изхода.

$$C_{\text{пр}}^2 = \frac{C_{\text{пр}}^1}{n}, \quad (2)$$

където $C_{\text{пр}}^2$ – прагова стойност за компараторите във втория канал.

Изходните сигнали от двата канала се обработват чрез логическа схема за съвпадение, като изработват изходен сигнал „единица“ само в случай, че имаме активиране на двата канала. Така формирания резултат индицира липсата на съвпадения на подадения входен образ с класовете използвани за обучение на ИНМ.

Инвертираният сигнал от горепосочения изход се използва, като се подава към разрешаващия вход на схема за съвпадения на всеки от изходите посочващи принадлежност към даден клас. Така активирането на изхода за липса на съвпадение се явява забраняващ активиране на друг изход и аналогично се явява разрешаващ за активиране на изхода при разпознаване на входен образ принадлежащ към множеството на познат клас.

2. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

Така обоснования краен класификатор е използван при обработка на реални данни извлечени от записите използвани за обучение на хидроакустици във ВМС, чрез които се представят типови представители на различните източници на шум представляващи интерес за подводното наблюдение, като търговски, пътнически, военни и риболовни кораби и подводници. За направата им са използвани слуховите канали на типова хидролокационна система.

При формиране на признаковото пространство е използван LOFAR и DEMON алгоритми, като получените вектори се разделени в две групи – за обучение на класификатора и за тестване. Използвани са сигнали от три типа обекти /два кораба и подводна лодка/ и структура на ИНМ в три различни варианта посочени в Таблица 1.

Таблица 1 Структура на ИНМ

№	Брой скрити слоеве	Брой на НЕ	Структура на НЕ в слоевете
1	1	24	24
2	2	12	6-6
3	3	21	6-9-6

При обучението на ИНМ са постигнати параметри осигуряващи вероятност за правилна класификация 100%.

За тестване на обученния класификатор са изработени с използване на разработен допълнително алгоритъм, 100 „лъжливи“ признакови вектори за всеки клас и са извлечени между 10 и 30 (в зависимост от продължителността на наличните записи) вектори на обекти от класовете използвани за обучение, които не са включени в процеса на обучение.

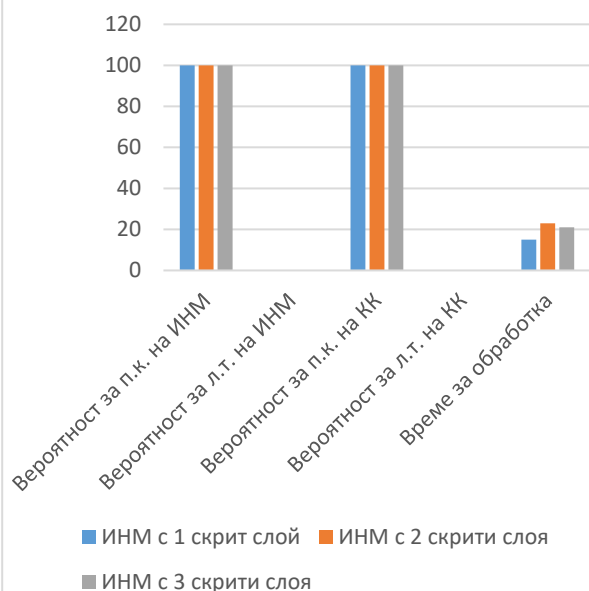
В Таблица 2 са посочени резултатите от тестването на обучената система с наличието и без краен класификатор. Измерени са вероятностите за правилна класификация и лъжлива тревога, както и времето за обработка.

Таблица 2 Тестване на обучената ИНМ с и без краен класификатор

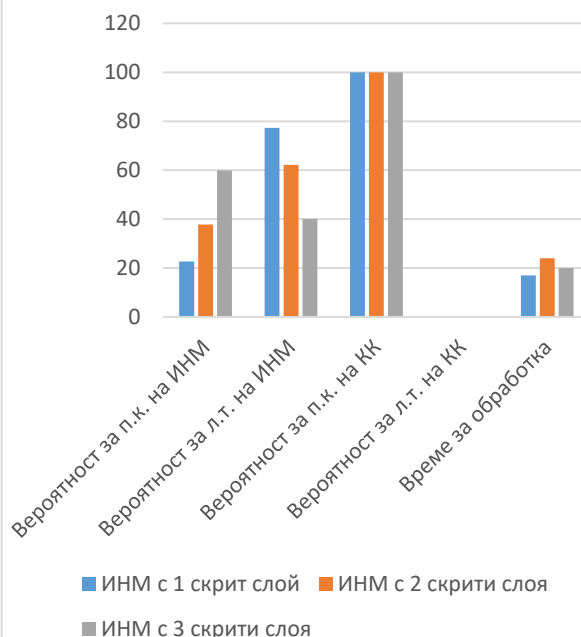
№	Брой скрити слоеве	ИНМ с един скрит слой	ИНМ с два скрити слоя	ИНМ с три скрити слоя
Извлечени признакови вектори принадлежащи на класовете				
1	Вероятност за п.к. от ИНМ	100	100	100
2	Вероятност за л.т. от ИНМ	0	0	0
3	Вероятност за п.к. от КК	100	100	100
4	Вероятност за л.т. от КК	0	0	0
5	Време за обработка [ms]	15	23	21
Случайно генерирани вектори				
6	Вероятност за п.к. от ИНМ	42,3	16,9	55,8
7	Вероятност за л.т. от ИНМ	57,7	83,1	44,2
8	Вероятност за п.к. от КК	100	100	100
9	Вероятност за л.т. от КК	0	0	0
10	Време за обработка [ms]	17	21	19
Изменени програмно признакови вектори				
11	Вероятност за п.к. от ИНМ	22,7	37,8	59,9
12	Вероятност за л.т. от ИНМ	77,3	62,2	40,1
13	Вероятност за п.к. от КК	100	100	100
14	Вероятност за л.т. от КК	0	0	0
15	Време за обработка [ms]	17	24	20

Посочените данни в таблицата в частта случайно генерирани вектори и изменени програмно признакови вектори при използване на ИНМ без краен класификатор показват вероятността за правилна класификация и лъжлива тревога при измерване на класификация за първия клас или за класът, който е програмно изменен. Това е изискване на използвания софтуер, т.к. при изследването трябва да има посочен клас към, който да се приравни входния вектор.

Извлечени признакови вектори принадлежащи на класовете

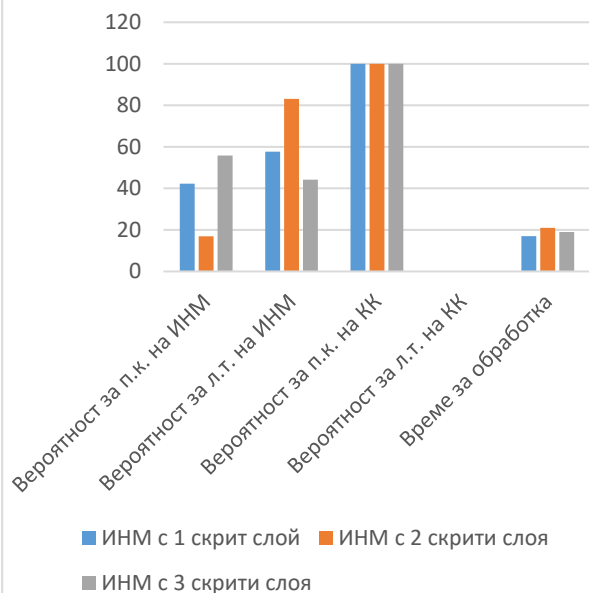


Изменени програмно признакови вектори



Фиг. 3 Графично представяне на изходните данни от класификацията

Случайно генерирани вектори



3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Използването на ИНМ при класификацията на пасивни хидроакустични сигнали дава възможност за повишаване на вероятността за правилна класификация.

Липсата на възможност за класифициране на обекти не принадлежащи към класовете, за които е обучен класификатора е сериозен недостатък, който се преодолява с добавяне на допълнителен логически блок извършват оценка на изходните данни от ИНМ.

Крайния класификатор осигурява значително намаляване на вероятността за лъжлива тревога.

4. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Г. Гочев, *Компютърно зрение и невронни мрежи* -, 1st ed. София: Технически университет - София, 1998.
- [2] R. O. Duda, P. E. (Peter E. Hart, and D. G. Stork, *Pattern classification*. Wiley, 2001.
- [3] W. S. McCulloch and W. Pitts, "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity," *Bull. Math. Biophys.*, vol. 5, no. 4, pp. 115–133, Dec. 1943.
- [4] B. Krose and P. van der Smagt, *Introduction To Neural Networks*, Eight., no. November. Amsterdam: The University of Amsterdam, 1996.
- [5] L. V. Fausett, *Fundamentals of neural networks : architectures, algorithms, and applications*. Prentice-Hall, 1994.
- [6] J. A. Freeman and D. M. Skapura, *Neural networks : algorithms, applications, and programming techniques*. Addison-Wesley, 1991.
- [7] Й. Сивков, "Цифрови методи за обработка на сигналите от хидроакустични системи," ВВМУ: Дисертация, Варна, 2017.

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2017”	Варна 13 - 14.10.2017 г. София 01 - 02.12.2017 г.
Година XIX	□ Брой 19	Декември 2017 г.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ГРАДИЕНТНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

FEATURES OF STRUCTURE FORMATION OF GRADIENT COMBINED POLYMER RADIO ABSORBING MATERIALS

Проф., д.т.н. В. Ковтун¹, проф., д.т.н. М. Миховски², чл.-корр., д.т.н. Ю. Плескачевский³, доцент, д-р В. Банний⁴

¹ Гомельский филиал Университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь, Гомель, Беларусь

² Институт механики Болгарской академии наук, София, Болгария

³ Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь

⁴ Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь

Предложены новые составы и оригинальные технологии изготовления комбинированных поглотителей энергии электромагнитных и акустических волн на основе металлополимерных композитов. Среди них монолитные, а также многослойные волокнистые и комбинированные материалы градиентного типа, изготовленные, в частности, по технологии melt-blowing, обладающие низкой удельной массой, гибкостью, эластичностью, способностью принимать сложную форму. Изучены особенности формирования структуры градиентных комбинированных радиопоглощающих материалов (РПМ) на основе термопластов. С применением методов растровой электронной микроскопии (РЭМ) исследована микроструктура композитных полимерных РПМ и установлена значительная роль структуры композита и межфазных границ в преобразовании и поглощении энергии СВЧ излучения.

Ключевые слова: радиопоглощающие материалы, металлополимерные композиты, электромагнитная волна, СВЧ излучение, структурообразование, физико-химическое взаимодействие, волокнистые и комбинированные материалы.

1. Введение. За последние полвека значительно возрос уровень электромагнитного фона, вызванный техногенной деятельностью человека. Массовая эксплуатация радиотехнических устройств СВЧ породила в 21 веке глобальные проблемы электромагнитной экологии, электромагнитной безопасности, а также технические проблемы электромагнитной совместимости радиоэлектронной техники и систем защиты информации.

Радиопоглощающие материалы (РПМ) являются эффективным средством решения этих проблем. РПМ на основе функционально наполненных термопластов по технологическим и технико-экономическим критериям вошли в ряд наиболее перспективных средств радиозащиты [1-3]. Им присущи гибкость, легковесность, высокие звукопоглощающие и теплозащитные характеристики.

Свойства композиционных гетерогенных материалов определяются их структурой [4, 5].

Цель работы состояла в изучении особенностей формирования структуры градиентных комбинированных РПМ на основе термопластов; создании новых комбинированных поглотителей энергии электромагнитных и акустических волн на основе металлополимерных композитов.

Характер структурообразования в полимерах зависит от гибкости макромолекул и энергии межмолекулярного взаимодействия, которое может проявляться как на уровне самых низших структурных элементов – элементарных звеньев, так и на уровне более сложных образований – сегментов и целых макромолекул. Кроме того, межмолекулярное взаимодействие в полимерах, как и в низкомолекулярных веществах, определяет агрегатное

состояние. Например, неполярные макромолекулы обладают наибольшей гибкостью и между ними проявляется только дисперсионное взаимодействие. Энергия притяжения, приходящаяся на одну CH_2 – группу, составляет всего 4 кДж, но суммарная энергия межмолекулярного взаимодействия превышает энергию химической связи. С увеличением молекулярной массы полимера когезионные силы растут (сказывается аддитивность дисперсионного взаимодействия) и, соответственно, до известного предела повышается его твердость. С повышением температуры увеличивается кинетическая энергия сегментов макромолекул и при достижении энергии притяжения происходит разрыв вандер-ваальсовых связей сначала между отдельными сегментами, а затем по всей цепи макромолекулы. В результате этого появляется способность макромолекул к относительному перемещению. Полимеры с такой структурой текут при повышении температуры, проявляют высокую эластичность, растворяются в соответствующих растворителях.

Структурообразование в полимерных композиционных материалах носит более сложный характер. Полимерные композиты представляют собой совокупность, как минимум, двух, предназначенных для совместной работы, твердых тел (полимерной матрицы и функционального наполнителя (ФН)), а также межфазного слоя. В формировании свойств полимерных композиционных материалов важную роль играет интенсивность межфазного взаимодействия [6-8]. Свойства наполненных материалов, в первую очередь, определяются их структурой, элементами которой являются полимерное связующее – матрица, ФН и межфазный слой. РПМ относятся к композиционным

материалам и обладают рядом соответствующих им признаков:

- состав, форма и распределение компонентов материала запроектированы;
- материал не встречается в природе, а создан человеком;
- материал состоит из двух или более компонентов, различающихся по химическому составу и разделенных границей;
- свойства материала определяются его компонентами;
- материал обладает такими свойствами, которых не имеют его компоненты, взятые в отдельности;
- материал неоднороден в микромасштабе.

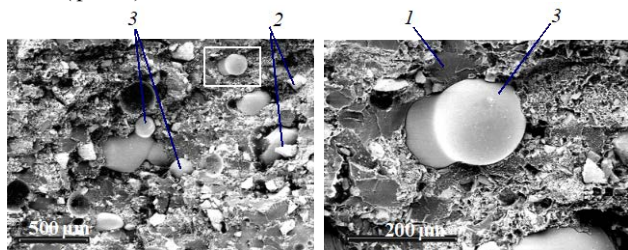
Таким образом, композиционные РПМ являются структурно неоднородными материалами.

2. Материалы и методы исследования. Объектами исследования служили пленочные, листовые и волокнистые РПМ на основе полиэтилена (ПЭ), (ГОСТ 16337-77, ГОСТ 16803-070). В качестве ФН использованы дисперсный магнитно-мягкий марганец-цинковый феррит (ММФ), (ТУ 6-09-5111-84, марка 2500 НМС, размер частиц не превышает 200 мкм), никель (ГОСТ 9722-78), углеродные волокна, металлизированные стеклосферы и углеродные ткани.

При проведении технологических экспериментов полимерное связующее механически смешивали с ФН и подвергали гранулированию на экструзионной линии ЭК-75/1200. Полученный гранулят использовался для дальнейшей переработки в изделия. Пленочные и листовые монолитные РПМ формировали методами «горячего» прессования и литьем под давлением, волокнистые РПМ в виде нетканых полотен и конструктивных элементов – методом экструзии с пневматическим напылением полимерного расплава на формообразующую подложку (метод melt blowing).

Структуру композиционных РПМ изучали методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) с использованием сканирующего электронного микроскопа Leo 982 производства США (LEO Electron Microscopy Inc., Thornwood, NY). Принципиально электронный микроскоп отличается от оптического тем, что для освещения образца вместо светового пучка с длиной волны около 5500 Å применяют пучки электронов с длиной волны 0,03–0,05 Å. Максимальное разрешение электронных микроскопов достигает 1,5–2,0 Å.

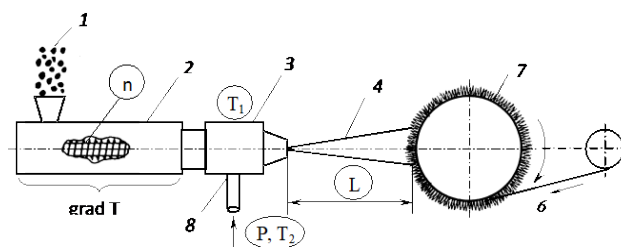
3. Проведение микроструктурных исследований градиентных комбинированных РПМ. Структура термопрессованного образца РПМ, состоящего из ПЭ, наполненного ММФ и стеклосферами, исследована методом РЭМ (фиг. 1).



Фиг. 1. Электронно-микроскопические изображения композитного РПМ состава: ПЭ + ММФ ($C = 50\%$ масс, $d = 160\text{--}200\text{ мкм}$) + стеклосферы ($C = 10\%$ масс, $d = 200\text{--}500\text{ мкм}$): 1 – ПЭ, 2 – частицы ММФ, 3 – стеклосферы.

Видно, что на границе раздела фаз стекло–полимер формируются зоны с пониженной плотностью связующего, а частицы магнитного наполнителя связаны в агрегаты и относительно равномерно распределены в связующем. Высоконаполненные кристаллизующиеся полимеры обычно обладают разрыхленной сферолитной структурой и содержат агрегаты из частиц наполнителя. Наполнители, размер которых велик по сравнению с диаметром ядра сферолита, не могут быть центрами сферолитообразования, что и наблюдается в нашем случае. Однако на зародышеобразование может оказывать влияние сама поверхность частиц наполнителя.

4. Структура волокнистых композиционных РПМ. По технологии пневмораспыления композитного расплава (melt blowing) [9] изготовлены волокнистые термопластичные полотна и формоустойчивые радиопоглощающие элементы (фиг. 2).



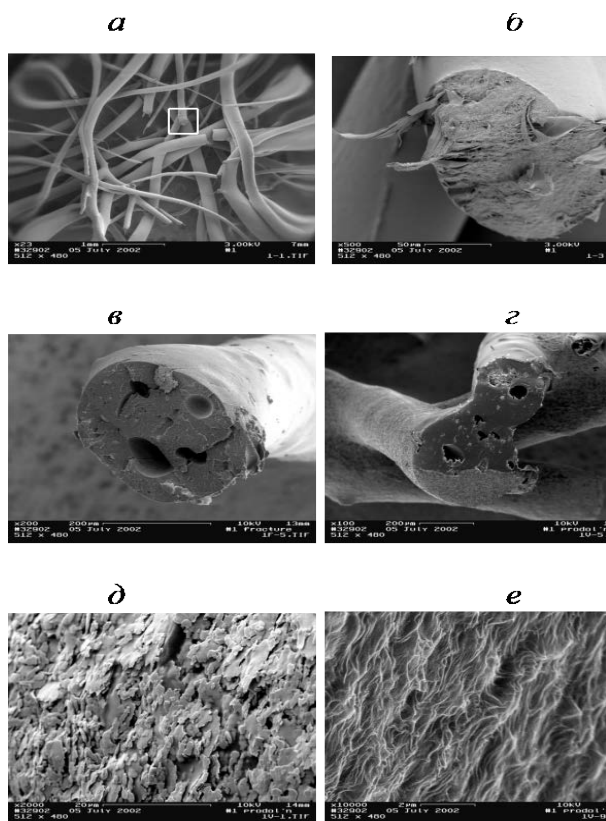
Фиг. 2. Схема изготовления волокнистых композитных РПМ на базе технологии melt blowing. 1 – композитные полимерные гранулы; 2 – экструдер; 3 – распылительная головка; 4 – газо-полимерный поток; 5 – формообразующая подложка; 6 – углеродная нить; 7 – волокнистая масса; 8 – сжатый воздух.

Способ заключается в экструзии гранулированной смеси полимера и радиопоглощающего наполнителя с последующей вытяжкой волокон газовым потоком и их осаждением на формообразующей подложке в виде нетканой волокнистой массы. В качестве ФН связующего – ПЭ при производстве волокнистого РПМ использовали порошок ММФ с размером частиц менее 50 мкм. Измельчение феррита проводили на дисковой мельнице с последующим отсевом необходимой фракции. Размер частиц ФН был ограничен технологическими возможностями процесса melt blowing. Использование частиц наполнителя большего размера приводило к засорению распылительной головки экструдера. Контролируемыми технологическими параметрами процесса melt blowing являлись распределение температур по зонам экструдера ($\text{grad } T$) и распылительной головки (T_1); частота (n) вращения шнека экструдера; давление (P) и температура (T_2) распыляющего воздуха; расстояние (L) от распылительной головки до подложки. При изготовлении наполненного ферритом волокнистого ПЭ эти параметры изменяли в следующих пределах: $\text{grad } T = 190\text{--}280\text{ }^\circ\text{C}$; $T_1 = 380\text{ }^\circ\text{C}$; $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $n = 20\text{--}25\text{ мин}^{-1}$; $P = 100\text{--}150\text{ кПа}$; $L = 15\text{--}25\text{ см}$.

По описанному способу были изготовлены волокнистые РПМ с постоянным содержанием, а также с градиентом концентрации ФН по толщине полотна. Градиентное распределение частиц наполнителя в РПМ обеспечивает хорошее согласование его волнового сопротивления с воздушным пространством. РПМ этого типа характеризуются повышенной эффективностью радиопоглощения в широком СВЧ диапазоне при различных углах падения электромагнитной волны (ЭМВ). Следует отметить, что технология melt blowing позволяет

вводить в полимерную матрицу в процессе производства волокнистых электромагнитных поглотителей армирующие элементы – углеродные или металлические нити, углеродные ткани и металлические сетки различной структуры и электропроводности. Эти операции не требуют дополнительных приемов по скреплению волокон с армирующими элементами.

По данным электронно-микроскопических исследований нетканые melt-blown РПМ представляют собой совокупность наполненных полимерных волокон, когезионно связанных в местах контакта. Частицы наполнителя (ММФ с размером частиц не более 50 мкм) закапсулированы внутри волокон (фиг. 3).



Фиг. 3. Электронно-микроскопические изображения: а – melt-blown РПМ состава ПЭ + ММФ (38 % масс); б-г – поперечный срез; д, е – поверхность волокон.

Исследуемые волокнистые РПМ на основе наполненного ПЭ являются гетерогенными системами. Они состоят из трех фаз: волокнистой полимерной матрицы, наполняющей ее фазы частиц ММФ, а также совокупности воздушных пустот – сквозных извилистых пор. Очевидно, что радиофизические, акустические и теплофизические характеристики волокнистых композитных РПМ определяются как природой и концентрацией ФН, так и параметрами волокнисто-пористой структуры материала. К последним относятся: распределение по диаметрам и средний диаметр волокон, объемная плотность и общая пористость материала, удельная поверхность волокон и т.п. Высокая степень наполнения волокон (38 % масс), большой размер частиц (до 50 мкм) ММФ и связанные с этим сложности формирования качественной волокнистой структуры по технологии melt blowing не позволили проанализировать взаимосвязь радиофизических характеристик композитных РПМ с параметрами их волокнисто-пористой структуры. Выяснилось, что частицы ферритов, обладающие развитой поверхностью и избыточной поверхностной энергией, склонны связываться в агрегаты. Агрегаты частиц, которые образуются в

процессе транспортировки и хранения порошков ферритов, имеют высокую прочность. Они не всегда разрушаются при совместной экструзионной переработке с расплавами полимеров как на стадии гранулирования, так и последующего формирования melt-blown РПМ. Все перечисленное затрудняло процесс изготовления наполненных волокнистых РПМ. Как указано выше, удовлетворительного качества волокнистых композитных РПМ добивались регулированием технологических режимов экструзионной переработки гранулята и варьированием температурных и газодинамических режимов распыления расплава полимера. Объемная плотность волокнистого РПМ на основе ПЭ, наполненного ММФ, составила 0,24–0,30 г/см³, диаметр волокон – от 23 до 349 мкм, средний диаметр волокон – 163 мкм, диаметр сечения пор – от 80 до 1400 мкм. Структура волокнистого РПМ из-за особенностей технологии melt blowing анизотропна.

Melt-blown РПМ имеют развитую пористую структуру, что увеличивает площадь активной поверхности рассеяния, а также способствует прохождению ЭМВ вглубь экрана. Некоторое поглощение энергии электромагнитного излучения (ЭМИ) происходит по механизму магнитных потерь из-за наличия частиц ферритового наполнителя, закапсулированных в связующем, имеющем технологически обусловленную фибриллярную структуру (фиг. 3, а).

Параметры рассеяния ЭМИ повышаются благодаря большой площади межфазных границ и возможности придавать электромагнитным экранам, выполненным из полимерных РПМ, разнообразную форму, например, в виде усеченных пирамид, расположенных на плоском листовом основании.

Достоинством технологии melt blowing изготовления волокнистых композитных РПМ является возможность сочетать многие технологические операции в едином цикле производства, а также изменять в широких пределах микро- и макроструктуру РПМ путем варьирования технологических параметров процесса.

5. Взаимодействие СВЧ-излучения с полимерным композитным РПМ.

Анализ взаимодействия СВЧ излучения с полимерными градиентными комбинированными РПМ [10] позволяет утверждать, что наряду с ФН, которые вносят основной вклад в эффективность экранирования излучения вследствие присущих им диэлектрических и магнитных потерь, значительная роль в преобразовании и поглощении энергии излучения определяется структурой композита. Энергия отраженной ЭМВ снижается вследствие рассеяния на структурных неоднородностях РПМ и гашения за счет интерференции при переломлении на границах раздела сред.

Для того, чтобы РПМ эффективно поглощал и мало отражал ЭМВ в широком диапазоне частот и углов их падения, необходимо выполнить два противоречивых условия:

- 1) волновое сопротивление РПМ должно быть согласовано со «свободным пространством» так, чтобы на границе раздела сред отражение было минимально и падающая волна максимально проходила внутрь материала;
- 2) энергия волны, прошедшей в РПМ, должна поглощаться.

Метод согласования волновых сопротивлений оптимизирует связь входных импедансных характеристик РПМ с его электромагнитными параметрами. Он обосновывает перспективность РПМ с неоднородной структурой, обеспечивающей градиент электрических и магнитных потерь в направлении распространения ЭМВ.

6. Заключение. В совершенствовании техники радиопоглощения особая роль принадлежит композитным материалам на основе термопластов. Такие материалы не только сочетают свойства входящих в них ингредиентов, но и приобретают новые свойства, не присущие отдельным компонентам. Результаты исследований микроструктуры образцов гетерогенных композиционных РПМ методом РЭМ позволяют заключить, что при термическом формировании полимерных композитов на границе раздела полимер – ФН образуется новая металлополимерная фаза. Для достижения наибольшего ослабления энергии ЭМИ следует добиваться, наряду с высокими магнитными, диэлектрическими и джоулевыми потерями, хорошего согласования волнового сопротивления материала с волновым сопротивлением «свободного пространства», а также принимать во внимание рассеяние, возникающее вследствие многократных внутренних переотражений ЭМВ на межфазных границах, и учитывать межфазное взаимодействие полимерного связующего и ФН. Среди многообразия РПМ и ЭМЭ перспективными являются нетканые волокнистые и комбинированные РПМ, обладающие низкой удельной массой, гибкостью, эластичностью, способностью принимать сложную форму. Такие РПМ сочетают в себе высокую эффективность экранирования ЭМИ наряду с звуко- и теплоизолирующими характеристиками.

Работа представлена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта T16-098 (2016-2018 гг.).

7. Литература

1. Алексеев, А.Г. Композиционные ферромагнетики и электромагнитная безопасность. Санкт-Петербург, НИИХ СПбГУ, 1998, 296 стр. (А.Г. Алексеев, О.М. Гусева, В.С. Семичев)
2. Банний, В.А. Применение полимерных радиопоглощающих материалов в решении проблемы электромагнитной безопасности. – Проблемы здоровья и экологии, № 3 (49), 2016, стр. 9-13 (В.А. Банний, В.А. Игнатенко)
3. Банний, В.А. Поглотители энергии СВЧ-излучения на основе композиционных термопластов. – Чрезвычайные ситуации: образование и наука, Т. 10, № 2, 2015, стр. 14-24 (В.А. Банний, В.А. Ковтун)
4. Липатов Ю.С. Физическая химия наполненных полимеров. –М.: Химия, 1977. –304 с.
5. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. –М.: Химия, 1968. –536 с.
6. Белый В.А., Егоренков Н.И., Плескачевский Ю.М. Адгезия полимеров к металлам. –Минск: Наука и техника, 1971. –288 с.
7. Пинчук Л.С., Банний В.А., Складар А.В., Гольдаде В.А. Влияние физико-химических процессов на межфазной границе полиэтилен – наполнитель на радиофизические свойства композитов // Перспективные материалы. – 2009. – №2. – С. 5-12.
8. Ковтун В.А., Миховски М., Банний В.А., Плескачевский Ю.М. Особенности формирования гетерогенной структуры поглотителей энергии СВЧ-излучения на основе полимерных композитов // Научни известия на НТСМ (Болгария). – 2016. – Т. 24. – № 1 (187). – С.60-64.
9. Гольдаде, В.А. Полимерные волокнистые melt-blown материалы. Гомель, ИММС НАНБ, 2000, 260 стр. (В.А. Гольдаде, А.В. Макаревич, Л.С. Пинчук, А.В. Сиканевич, А.И. Чернорубашкин)
10. Банний, В.А. Взаимодействие СВЧ-излучения с полимерным композитным электромагнитным экраном: физические модели и эксперимент. – Материалы, технологии, инструменты, № 2, 2008, стр. 45-51 (В.А. Банний, В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук)

EXPERIMENTAL ECHOLOCATION WITH FREQUENCY MODULATED CONTINUOUS WAVEFORM SIGNALS

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЕХОЛОКАЦИЯ С ЧЕСТОТНО МОДУЛИРАНИ НЕПРЕКЪСНАТИ СИГНАЛИ

проф. Н. Колев, ВВМУ „Никола Вапцаров“, Варна, n.kolev@naval-acad.bg

Abstract

In the paper review of investigations of experimental spread spectrum (Linear Frequency Modulated Constant Waveform) radar and sonar systems is made. Block diagrams of the systems and methods for signal processing are presented. Experimental results from digital signal processing in these systems for echolocation of targets are discussed.

Keywords: echolocation systems, LFM CW, radar systems, sonar systems.

1. INTRODUCTION

Recent development of communications rely more or less on low power spread spectrum technologies. This is valid for digital communication systems, allowing transmission of more data faster and radar and sonar systems allowing better accuracy in determination of target location, motion parameters and imaging on basis of digital signal processing of wave signals [1].

The aim of the study is to investigate experimental setups of linear frequency modulation constant waveform (LFMCW) signals of radar and sonar systems which are directly characterized as spread spectrum. It is possible to introduce the common name echolocation of these heterogeneous in their physical wave nature systems because of common task of target location with wave echo signals and similar signal processing of the electrical signals at the output. Even if sonar systems are based on mechanical phenomena and radar systems on electromagnetics they are close enough and share common basis with the application of the electromechanical analogy. LFMCW signals have almost continuous wave nature compared to pulse CW signals, which are short time. They allow covert applications in the military sense of view due to low transmitted power but providing same energy, compared to much more short time power for the pulse systems. One main advantage of echolocation systems with these signals is not only their range and angular resolution but also Doppler resolution allowing moving target detection in clutter, speed estimation and localization. Analysis has been made of the performance of experimental echolocation LFMCW radar and sonar systems.

2. ECHOLOCATION SYSTEM OPTIMAL SIGNAL PROCESSOR

In the present study, the subject of the experimental investigation is the cross-correlation structure scheme for application in echolocation (hydrolocation and radiolocation) systems. Optimal signal processor for the echolocation system is the crosscorrelation:

$$(1) \quad R_{12}(\tau, T) = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T S_1(t) S_2(t - \tau) dt$$

In the digital processing of the signal, an estimate of the cross-correlation function of LabVIEW is formed by the formula:

$$(2) \quad R_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x^*(k) y(j+k)$$

The first function is known (reference) and is usually a replica of the broadcast signal. The crosscorrelation processor is an optimal filter that provides the maximum signal-to-noise ratio at the output.

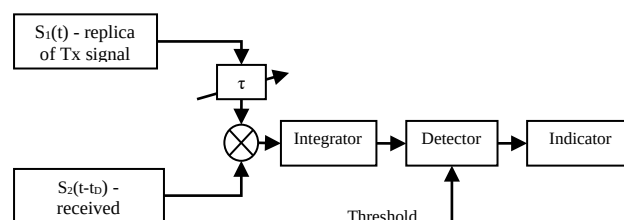


Fig. 1. Echolocation system optimal signal processor block diagram

For the experiments, echolocation systems with split receiving and transmitting antennas are used.

3. LFMCW RADAR EXPERIMENTAL RESULTS

Block diagram of LFMCW radar experimental setup is presented on fig. 2.

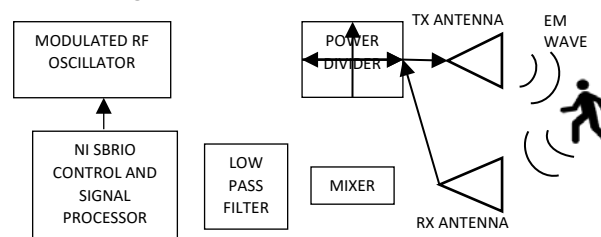


Fig. 2. Block diagram of LFMCW radar experimental setup

In order to measure the range it is necessary to control the oscillator of the module with saw-tooth voltage with given slope and to transmit the frequency modulated electromagnetic wave with the Tx antenna. After receiving the reflected electromagnetic wave with RX antenna and mixing it with the transmitted wave, there is a beat frequency – fb at the output which is linked with the target distance:

$$(3) \quad f_b = \frac{2R\Delta F}{cT}$$

Where R is target range, c – speed of electromagnetic waves, T – time period of voltage modulation, ΔF is the frequency bandwidth of oscillator during the modulation process. Due to the Doppler effect there is also change in the frequency due to the speed of the target.

$$(4) \quad f_d = \frac{2f_0 \cdot v}{c} \cos \theta$$

A LabVIEW virtual instruments were designed for FPGA signal input in internal flash system write in binary file form. After that the recorded files were processed. On Fig. 3 recorded signals are presented with length for the I/Q channels in $1024 \times 256 = 262144$ bins recorded in real time on internal flash memory without any delay together with one hundredth's I/Q frame with length 1024 bins which is later processed for target range measurement.

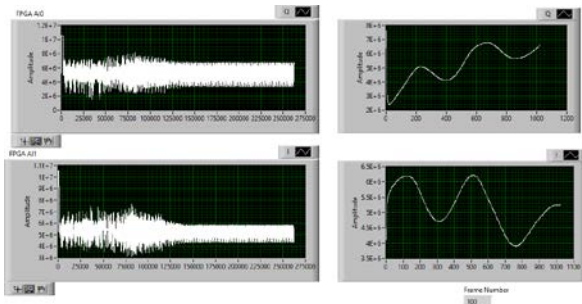


Fig. 3. Recorded consecutive frames at the output of I/Q mixer.

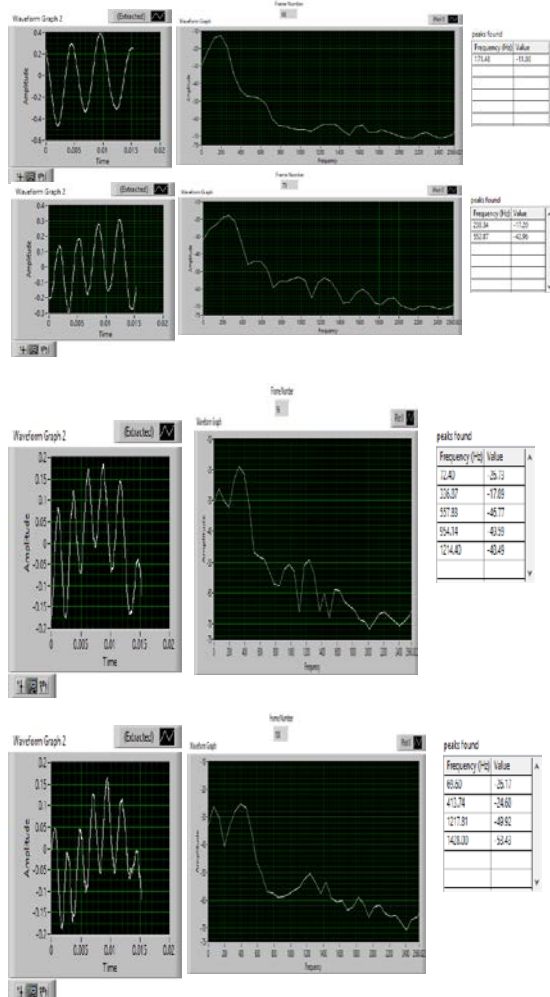


Fig. 4. Results from digital signal processing and distance estimation of walking man moving away from the radar – detected range change from 1.47 to 4.04 m.

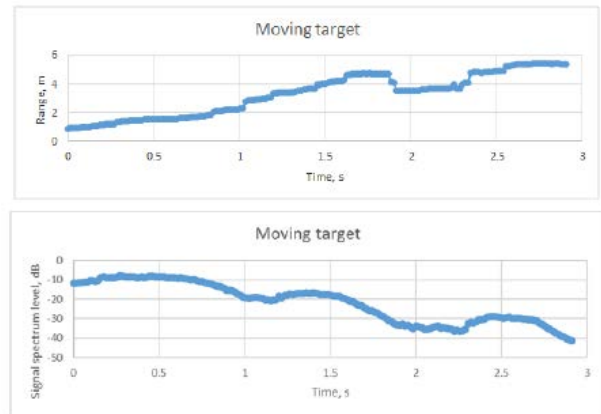


Fig. 5. Tracking of a walking man moving away from the radar

On Fig. 6 I/Q Range-Doppler matrixes for moving target are presented with dimensions 1024×256 bins for a time period of 5.24 seconds.

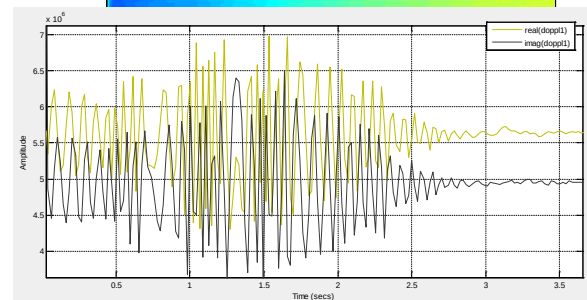
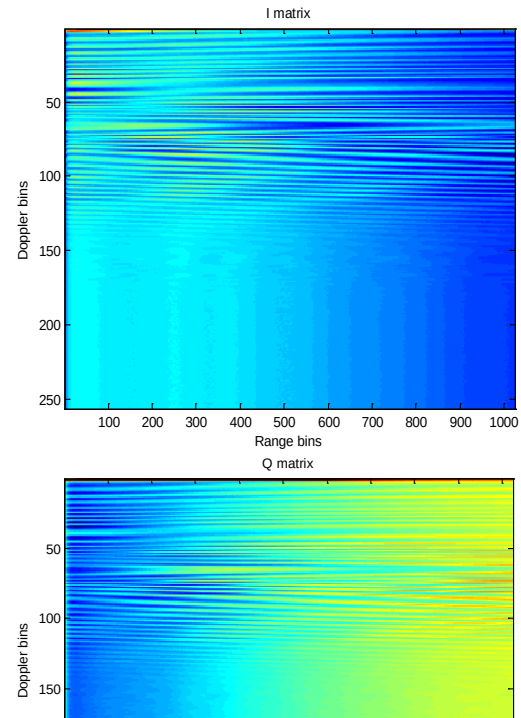
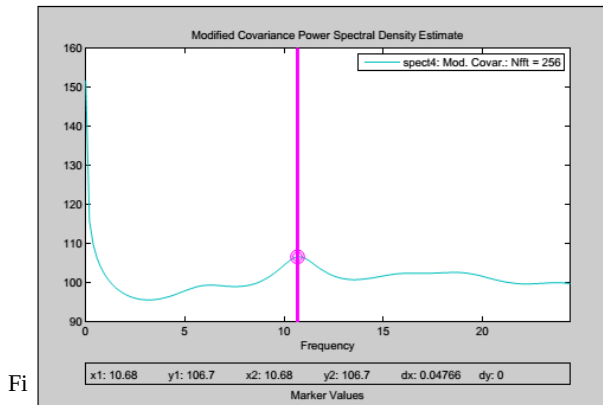


Fig. 7. Range-Doppler matrix I/Q signals time domain envelope for 64-th Doppler bin.

Analysis of fig. 7 shows that time domain Doppler signal shows zero Doppler and change to opposite of target direction of motion in the 64-th Doppler bin corresponding to time from the start of the recording - 1.31 seconds. Estimation of the Doppler

spectrum density with modified covariance method is shown on fig. 8.



Fi

4. LFM CW SONAR EXPERIMENTAL RESULTS

Sonar experimental setup is presented on fig.9. The sonar recordings and improving signal processing is still under consideration. Cross correlation is carried according to block algorithm (1) and (2). Frequency modulated low frequency CW waveform with length 1 s and frequency change 3000 – 5000 Hz is used for the experiments. The output of the power amplifier was connected to low frequency unidirectional sonar transducer for underwater sound illumination. The receiving hydrophone is at distance 10 m from the transmitter. Output of the correlation processor is given on fig. 11. The cross-correlation maximum is at distance 10 m corresponding to the distance between transducers. On one echogram a simulated target with given target strength and different time delays of the echo is present resembling change of the range.

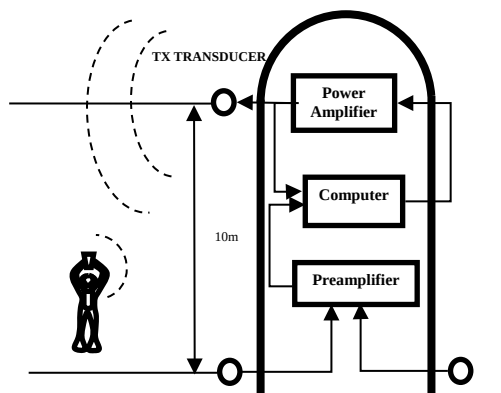


Fig.9. Sonar experimental setup [2].

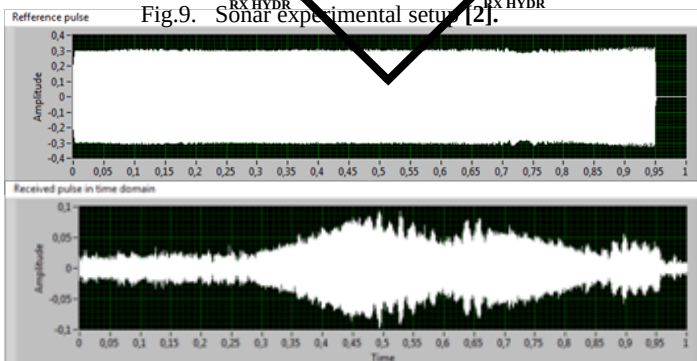


Fig.10. Reference and received FMCW pulses.

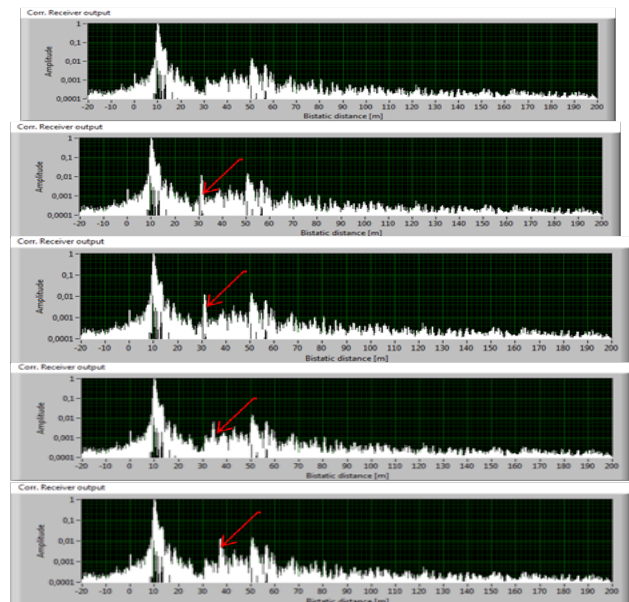


Fig. 11. Output of the crosscorrelation processor with injected simulated target with certain target strength at different ranges.

4. CONCLUSION

1. Results are presented from crosscorrelation processing of signals in spread spectrum experimental LFM CW echolocation radar and sonar systems which were carried out at Nikola Vaptsarov Naval Academy.
2. Experimental results from signal processing of LFM CW radar signals showed detection and tracking of walking man at distances 6 m from the radar due to the very low transmitted RF power.
3. In the experiments with the LFM CW sonar system at sea diving man was not detected due to the small target strength – under the level of reverberation level in the shallow water. That is why a simulated target signal return is present.
4. Improvement of the LFM CW sonar system design and signal processing methods is needed for increasing SNR and de-reverberation.
5. Forming a Range-Doppler matrix could substantially improve signal processing in case of moving target discrimination and detection.
6. Due to the presence of reflections from stationary objects in the antenna beam it might be appropriate to use artificial neural networks for classification and tracking of moving targets [3].
7. Further controlled experiments are needed for evaluation of the performance of the experimental echolocation systems in different conditions.
8. Results from the investigation can be used for training purposes in LFM CW echolocation systems and as a basis for next scientific experiments.

REFERENCES

- Marshal J., Experimental Study of Silent Sonar. Archives of acoustics, Vol. 39, No. 1, pp. 103–115 (2014), ISSN: 0137-5075.
- Kolev N., Ivanov P., Kaloyanchev P., Multistatic Sonar Pulse Signals Time Delay Estimation. Journal of Marine Technology and Environment. Vol 1, 2010, pp. 169-180. ISSN 1844-6116.
- [3]. Sivkov J. One approach for recognition of signal from a passive sonar. Proceedings of the national conference Acoustics 2006. Sofia 2006. ISSN 1312-4897 (in Bulgarian).

	АКУСТИКА Национална конференция "Акустика 2017"	Варна 13 - 14.10.2017 г. София 01 - 02.12.2017 г.
Година XIX	□ Брой 19	Декември 2017 г.

ВИБРОАКУСТИЧНО РЕГИСТРИРАНЕ НА ТИПИЧНИ ДЕФЕКТИ В АЛУМИНИЕВ ДЕТАЙЛ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ПОМПИ

проф. Иван Коларов

Ключови думи: регистриране на нецялостности в алуминиеви отливки, сравнение между теоретични и експериментални резултати.

Резюме: Задача на настоящата работа е да сравни направените в предишни разработки теоретични данни за виброакустична оценка на нецялостности в отлят алуминиев образец за производство на помпи с експериментални данни, получени след създаване на нецялостности в реални образци. За провеждане на изследването са създадени изкуствени нецялостности в реални обекти в два участъка с типични дефекти. Нецялостностите са формирани с различна дълбочина, която е съпоставима и по-голяма от теоретично определената минимална дълбочина. В резултат се създава възможност за оценка на тенденциите за промяна на резонансните честоти.

Изследването е проведено чрез регистрация на резонансните честоти на обектите и определяне на изменението им вследствие на създадените нецялостности. За сравнение са използвани честоти със значими изменения съобразно разположението на създадената нецялостност и възможност за лесна идентификация. Експерименталните резултати потвърждават данните, получени чрез използване на 3D модели.

Получените резултати ще бъдат използвани за обосновка и създаване на модел за виброакустична оценка на техническото състояние преди монтаж на корпусния детайл.

Кафедра "Диагностика Енергетического Оборудования" ("ДЭО") - одна из самых молодых и перспективных кафедр "Петербургского Энергетического Института повышения квалификации" ("ПЭИПК")

Увод

Проведени са теоретични изследвания на отлят детайл за производство на помпи за автомобилната промишленост с помощта на моделиране на нецялостности в типични участъци, доказани чрез наблюдение на качествени като «негодни» изделия. За целта е използван 3D модел, зададен от конструктора. Предварително са измерени резонансните честоти на детайли от различни серии на производство и окачествени като «годни» и «негодни». Установено е нормалното разсейване на честотите от една серия е в рамките на 4-6 Hz, което е съпоставимо с грешката на използваната измервателна апаратура за направа на амплитудно-честотна характеристика. Определено е, че образците от една серия имат незначително разсейване на честотите. По-голямо е разсейването на образците от различни серии. За един пример са изчислени са измененията на резонансните честоти в диапазона 20 Hz – 20 kHz и са установени перспективни за диагностиката такива. Но за доказване на теоретичните резултати е необходимо сравнение между теоретични и експериментални резултати с цел доказване възможностите на вибро-акустичния метод за диагностика и оценяване на дълбочина на нецялостности в тези детайли.

Задача на настоящата работа е да сравни направените в предишни разработки теоретични данни за виброакустична оценка на нецялостности в отлят алуминиев образец за производство на помпи с експериментални данни, получени след създаване на нецялостности в реални образци. За провеждане на

изследването са създадени изкуствени нецялостности в реални обекти в два участъка с типични дефекти.

Описание на обектите за изследване

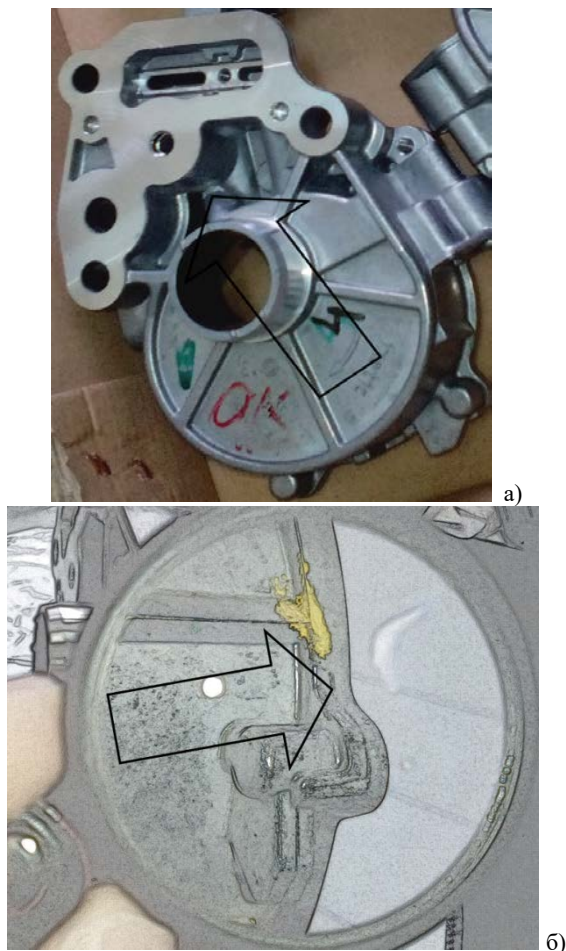
Подробно описание на изследвания образец е показано в [1]. В образци с доказана добра оценка на техническото състояние са изработени нецялостности в участъци, в които са установени течове при изпитване на представители на този детайл. Дълбочината на изкуствените нецялостности и тяхното разположение са описани в табл.1.

Табл. 1. Описание на изкуствените нецялостности, създадени в образци с техническо състояние, качествено като «добро».

№	Участък	Дълбочина δ , mm	Направление
1	I	1.5	Напречно на реброто
2	I	3	Напречно на реброто
3	I	4.6	Напречно на реброто
4	III	3	Тангенциално на външната повърхнина
5	III	3	Нормално на външната повърхнина

На фиг. 1 са показани типично изображение на изкуствена нецялостност в участък I (а) и на нецялостност в участък III (б), получена в процеса на изработка. От фиг. 1 б) се забелязва, че нецялостността в този участък може да

бъде разположена в тангенциално и нормално на външната цилиндрична повърхнина на образеца.

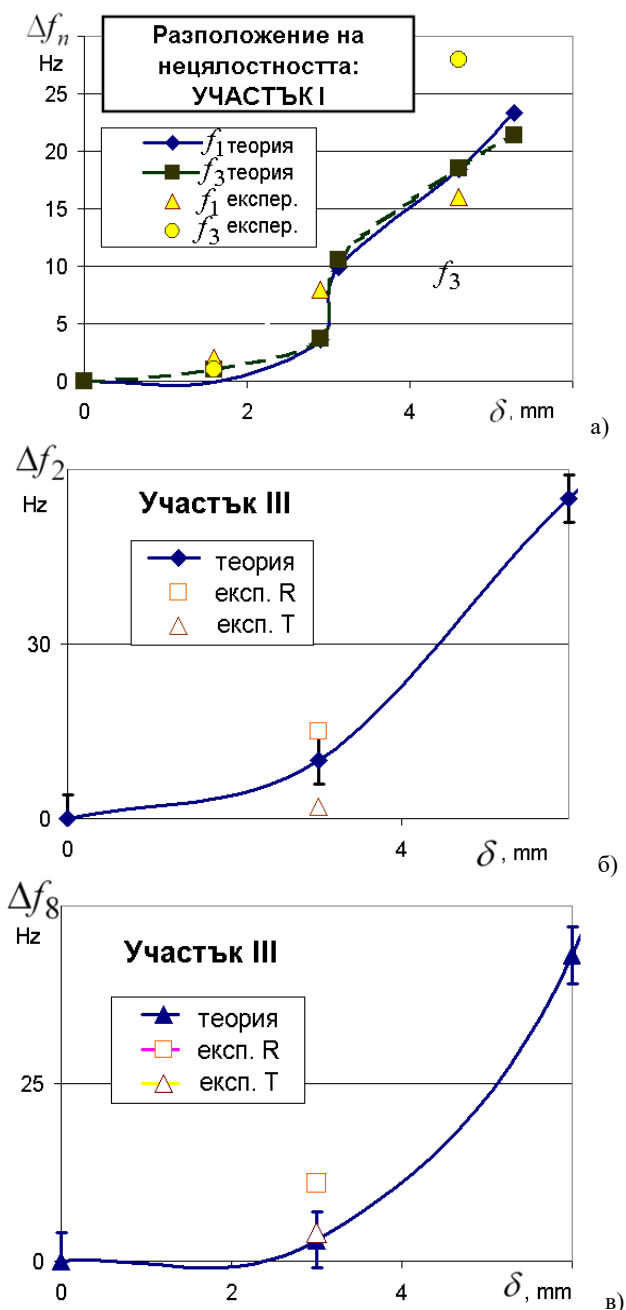


Фиг. 1. Изображение на изследваните образци след създаване на нецялостности, а) – изкуствена нецялостност в участък I, б) – нецялостност, образувана в процеса на отливане на детайла в участък III.

След формиране на изкуствените нецялостности са измерени резонансните честоти на образците. Изчислени са измененията Δf_i на експериментално получените резонансни честоти, $\Delta f_i = f_i - f_{i,d}$, тук i е пореден номер на резонансната мода, f_i - честота на мода при отсъствие на дефект, $f_{i,d}$ - честота на мода при наличие на дефект. Внимани е обърнато на перспективните моди от гледна точка на вибро-акустичната диагностика на нецялостности в съответните участъци.

Резултати от проведеното изследване

На фиг. 2 а) са показани резултати за мода 1 и 3 при наличие на нецялостност в участък I, а на фиг. 2 б и в) – за моди 2 и 8 при разположение на нецялостността в участък III при разположение на нецялостността в нормално (R) и в тангенциално (T) направления. Теоретичните изменения на честотите са изчислени в [1]. Наблюдава се съгласуване между теоретични и експериментални резултати за изложените моди. В същото време е необходимо създаване на критерии за сравняване на резонансните честоти поради възможни отклонения на еластични и геометрични характеристики на образеца.



Фиг. 2. Сравнение между теоретични и експериментални резултати при разположение на нецялостностите в участъци I (а) и III (б и в), описани в [1].

Изводи

Проведените измервания на резонансните честоти на образци с изкуствени нецялостности потвърждават резултати, получени чрез използване на виртуални методи.

Необходимо е създаване на критерии за сравняване на резонансните честоти поради възможни отклонения на еластични и геометрични характеристики на образеца с цел разпознаване на детайли от една серия и окачествяване на тяхното техническо състояние.

1. Коларов И, Д. Добрев. Виброакустично регистриране на типични дефекти в алуминиев корпусен детайл за сглобяване на помпи. „NDT days 2017“/ „Дни на безразрушителния контрол 2017“, Созопол, 2017. (ISSN 1310-3946)