

ISSN 1312-4897

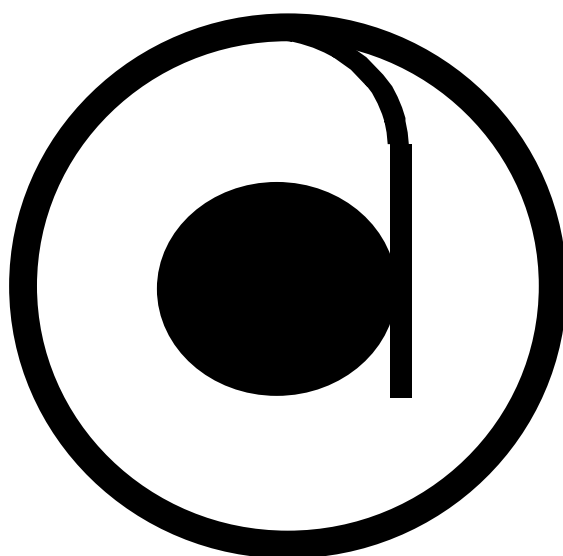
АКУСТИКА

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

Година XVI

□ Брой 16

Декември 2014 год.



НАЦИОНАЛНА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКА КОНФЕРЕНЦИЯ

АКУСТИКА 2014

*10-11.10.2014 г.
Варна*

*28-29.11.2014 г.
София*

**СЪЮЗ ПО ЕЛЕКТРОНИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И СЪОБЩЕНИЯ,
НАЦИОНАЛНА СЕКЦИЯ ПО АКУСТИКА
ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ-СОФИЯ
БЪЛГАРСКА АСОЦИАЦИЯ ЗА ОБЩЕСТВЕН КОНТРОЛ И
УПРАВЛЕНИЕ НА ШУМА
ИНСТИТУТ ПО МЕХАНИКА-БАН
ТУ-ВАРНА КАТЕДРА „РАДИОТЕХНИКА”
СПОНСОР фирма СПЕКТРИ ЕООД**

Организационен комитет

Председател: проф. д-тн М. Миховски

Зам. председатели: проф. д-р И. Кралов, доц. д-р Ек. Сираков,
инж. Б. Михайлов.

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

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

Секретари: инж. Г. Кулишев, инж. маг. Й. Мирчев, инж. А. Пискова.

ТЕМАТИКА:

Фундаментални и научно-приложни проблеми на акустиката:

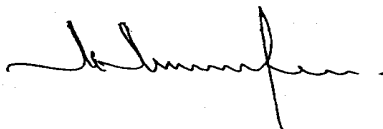
Физическа акустика, шум в околната/работна среда;

**Електро-акустика, строителна акустика, акустика на зали,
обработка на звукови сигнали; Музикална акустика; Хидроакустика;**

**Акустични и ултразвукови методи за изследване на материали и изделия
(безразрушителен контрол); Стратегически шумови карти, мерки и планове;
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 сп. Акустика, год. XVI, бр.16, 2014 г. са отпечатани
доклади, включени в научната програма на
Националната конференция “Акустика 2014”,
проведена във Варна на 10-11.10.2014 г. и
в София на 28-29.11.2014 г.**

Председател на Програмния комитет:



(проф.д-тн М. Миховски)

ISSN 1312-4897

Редакционна колегия: проф.д-тн М.Миховски, доц. д-р И. Кралов, инж. Б.Михайлов, доц.
д-р М. Георгиев, инж. Г. Кулишев, 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, 2014 г.

СЪДЪРЖАНИЕ

1	Борис Михайлов, Татяна Георгиева АКТУАЛНИ НОВИНИ В ОБЛАСТТА НА ШУМА И ВИБРАЦИИТЕ ОТ СПЕКТРИ ЕООД	3-8
2	Торбен Мунк, Борис Михайлов НОВОСТИ В ОБЛАСТТА НА ШУМА И ВИБРАЦИИТЕ. РАЗВИТИЕ НА СИСТЕМА PULSE, ПРЕДСТАВЯНЕ НА PULSE REFLEX – BRUEL & KJAER	9-12
3	Борис Михайлов РАЗВИТИЕ НА ПЛАТФОРМА WEBNOISE.EU НА СПЕКТРИ ЗА ОБЛАЧЕН НЕПРЕКЪСНАТ ДОСТЪП ДО МОНИТОРОНГОВИ ДАННИ НА ПАРАМЕТРИ НА ОКОЛНА, РАБОТНА И/ИЛИ ПРОМИШЛЕНА СРЕДА	13-18
4	Борис Михайлов ¹ , Милчо Георгиев ² ПРЕГЛЕД И АНАЛИЗ НА ОШУМЯВАНЕТО НА ГРАД СОФИЯ В СЛЕДСТВИЕ ОТ ДЕЙНОСТТА НА ЛЕТИЩЕ СОФИЯ – ЗА ПЕРИОДА 2010-2014 Г.	19-23
5	Борис Михайлов ¹ , Милчо Георгиев ² КОНФИГУРАЦИЯ, РЕАЛИЗАЦИЯ И ПРАКТИЧЕСКИ ИЗВОДИ ОТ ИЗГРАЖДАНЕ НА СИСТЕМИ ЗА ПОСТОЯНЕН МОНИТОРИНГ НА ИНДУСТРИАЛНИ МАШИНИ И СЪОРЪЖЕНИЯ – И СЪТРУДНИЧЕСТВО С ПАРТНЬОРА НА СПЕКТРИ ЕООД ЗА ВИБРАЦИОНЕН МОНИТОРИНГ, PCN ENGINEERING.	24-28
6.	Борис Михайлов ¹ ОБУЧЕНИЕ В ОБЛАСТТА НА ШУМА И ВИБРАЦИИТЕ. ОПИТ И ПРАКТИКА В BRUEL & KJAER – УНИВЕРСИТЕТ – ДАНИЯ И СПЕКТРИ – ЕЕОД.	29-30
7.	Милчо Георгиев ¹ , Татяна Георгиева ² ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ НА СИСТЕМИТЕ ЗА КАЛИБРИРАНЕ И ПРИЛОЖИМОСТТА НА МЕЖДУНАРОДНИТЕ СТАНДАРТИ.	31-35
8	Анна Пискова, Иван Кралов, Красимир Неделчев ЧИСЛЕНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СОБСТВЕНИТЕ ЧЕСТОТИ И ФОРМИ НА КОНСТРУКЦИИ НА ЗВУКОВ АБСОРБЕР С МЕЖДИННИ ПРЕГРАДИ.	36-42
9	Г. Семерджиев ¹ , Б.. Михайлов ² ПРЕДСТАВЯНЕ НА ПРОФЕСИОНАЛНИЯ ПОДХОД, ПРЕДПРИЕТИТЕ МЕРКИ И ПОСТИГНАТИТЕ РЕЗУЛТАТИ ПРИ ИЗПЪЛНЕНИЕ НА ПОСЛЕДЕН ЕТАП НА ОБЕЗШУМЯВАНЕ НА ВЕНТИЛАЦИОННИ ШАХТИ ИЗТОК И СЕВЕР – ДЪНДИ ПРЕШЪС МЕТАЛЕ (ДПМ) – ЧЕЛОПЕЧ ЕАД.	43-47
10	И. Коларов ¹ , П. Ташев ¹ УЛТРАЗВУКОВА ОЦЕНКА НА ВЪТРЕШНИ НЕЦЯЛОСТНОСТИ В НАВАРЕНИ НАНОМОДИФИЦИРАНИ СЛОЕВЕ	48-53
11	И. Коларов ¹ , П. Ташев ¹ , М. Манилова ВИБРОАКУСТИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕКВИВАЛЕНТНО ПЕТНО НА ТОЧКОВА ЗАВАРКА МЕЖДУ ПРЪТОВИ КОНСТРУКЦИИ.	54-59
12	В.В. Кудряшков ¹ , К. М. Алексиев ¹ ОТКРИВАНЕ НА НЕСТАЦИОНАРЕН ВИНЕРОВ СИГНАЛ ОТ ЕДНОПОЗИЦИОНЕН ПРИЕМНИК.	60-62
13	В.В. Кудряшков ¹ , К. М. Алексиев ¹ АКУСТИЧНА КАМЕРА – КАК ДА ВИДИМ ЗВУКА.	63-66
14	А. Чожгова	

	ВИБРОДИАГНОСТИКА НА ТРАНСМИСИЯТА НА ВЕРТОЛЕТА.	67-69
15	S. Kovalenko ¹ , D. A. Klymenko ¹ , Yu. Gerasimenko ² , M. Mihovski ³ NONDESTRUCTIVE MONITORING CORROSION CONDITION GAS PIPELINE: MAIN TYPES OF CORROSION DAMAGES AND SURVEY METHODS.	70-75
16	Anna A. Nasedkina ¹ , Alexander Alexiev ² , Jerzy Malachowski ³ , Yordan Mirchev ² FINITE ELEMENT MODELING OF LONG-RANGE ULTRASONIC. TORSIONAL GUIDED WAVE PROPAGATION FOR PIPES WITH DEFECTS.	76-79
17	Александър Попов АСИМТОТИЧНА ТЕОРИЯ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ СТАТИСТИКИ И УЛТРАЗВУКОВА ДЕБЕЛОМЕТРИЯ НА РЕЗЕРВОАРИ	80-81
18	Петър Апостолов ¹ , Гинка Маринова ² , Георги Георгиев ³ СКАНИРАНЕ С ВИСОКО СЕЛЕКТИВНА ШИРОКОЛЕНТОВА АКУСТИЧНА РЕШЕТКА.	82-85
19	Петър Апостолов, Георги Георгиев, Ралица Тополска ПРИЛОЖЕНИЕ НА ТРАНСФОРМАЦИЯ НА ХИЛБЕРТ-ХУАНГ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПСИХОЛОГИЧЕН СТРЕС В ЧОВЕШКАТА РЕЧ.	86-89
20	Петър Апостолов, Георги Георгиев ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДА НА КОМПРЕИРАНИ КОСИНУСИ ПРИ СИНТЕЗ НА ДВУМЕРНА АКУСТИЧНА РЕШЕТКА С ПЕТ ЕЛЕМЕНТА.	90-93
21	Т. Парталини, Й. Иванова ПОДГОТВЯНЕ НА ОБРАЗЦИ ОТ ПОЛИКРИСТАЛНИ МАТЕРИАЛИ ЗА ЕКСПЕРИМЕНТИРАНЕ С БЕЗРАЗРУШИТЕЛНИ МЕТОДИ.	94-97
22	Й. Иванова ¹ , В. Митров ² ЗВУКОПОГЛЪЩАНЕ НА КАУЧУКОВИ ИЗДЕЛИЯ И ЗВУКОИЗОЛАЦИЯ С ТЯХ.	98-101
23	Ст. Колев ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЧЕСТОТНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЦИЛИНДРИЧНА ХИДРОАКУСТИЧНА АНТЕНА С УСИЛВАТЕЛ.	102-105
24	О. Станчев, А. Маринов, Е. Беков СРАВНЕНИЕ НА ПИЕЗОЕЛЕКТРИЧНИ ТРАНСДЮСЕРИ ЗА ПУЛСОВИ МЕДИЦИНСКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ШИРОКОЧЕСТОТНИ ГРАНИЦИ.	106-109
25	Е. Беков, А. Маринов, М. Христов НЯКОЙ АСПЕКТИ НА КОМПЮТЪРНОТО МОДЕЛИРАНЕ И ОБРАБОТКА НА ИНФОРМАЦИЯ ЧРЕЗ MATLAB ЗА PVDF БАЗИРАНИ УЛТРАЗВУКОВИ ТРАНСДЮСЕРИ.	110-114
26	П. Чукачев, Й. Мирчев КОНТРОЛ НА ЗАВАРЕНИ СЪЕДИНЕНИЯ ЧРЕЗ УЛТРАЗВУКОВИЯ МЕТОД НА ФАЗОВАТА РЕШЕТКА	115-120
27	П. Паунов, Т. Ганчев МЕТОД С НИСКА СЛОЖНОСТ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ РЪСТА НА ДИКТОР .	121-124
28	И Илиев, Н. Колев ОБРАБОТКА НА ЦИФРОВ СИГНАЛ ПО ФАЗОВ МЕТОД ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ	125-127

	НА НАПРАВЛЕНИЕТО КЪМ ПОДВОДЕН ОБЕКТ	
29	Л. Данков, И. Илиев ИЗСЛЕДВАНЕ НА ГЕНЕРИРАНЕТО НА ХИДРОАКУСТИЧНИ ВЪЛНИ С ЕЛЕКТРИЧЕСКИ РАЗРЯД НА КОНДЕНЗАТОРИ ВЪВ ВОДА	128-130
30	И. Илиев, Е. Сираков, Х. Живомиров ACOUSTIC EXAMINATION OF THE ANECHOIC CHAMBER IN TECHNICAL UNIVERSITY - VARNA.	131-138
31	И. Косев КОНЦЕПЦИЯ ЗА РЕАЛИЗИРАНЕ НА КАЛИБРАТОР ЗА НИСКОЧЕСТОТНИ УСИЛВАТЕЛИ	139-141
32	И. Илиев КОМПЮТЪРНО МОДЕЛИРАНЕ НА РАБОТАТА НА АКТИВЕН СОНАР.	142-145
33	П. Иванов, Н. Колев ACOUSTICAL SYSTEM FOR SYNTHETIC IMAGING OF AN UNDERWATER OBJECT IN A HYDROACOUSTICAL TEST TANK.	146-150

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

	АКУСТИКА Национална конференция "Акустика 2014"	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

АКТУАЛНИ НОВИНИ В ОБЛАСТТА НА ШУМА И ВИБРАЦИИТЕ ОТ СПЕКТРИ ЕООД

Борис Михайлов¹⁾, Татяна Георгиева²⁾

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

²⁾ СПЕКТРИ ЕООД, ул. „Св. Теодосий Търновски“ 30, София, 1421, office@spectri.net, www.spectri.net (URL)

Резюме: В този документ се разглежда дейността и новостите от СПЕКТРИ ЕООД, с времеви хоризонт Януари - Ноември 2014 г. Представят се във вид на акценти новите направления в цялостното развитие на СПЕКТРИ ЕООД – като дейност, пазарно присъствие, нови произвеждани и дистрибутирани продукти и решения, както и систематично поддържане на цялостната експертна фирмена обезпеченост. Реализирани проекти.

СПЕКТРИ ЕООД постоянно и организирано продължава да се развива като национален център на компетентност в областта на шума и вибрациите.

Ключови думи: - Шум, вибрации, СПЕКТРИ ЕООД, WEBNOISE, Brüel & Kjær, PCN Engineering, Instancel.

1. Обзор:

През 2014 г., СПЕКТРИ ЕООД продължи развитието си и професионалното си експертно присъствие на пазара – в областта на шума и вибрациите.

Представяме във вид на акценти новите направления в цялостното развитие на СПЕКТРИ ЕООД – като дейност, пазарно присъствие, нови произвеждани и дистрибутирани продукти и решения, както и систематично поддържане на цялостната експертна фирмена обезпеченост. Реализирани проекти.

СПЕКТРИ ЕООД постоянно и организирано продължава да се развива като национален център на компетентност в областта на шума и вибрациите.

1.1. Стартирана собствена разработка на портално решение, маркетингово под наименованието "Spectri WEBNOISE.eu" – като "облачна" услуга, комбинираща собствено решение за непрекъснат интернет базиран достъп до параметри за мониторинг на шум, вибрации, както и възможност за допълнителни параметри в околната и производствена среда.

1.2. Реализация на проекти със стратегическо значение:

- Актуализиране на План за действие към Стратегически Карти за Шум за гр. София;

1.3. Потвърждение на сертифициране на ОКС "СПЕКТРИ-ИЗМЕРВАНИЯ" по БДС EN ISO 17020:2012.

1.4. Потвърждение на сертифициране за производство, консултантски услуги, доставка и сервиз на измервателно оборудване за шум и вибрации – по ISO 9001:2008.

1.5. Реализиран акустичен проект за строителен обект САН СТЕФАНО ПЛАЗА, гр. София.

1.6. Реализиран акустично-строителен проект за обезшумяване на промишлен обект, с. Челопеч.

1.7. Доставка и изграждане на система за вибрационен мониторинг.

1.8. Консултация за евроинтеграцията на Сърбия, глава 27 (Околна среда), подтема шум в околна среда.

1.9. Участие в симпозиуми и изложения:

- Булконтрола 2014;

- Дефектоскопия 2014;

- ММО 2014;

- Акустика 2014;

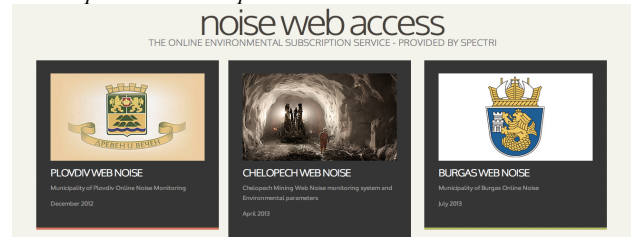
1.10. Новини от партньора на СПЕКТРИ ЕООД в областта на шума и вибрациите, Brüel & Kjær - Дания.

1.11. Новини от партньора на СПЕКТРИ ЕООД в областта на вибрационния мониторинг, PCN Engineering - Дания.

1.12. Нови договорни отношения с лидера в областта на производството на сеизмични мониторингови модули и системи – Instancel - Канада.

2. Портално решение, "Spectri WEBNOISE.eu" и начало на собствено производство:

Разработката е представена в отделен доклад.



Фиг. 1 СПЕКТРИ портал WEBNOISE.EU СПЕКТРИ нови продукти: Мониторингов Терминал за шум; Мониторинг на рН.

Решението е базирано на най-висок клас измервателно оборудване за измерване на шум – акустичен анализатор тип Brüel & Kjær 2250/2250-L. Терминалът се използва за непрекъснат мониторинг на шум, а също и опционално на вибрации и допълнителни параметри на околната среда (при дейности по време на строителство, градска и/или промишлена активност)



Фиг. 2 Продукт на СПЕКТРИ ЕООД



Фиг. 3 Платформа Webnoise.EU за мониторинг на шум и с възможност за мониторинг на pH

3. Ключови проекти на СПЕКТРИ през 2013 г.:

3.1. Актуализиране на План за действие към Стратегически Карти за Шум за гр. София;

*Преглед и Актуализация на Приетия План за Действие с Решение на Столичен Общински Съвет № 710 / 20.12.2010г.**

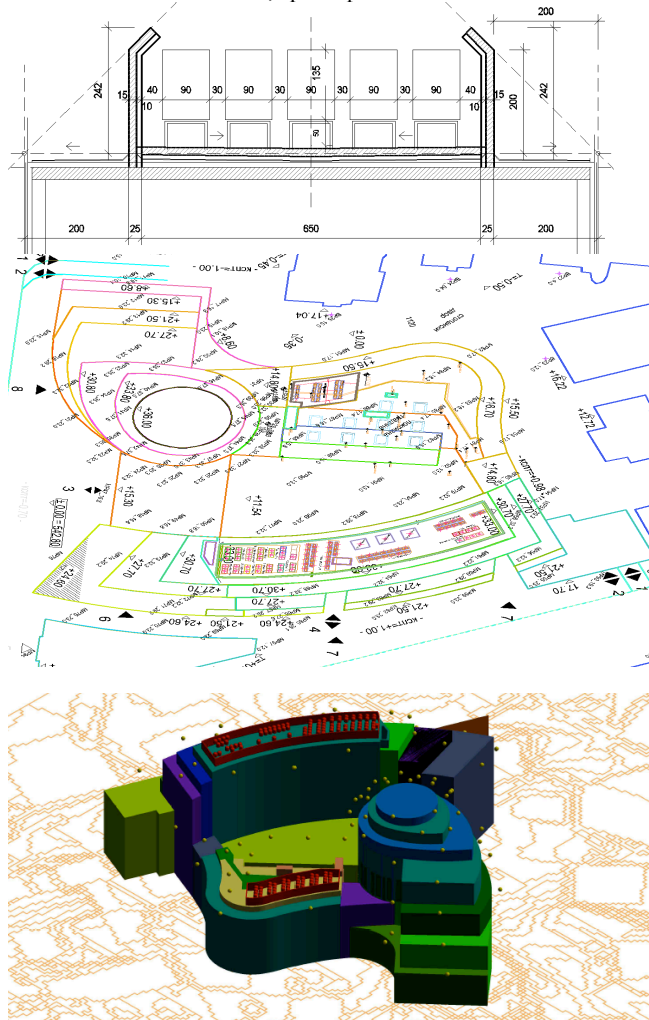


Целта на разработване на „ПЛАН ЗА ДЕЙСТВИЕ КЪМ СТРАТЕГИЧЕСКА КАРТА НА ШУМА В ОКОЛНАТА СРЕДА” на базата на Стратегическата шумова карта (СШК) е управление, ограничаване и намаляване на шумовото натоварване в околната среда чрез прилагане на мерки и акустично планиране в краткосрочен, средносрочен и дългосрочен период. Тези мерки трябва да се базират на даден показател за шум може да предизвика вредно въздействие върху здравето на хората, както и за запазване стойностите на показателите за шума в околната среда в районите, в които стойностите не са надвишени. Крайната цел е създаване на здравословни условия на живот на населението и опазване на околната среда от шум, чрез разработването и прилагането на интегриран подход и мерки за неговото избягване, предотвратяване или намаляване.

Шумът е един от факторите с неблагоприятно въздействие върху населението в големите градове. Породен от развитието на промишленото производство, на пътническите, товарните и водните транспортни средства и масовият градски транспорт. Дългогодишните изследвания показват, че нивото на шума в последните години нараства с 1 dB годишно и надминава граничните стойности за съответните населени територии. Промяната на транспортните средства с такива с подобрени шумови характеристики се компенсира с трайно нарастване на моторизацията. Независимо от вида и качеството на

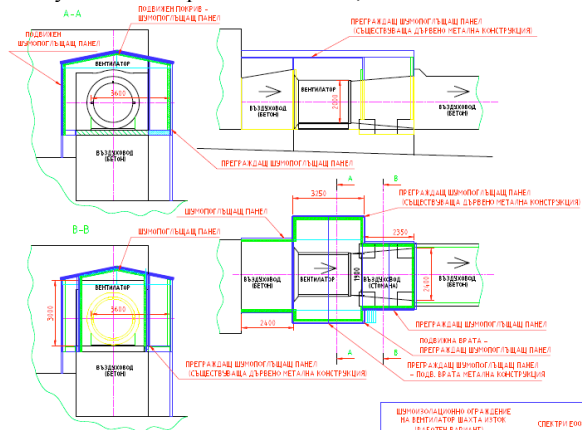
жилищния и обществения фонд и кога е построен, се забелязва тенденцията на предприемане на мерки за шумозащита както на жилищните така и на обществените сгради със специално предназначение – болници, училища, детски заведения, научно-изследователски центрове и др. такива.

3.2. Реализиран акустичен проект за строителен обект САН СТЕФАНО ПЛАЗА, гр. София.



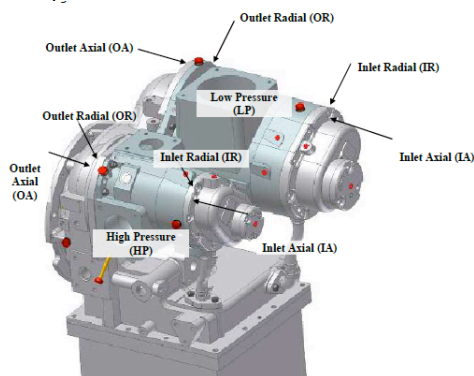
Фиг. 4 Изглед изчислителен модел

3.3. Реализиран акустично-строителен проект за обезшумяване на промишлен обект, с. Челопеч.



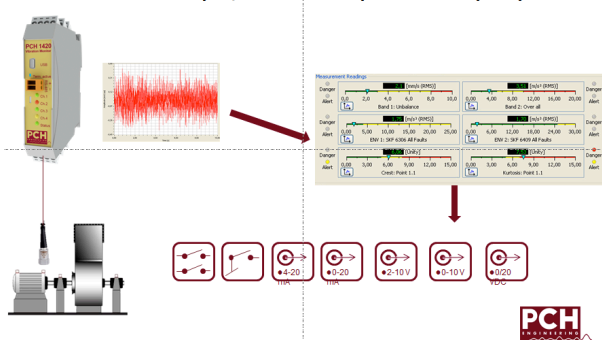
Фиг. 5 Акустичен проект, звукоизолация

3.4. Доставка и изграждане на Система за вибрационен мониторинг



Фиг. 6 Точки на мониторинг

➤ Система за вибрационен мониторинг на компресори



Фиг. 7 Схема вибрационен мониторинг

3.5. Консултация за евроинтеграцията на Сърбия, глава 27 (Околна среда), подтема шум в околна среда: Transposition of Directive 2002/49/EC on assessment and management of environmental noise Oct. 2014, Beograd.

Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)

- The way forward
- Based on this report, the European Commission will amend Annex II of Directive 2002/49/EC,
- in connection with the implementation phase of CNOSSOS-EU (phase B) in 2012-2015. The
- ultimate goal is to have the common noise assessment methodology operational for the next
- round of strategic noise mapping in the European Union, in 2017.

4. Потвърждение на сертифициране на ОКС "СПЕКТРИ-ИЗМЕРВАНИЯ" по БДС EN ISO 17020:2012. Ресертификация по новата версия на БДС EN ISO 17020.

ОБХВАТ НА АКРЕДИТАЦИЯ

- ❖ Контрол на шум в околна и/или битова среда;
- ❖ Контрол на шум в работна среда;
- ❖ Контрол на вибрации предавани на система „ръка-рамо“ и на „цяло тяло“;
- ❖ Контрол на вибрации на машини;
- ❖ Контрол на вибрации в жилищни помещения.

Потвърждение на компетентността на СПЕКТРИ ЕООД в областта на шума и вибрации.



Фиг. 8 Изглед сертификат на ОКС "СПЕКТРИ-ИЗМЕРВАНИЯ"

5. Успешно сертифициране по ISO 9001:2008



Фиг. 9 Изглед сертификат на СПЕКТРИ ЕООД

Обхват на сертификация: **Проектиране, производство, инженеринг, поддръжка, сервиз, търговия и доставка на решения, експертизи, измервателна апаратура и софтуер за шум и вибрации, процес-параметри. Инсталации и настройки, обучение и консултации. Измерване, анализ, диагностика, контрол и оценка на съответствието.**

Цел: Потвърждение на компетентността на СПЕКТРИ ЕООД в областта на шума и вибрациите.

6. Участие в симпозиуми и, изложения и конференции:

1. Булконтрола 2014;
2. Дефектоскопия 2014;
3. ММО 2014;
4. Акустика 2014;

Цел: поддържане на пазарното присъствие на СПЕКТРИ ЕООД в областта на шума и вибрациите.



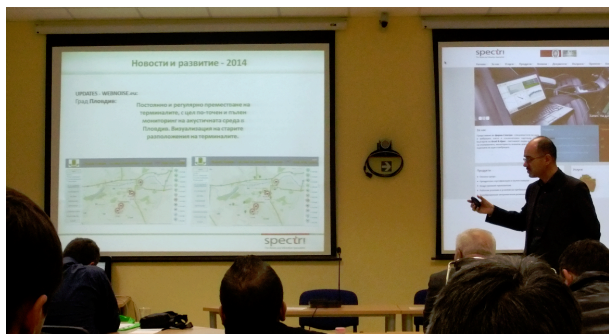
Фиг. 10 СПЕКТРИ участие в БУЛКОНТРОЛА 2014



Фиг. 11 СПЕКТРИ участие в Дефектоскопия 2014



Фиг. 12 СПЕКТРИ участие в ММО 2014



Фиг. 13 СПЕКТРИ участие в АКУСТИКА 2014

7. Новини от основните международни партньори на СПЕКТРИ ЕООД:

7.1. Новини от партньора на СПЕКТРИ ЕООД в областта на шума и вибрациите, **Brüel & Kjær** - Дания.

- Система за полеви запис на сурови измервателни данни за шум и вибрации, тип Sonoscout. Системата бе представена на ММО 2013 г. от специалист от производителя, **Brüel & Kjær** – Дания.



Фиг. 14 Brüel & Kjær Sonoscout конфигурация

- Обновяване на основната гама производствени платформи от Brüel & Kjær – PULSE, 2270, LimA, Predictor, др.;

7.2. Новини от партньора на СПЕКТРИ ЕООД в областта на вибрационния мониторинг, **PCN Engineering** - Дания.

- Изцяло нови вибрационни мониторингови модули, вибрационни преобразуватели, измервателна технология, мониторингов софтуер;



Фиг. 15 PCN Engineering нови продукти

7.3. Новини от INSTANTEL – Canada.

InstanTEL е специализирана в производство на модули за вибрации и взривни дейности. Фирмата е част от Stanley Black & Decker, Inc.

Оборудването на InstanTEL за „регулирани“ вибрации и контрол на свръх налягания си извоюва през годините репутацията на най-надеждната подобна техника (използвана в над 110 страни по света) – за различни приложения в минната дейност, строителство и геотехнически проучвания.



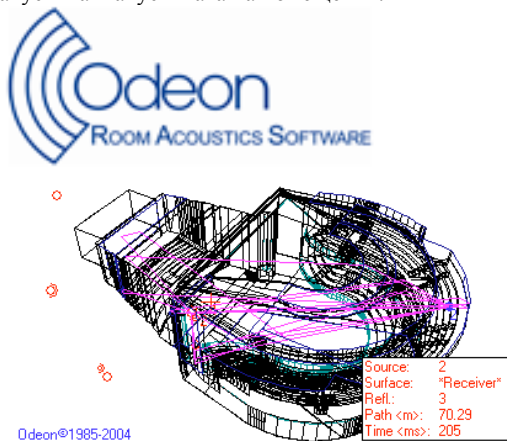
INSTANTEL акцент - лого



Фиг. 16 Изглед на уред Minimate Pro

7.4. Ново партньорство с ODEON – специалистите в софтуерните решения за акустично моделиране и симулация на акустични параметри на помещения, зали и сгради.

Проектът ODEON е бил инициран като съвместно сътрудничество между Технически Университет – Дания (звено по Акустика), Brüel & Kjær и други водещи фирми в областта на акустичното моделиране. Инвестираните през годините усилия в развитието на ODEON го превърна в надежден и при това лесен за работа софтуерен продукт, който се използва в многобройни проекти в строителната акустика и акустиката на помещения.



Фиг. 17 Odeon нови продукти

7.5. Ново лого на СПЕКТРИ ЕООД

spectr!
Специалистите по шум и Вибрации

8. Изводи:

През втората половина на 2014 г., развойната, стратегическа и маркетингова политика на СПЕКТРИ ЕООД целенасочено се развива в следните основни направления:

- Развитие на собствена развойна и производствена дейност;
- Ресертифициране и нова сертификационна експертна обезпеченост;
- Акцент в доставки на иновативни решения за Р. България;
- Посрещане на очакването на експертната общност в Р. България за активно присъствие на СПЕКТРИ ЕООД на пазара и непрекъсната информираност относно новостите в шума и вибрациите;

СПЕКТРИ ЕООД планира и занапред постоянно и организирано да продължава със стремежа си да се развива като национален център на компетентност в областта на шума и вибрациите.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Интернет базирана информация: Вж. www.SPECTRI.net;
- [2] Интернет базирана информация: Вж. www.WEBNOISE.eu;
- [3] Интернет базирана информация: Вж. www.BKSV.com;
- [4] Интернет базирана информация: Вж. <http://www.pch-engineering.dk/>.
- [5] Интернет базирана информация: Вж. <http://www.instantel.com/>.
- [6] Интернет базирана информация: Вж. <http://www.odeon.dk/>.

Данни за авторите:

- (1) Борис Борисов Михайлов, Sound and vibration qualified expert (2001), инж. (1994), Електроника, Технически университет София, Brüel & Kjær University (2001). Съпредседател *Българска Асоциация за Обществен Контрол и Управление на Шума*, Управител *СПЕКТРИ ЕООД*.
- (2) Татяна Иванова Георгиева, Sound and vibration expert (2010), инж. (2001), Машиностроене и уредостроене, Технически университет София, Brüel & Kjær University (2010), Технически експерт в *СПЕКТРИ ЕООД*.

ACTUAL NEWS IN THE DOMAIN OF NOISE AND VIBRATION - FROM SPECTRI LTD.

Boris Mihaylov ¹⁾, Tatiana Georgieva ²⁾

¹⁾ SPECTRI Ltd., 30, “St. T. Turnovski” Str., Sofia 1421, spectri@spectri.net, www.spectri.net (URL)

²⁾ SPECTRI Ltd., 30, “St. T. Turnovski” Str., Sofia 1421, office@spectri.net, www.spectri.net (URL)

Abstract: In the recent paper are presented as general overview the SPECTRI Ltd. activity and related news – in Jan. - Nov. 2014. The new areas of SPECTRI Ltd. development are briefly presented – as activity, market presence, new produced and distributed products and solutions, and as well related to the systematic maintained company’s expert capacity. Realized projects. SPECTRI Ltd. continues in an organized and systematic way its development as national center of competence in the field of noise and vibration.

Key words: - Noise, vibration, SPECTRI Ltd., WEBNOISE, Brüel & Kjær, PCH Engineering, Instancel.

НОВОСТИ В ОБЛАСТТА НА ШУМА И ВИБРАЦИИТЕ. РАЗВИТИЕ НА СИСТЕМА PULSE, ПРЕДСТАВЯНЕ НА КОНЦЕПЦИЯТА PULSE REFLEX - BRÜEL & KJÆR

Torben Munk ¹⁾, Борис Михайлов ²⁾

¹⁾ 307, Skodsborgvej – DK-2850 Naerum, Denmark – Bruel & Kjaer, tmunk@bksv.com

²⁾ СПЕКТРИ ЕООД, ул. „Теодосий Търновски“ 30, София, 1421, spectri@spectri.net, www.spectri.net

Резюме: Няколко непрекъснато развиващи се измервателни платформи и последните им обновления, а именно:

(1.1.) Нови приложни пакети за анализатори 2250/2270; (1.2) Нова 2270 2-канална платформа; (2) Нова налична версия PULSE 18, както и респективни приложни пакети; (2.1) Pulse Access; (2.2) Pulse Reflex – непрекъснато развитие; (2.3) Приложение за полево и вътрешно изпитване при преминаване; (2.4) Идентификация на подвижни източници; (3) Акценти в Pulse Reflex: (3.1) Модален анализ с Pulse Reflex; (3.2) Интерфейс на Pulse Reflex за анализ на крайните елементи; (3.3) Корелационен анализ с Pulse Reflex.

Ключови думи: - Звук, шум, вибрации, Bruel & Kjaer. Pulse Reflex

Докладът се изнася от лектора във вид на презентация “на живо”. По-долу са изнесени основните акцентни визуализации.

1. Новини / news, Bruel & Kjaer:

2014 - 1

 [Download Waves Magazine](#)

Let's make some noise

Fifteen kilometres west of Copenhagen lies the suburb of Albertslund, aka A-town. Its concrete mix of houses, shops and apartment blocks reveals its '60s origins, but the industrial exterior is deceptive as the grey buildings intermingle with small canals and lakes – making the town appear both tough and vulnerable. Nestled within this setting is Albertslund's Musikteater, the home of theatre, concerts and films.

> [Read the full article](#)



Inside headphones

With a wide variety of headphones to choose from, many users are looking for guidance to help them select the right headphones for their application.

> [Read the full article](#)



In search of the world's quietest car

Engine, car body, tyres, chassis – every part of a car produces noise of some sort. German magazine AUTO BILD decided to thoroughly test and evaluate the resulting impact of the total noise of 14 different cars.

> [Read the full article](#)



Fig. 1 Brüel & Kjær news on www.bksv.com - MANY, and yet to come...

2. Нов хардуер / new PULSE – вер. 18, Bruel & Kjaer:



Fig. 2 Brūel & Kjær PULSE 3161 200kHz модул



Fig. 3 Brūel & Kjær – PULSE Access

SOUND AND VIBRATION NEWS FROM BRÜEL & KJÆR. PULSE FURTHER DEVELOPMENT. PRESENTING PULSE REFLEX CONCEPT - BRÜEL & KJÆR

Torben Munk ¹⁾, **Борис Михайлов** ²⁾

¹⁾ 307, Skodsborgvej – DK-2850 Naerum, Denmark – Bruel & Kjaer, tmunk@bksv.com

²⁾ СПЕКТРИ ЕООД, ул. „Теодосий Търновски“ 30, София, 1421, spectri@spectri.net, www.spectri.net

Abstract: This paper gives information re. latest Bruel & Kjaer development and achievements. A stress is put on several on-going measurement platforms releases – as (1.1.) New 2250/2270 application packages; (1.2.) New 2270 2-channel platform; (2) Released new PULSE 18, and subsequent product applications – (2.1) Field and Indoor “Pass by”; (2.2) Moving Source Identification; (3) New Pulse Reflex release: (3.1.) Pulse RTeflex Modal Analysis; (3.2.) Pulse Reflex Finite Elements interfaces; (3.3.) Pulse Reflex correlation analysis.

Key-Words: - Sound, noise, vibration, Bruel & Kjaer, PULSE.

	АКУСТИКА Национална конференция "Акустика 2014"	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

РАЗВИТИЕ НА ПЛАТФОРМАТА WEBNOISE.EU НА СПЕКТРИ ЗА ОБЛАЧЕН НЕПРЕКЪСНАТ ДОСТЪП ДО МОНИТОРИНГОВИ ДАННИ НА ПАРАМЕТРИ НА ОКОЛНА, РАБОТНА И/ИЛИ ПРОМИШЛЕНА СРЕДА

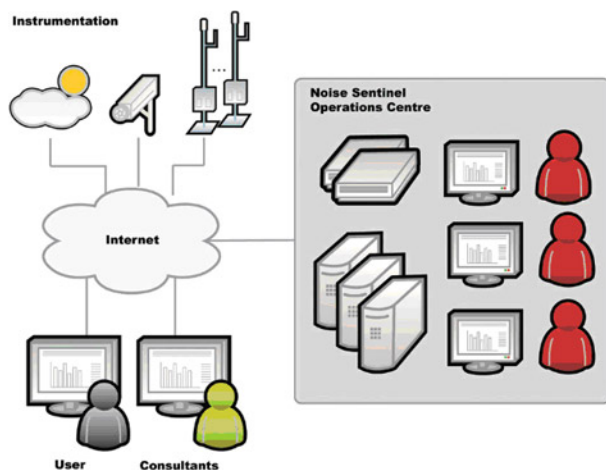
Борис Михайлов¹⁾

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

Резюме: В този документ се дава обща информация и се проследяват междинни резултати на стартирания през 2012 г. като изграждане и развойна дейност от СПЕКТРИ ЕООД интегрален системен портален подход за непрекъснат мониторинг и интернет достъп на Brüel & Kjær инструментариум за мониторинг на шум в градска среда, както и за общ цялостен облачен мониторинг на параметри на околната и производствена среда.

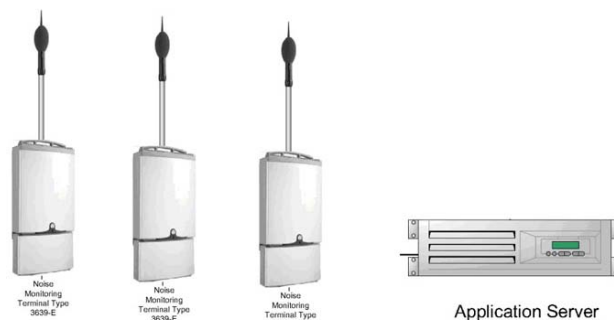
Ключови думи: шум, шумово състояние, измерване на шум, мониторинг на шум, облачна услуга, WEBNOISE, ESMU.

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 последващ интерфейс към 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.



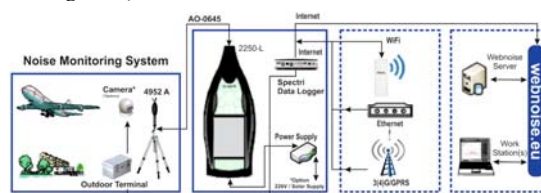
Фиг.1 Концептуална схема WEBNOISE

Хардуерното и софтуерно обезпечаване е осигурено от фирма СПЕКТРИ ЕООД и партньора ѝ фирма Brüel & Kjær - Дания. Цялостна проектна реализация е осъществена от водещата в Р. България фирма в областта на акустичния и вибрационен инженеринг, СПЕКТРИ ЕООД.

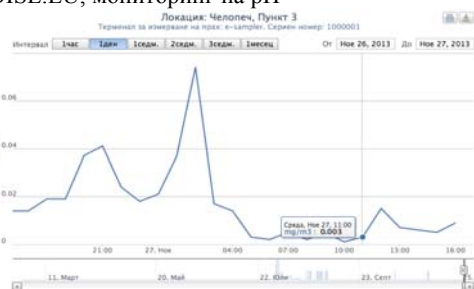


Фиг.2 Терминали и сървер за мониторинг на шум в околна среда

Нов СПЕКТРИ продукт - терминал за мониторинг на шум в околна среда тип ESMU (*Environmental Source Monitoring Unit*)



Фиг.3 Компоненти на СПЕКТРИ WEBNOISE
Нов СПЕКТРИ продукт – разширение на WEBNOISE.EU, мониторинг на pH



Фиг.4 Динамичен портален дисплей от WEBNOISE.eu

1. Въведение, общи положения:

През 2012 г., СПЕКТРИ ЕООД стартира собствена разработка на портално решение, маркирано под наименованието "Spectri WEBNOISE.eu" – като вид "облачна" услуга, комбинираща собствено решение за непрекъснат интернет базиран достъп до параметри за мониторинг на шум, вибрации, както и възможност за допълнителни параметри в околната и производствена среда.

През дек. 2013 г. СПЕКТРИ представи, а в края на 2014г. обнови своята разработка на мониторингов терминал на параметри в околната среда – ESMU (Environmental Source Monitoring Unit), както и пусна в продажба нова версия на вътрешния контролер – Spectri Data Logger.

Порталът <http://webnoise.eu> предоставя възможност за публичен достъп и визуализация на измервателните данни.

Системата позволява достъп до 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, LAнощ, L24, dB(A)) за: последен час, текущ ден, дневно, седмично, месечно, друго (история).

Интересът от големите градове в страната за непрекъснат мониторинг на шума в градска среда е свързан с тяхното задължение за актуализация на всеки 5 години на "Стратегическата Карта за шум", както и с оглед на респективните им "Планове за действие". Общините развиват стратегически подход за системно непрекъснато отразяване на промените, настъпващи в акустичната среда на града.



Непрекъснати мониторинг на шума е единственият достоверен източник за проследяване на дълговременното развитие на акустичната ситуация. В тази връзка, като част от интегрирания подход по дългосрочна редукция на шума в околната среда, разработването на стратегическата карта за шум, както и на плановете за действие към нея в техния завършен вид и последващ методичен континюитет са предвидени да оформят експертният фундамент за целенасочено и ефективно противошумово планиране.

Допълнително, големите оператори и производствени обекти, държащи на своя професионален имидж проявяват активност и готовност за инвестиция в един обществено признат подход на неманипулиран достъп до критична информация и данни от непрекъснат мониторинг на шум, вибрации и др. допълнителни параметри.

За защита на хората от вредното действие на шума са приети гранични стойности за отделните показатели за шума. За гранична стойност на шума се приема онова ниво, което при продължително действие на шума не предизвиква изменения в целия комплекс от физиологически показатели, отразяващи реакцията на най-чувствителните към него системи на организма.

Показателите за шум и граничните стойности в Р. България са регламентирани с Наредба № 6 от 26 юни 2006 г. за показателите за шум в околната среда, отчитащи степента на дискомфорт през различните части на денонощието, граничните стойности на показателите за шум в околната среда, методите за оценка на стойностите на показателите за шум и на вредните ефекти от шума върху здравето на населението, (Обн. ДВ. бр.58 от 18 Юли

2006 г.), издадена от Министерство на здравеопазването и Министерство на околната среда и водите.

Показателите за шум са физични величини, чрез които се определя шума в околната среда, като се отчитат границите и степента на дискомфорт на хората, изложени на шум, в зависимост от характера на шума, времето на денонощието, предназначението на помещенията за обитаване, характера на териториите и зоните в и извън урбанизираните територии.

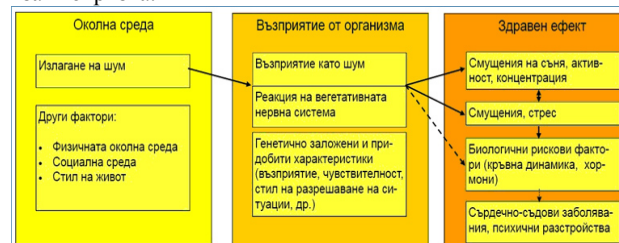
Показателите за шум, предмет на тази наредба, са дневно - **Lден**, вечерно - **Lвечер**, нощно - **Lнощ** и денонощно - **L24** ниво на шума. **Дневният период** включва времето от **7 до 19 ч.** (с продължителност 12 часа), **вечерният период** включва времето от **19 до 23 ч.** (с продължителност 4 часа) и **нощният период** - времето от **23 до 7 ч.** (с продължителност 8 часа).

Граничните стойности на нивата на шума в околната среда, посочени в Приложение 2 към чл. 5, Табл. 2. „Гранични стойности на нивата на шума в различните територии и устройствени зони в урбанизираните територии и извън тях”, са дадени в Табл. 1.

Взаимовръзката между шум и здраве. Шумът в околната среда нараства както като продължителност, така и като географско покритие.

Шумът е свързан с много човешки дейности, но шумът от пътен трафик, и в по-малка степен от железопътния и въздушния трафик е този, който има най-голямо въздействие. Това е реален проблем особено за градската среда: имайки в предвид, че по-голямата част от населението както в Европа, така и в България живее в големите градове, или в населени места, през и покрай които преминават основни пътни трасета (като потоците от автомобилен трафик продължават да се увеличават).

Илюстрацията представя потенциалните механизми за предизвиканите от шума влияния върху човешкото здраве, както и тяхната взаимовръзка.



Фиг.5 Въздействие на шума

Шумът действа като стресов фактор и атакува почти всички органи и системи на човешкия организъм. Високият шум засяга слуховия орган, централната и вегетативната нервна система. Хората стават неспокойни, раздразнителни, неработоспособни, често имат главоболие и световъртеж, страдат от безсъние. Резките внезапни шумове повишават секрецията на адреналин от надбъбречните жлези, което води до свиване на кръвоносните съдове, нарушаване на периферното кръвообращение и повишаване на кръвното налягане. Всичко това допринася за развитието на хипертония и атеросклероза и може да доведе до тежки съдови инциденти - инсулти, инфаркти, тромбози и др.

Като мощен стресов фактор шумът далеч не изчерпва своето вредно въздействие върху организма само със специфичното поражение на слуховата функция. Той влияе върху нервно-психичната сфера, сърдечно-съдовата система, стомашно-чревния тракт, жлезите с вътрешна секреция, обмяната на веществата, нервно-мускулния апарат и др. В определен смисъл може дори да се твърди, че

неспецифичното въздействие на шума заема по-важно място в шумовата патология, отколкото специфичното поражение на слуховата функция. Проучванията показват, че няма орган в човешкото тяло, който да е пощаден от вредното въздействие на шума.

Вредата от нежелания шум е силно изразена върху децата. При тях, шумът може да повлияе на способността им за концентриране, четене и писане. В класове, в които има силен шум, учениците показват значително по-ниски резултати от такива, в друг клас и същото училище, където вредата от шума е избегната. Според данни на Световната здравна организация, на ниво общност, вредата от шума води до намаляване на раждаемостта, нарушаване на способностите за учене, увеличава броя на инцидентите и води до повишена злоупотреба с наркотици. И не на последно място, доказано е, че дълговременно излагане на шум със стойности по-високи от 70 dB(A) може доведе до необратима загуба на слуха.

Системата за непрекъснат достъп до мониторингови данни за шум в околна среда се състои от следните основни компоненти и решения:

1. Терминали базирани на шумомер тип 2250-L/2250 - тип 3655-A. Производител – Brüel & Kjær-Дания.

Мониторинговите терминали за шум от Brüel & Kjær, от серията “3655” са проектирани и предназначени за постоянен, квази-постоянен и периодичен контрол на параметрите на шума в околната среда. Терминалът позволява бърза и лесна настройка на измервателният профил, както и конфигурация на периодичните мониторингови протоколи.



Фиг.6 Терминал за шум – вътрешен изглед

Терминалът е поставен в защитен куфар, съдържащ в себе си акустичен анализатор тип 2250/2250-L/2270, комуникационни и захранващи аксесоари, окабеляване и изход към външен измервателен микрофон.

2. Дейта логер, тип “SPECTRI DATA LOGGER” (комуникация, изчисления, софтуер, изходи) – един бр. / терминал. Производител – СПЕКТРИ - България.

Поддръжка на криптирани протоколи за обмен на данни между клиента и сървъра.

Поддръжка на протоколи за комуникация между терминали за измерване на шум и Логъра.

Специализирана разработка на софтуер за следене на показателите на LAeq, dB(A) и съхраняването на данните. Последваща математическа обработка на получените данни.

Алгоритъм за следене непрекъсваемостта на потока на данни. При прекъсване на връзката данните се съхраняват и се изпращат към сървъра при възстановяване на връзката.

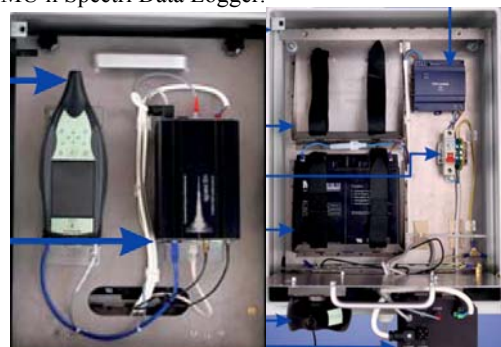
Система за самодиагностика и индикация при проблеми в работата на устройството и комуникацията между него и терминала или между него и сървъра.



Фиг.7 СПЕКТРИ логер на данни - изглед

3. През дек. 2013г. СПЕКТРИ представи своя разработка на мониторингов терминал на параметри в околната среда – ESMU (Environmental Source Monitoring Unit), както и пусна в продажба нова версия на вътрешния контролер – Spectri Data Logger.

На фигурите по-долу са показани някои реални визуализации от последните разработки на СПЕКТРИ – ESMU и Spectri Data Logger.



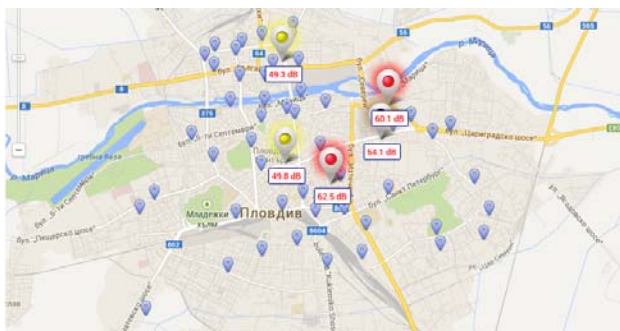
Фиг.8 СПЕКТРИ терминал ESMU

Основни компоненти на терминала:

- 1 – Измервателен микрофон, Brüel & Kjær, тип 4952;
- 2 – Акустичен анализатор, Brüel & Kjær, тип 2250L/2250;
- 3 – Логер на данни, СПЕКТРИ, тип SPH1;
- 4 – Автономна батерия с интелигентно захранване;
- 5 – 2/3G GSM модем;
- 6 - GPS приемник;
- 7 – Сензор “врата”.

4. Потребителски адаптирано решение за всеки индивидуален клиент/проект: Виж. WEBNOISE.EU. Производител – СПЕКТРИ - България. Изградена система в средата на WEBNOISE.EU - по потребителска спецификация, със следните основни визуализационни възможности:

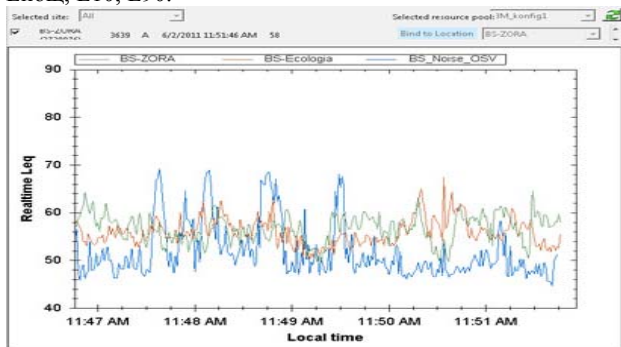
Основен екран, на който, с помощта на Google maps API v3.0 се показва разположението на точките на измерване, на реална карта. Всяка точка носи информация за моментното състояние на LAeq, и изобразява нивото му чрез съответен цвят.



Фиг.9 Начален екран WEBNOISE

Вторични екрани, на които се разполагат графиките, показващи стойностите на шума (LAeq) за определен интервал от време. Интервалът се задава чрез бутон (Часово, Дневно, Седмично, Месечно). Потребителят има възможност да маркира по-кратък интервал върху самата графика, за по-детайлно представяне на стойностите.

Допълнително за всеки дневен период се изобразяват скаларните шумови показатели LAmax, Lден, Lвечер, Lнощ, L10, L90.



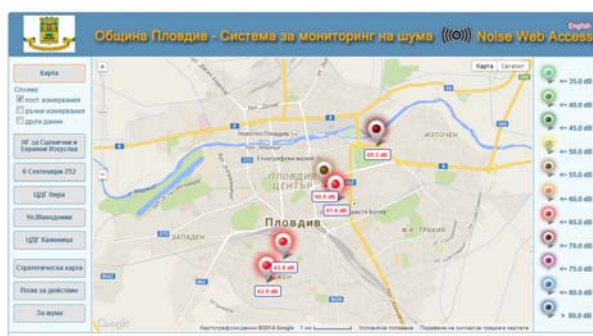
Фиг.10 WEBNOISE данни в реално време

5. Структура на предлаганото решение

Продуктът „СПЕКТРИ Шумов Уеб Достъп©“ е обект на националното и международно законодателство за защита на интелектуалната собственост. Авторът и притежателят на авторските права на продукта „СПЕКТРИ Шумов Уеб Достъп©“ е фирмата СПЕКТРИ ЕООД - България. Ползването на продукта „СПЕКТРИ Шумов Уеб Достъп©“ се осъществява посредством подновяем годишен абонаментен договор. Абонатът получава неизключителни права за ползване на Продукта „СПЕКТРИ Шумов Уеб Достъп©“. В периода на действащ абонаментен договор, СПЕКТРИ ЕООД се ангажира да поддържа продукта „СПЕКТРИ Шумов Уеб Достъп©“ (и неговото присъщо интернет базирано решение) в работоспособна функционалност, както и да съхранява, синхронизира и поддържа получаваните от системата измервателни данни. В периода на действащ абонаментен договор, Абонатът се ангажира да поддържа в изправност и комуникационна функционалност измервателните станции, които комуникират и подават данни към продукта „СПЕКТРИ Шумов Уеб Достъп©“ (и неговото присъщо интернет базирано решение).

6. Междинни резултати от WEBNOISE.eu:

6.1. Град Пловдив: Постоянно и регулярно преместване на терминалите, с цел по-точен и пълен мониторинг на акустичната среда в Пловдив. Визуализация на старите разположения на терминалите.



Фиг.11 Изглед точки на мониторинг

6.2. Град Бургас: Таблица с подробни данни за последните 7 дни.

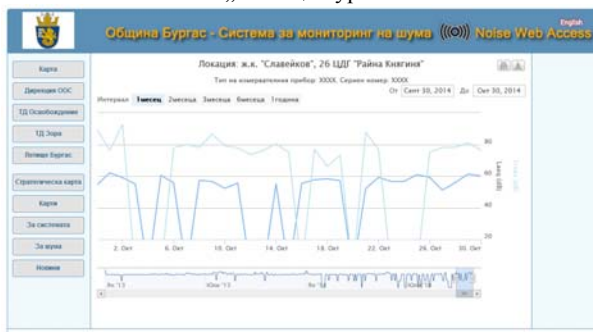


Фиг.12 Резултати за последните 7 дни

Нов слой „Летище Бургас“. Данни за разположението на терминалите и данни за измерванията от началото на 2013 година до сега. Изображение с графика, съдържаща L24 и Lmax. Възможност за изтегляне на суровите репорти на Летище Бургас във формат PDF.

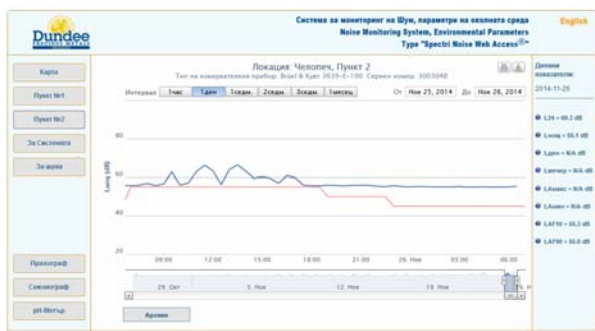


Фиг.13 Резултати терминали „Летище Бургас“



Фиг.14 Резултати – терминали Община Бургас

6.3. Дънди Прешъс Металс Челопеч ЕАД: Визуализация на лимитите Дневен, Вечерен, Нощен, в зависимост от часа.

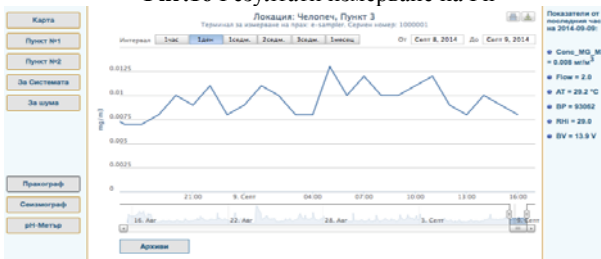


Фиг.15 Таблица с обобщени данни за последните 30 дни.

Добавяне на точка за измерване на pH. Демонстрация на възможности за монтаж, обслужване, организация на данните и визуализация на всякакви измервани величини. Пренос на данни през LAN, WAN, GSM, Radio и други канали.



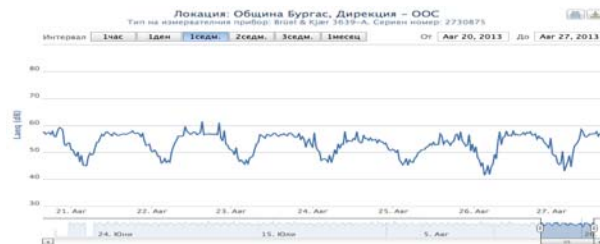
Фиг.16 Резултати измерване на Ph



Фиг.17 Резултати измерване на прах

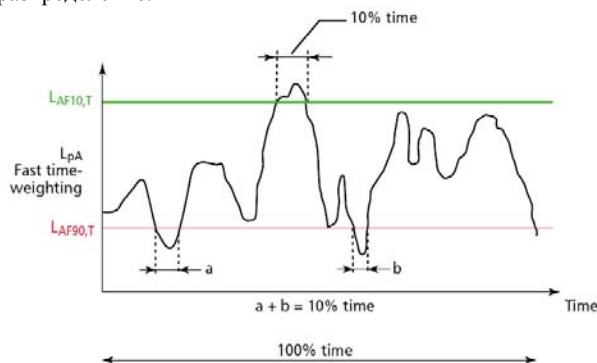
7. Акценти:

- Точна индикация за шумовото класифициране на всяка една локация и незабавна визуализация при предприемане на мерки за редукция 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, СПЕКТРИ ЕООД.



Фиг.18 Акустично замърсяване в локацията – за 24 часа и за седмица.

Резултантно генериране на исторически статистически профил за LAeq – процентно 10/90 разпределение.



Фиг.19 Използвани и вече внедрени данни за L10 и L90

Като допълнителен показател за шума се използва Lмакс. за територии подложени на въздействието на авиационен шум. То представлява максималното ниво над дадена територия. Граничната стойност на Lмакс е 85 dB(A).

8. ИЗВОДИ:

Непрекъснатото усъвършенстване и развитие на компонентите на WEBNOISE води до все по-целенасочено акцентирание върху безотказната работа на платформата и постоянното гарантиране на достъпни и лесно разбираеми данни за мониторинг на шум и доп. параметри в околната среда.

Проследявайки резултатите от натрупваните данни от поддържания от СПЕКТРИ ЕООД портал WEBNOISE.eu, недвусмислено се потвърждава, че комбинираният подход от непрекъснат мониторинг на шум в околната среда и извеждането му посредством облачна услуга на обществено достъпно ниво допринасят за създаването и развитието на надежден и значим непрекъснато актуализиращ се инструментариум за целенасочено адресиране на проблема с акустичното замърсяване.

За целите на регулярното обследване на акустичното състояние в околната среда, недвусмислено най-достоверния и надежден метод е използването на подходяща и проектирана в съответствие с актуалните международни стандарти система за непрекъснат мониторинг и проследяване на шумовото замърсяване, в комбинация с осигурен непрекъснат обществен достъп.

Постига се ясна разпознаваемост на характеристиката и природата за всяка една локация. Времево отчетливо се различава типичния индивидуален времеви шумов профил за подходящи интервенционни мероприятия.

За инженерингови и експертни цели, непрекъснато натрупваните интегрални и статистически стойности формират един незаменим и изключително ценен източник на надеждни и верифицирани данни.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Директива 2002/49/ЕС на Европейския Парламент и на Съвета от 25.06.2002 г. относно оценка и управление на екологичния шум (END).

[2] Ръководство за добра практика за изготвяне на стратегически шумови карти и предоставяне на свързаните

данни за шумова експозиция (разработена от работната група за шума към ЕС – WG-AEN, 13.01.2006);

[3] Закон за защита от шума в околната среда (Обн. ДВ, бр.74/2005);

Данни за авторите:

- (1) Борис 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*.

**FURTHER DEVELOPMENT OF SPECTRI CLOUD DATA ACCESS MONITORING PLATFORM - WEBNOISE.EU
(FOR MONITORING OF ENVIRONMENT, OCCUPATIONAL HEALTH, AND INDUSTRIAL PARAMETERS)**

Boris Mihaylov¹⁾

¹⁾ SPECTRI Ltd., 30, “St. T. Turnovski” Str., Sofia 1421, spectri@spectri.net, www.spectri.net

Abstract: In the recent paper is presented an overall information, and are highlighted intermittent results re. the started in 2012 research and development SPECTRI integrated portal approach for on-line monitoring and internet access to Brüel & Kjær environmental noise monitoring equipment, and as well to other environmental and process parameters. The on-line monitoring system is realized based on several Brüel & Kjær outdoor microphones’ based terminals, and a further interfacing to the own Spectri hardware (Spectri data logger) and software development products, integrated in portal WEBNOISE.eu. The result is an ongoing self-actualizing and publically accessible data base, source for professional noise management policy. Realized projects.

The hardware and software tools are sourced both from SPECTRI Ltd., and its partner Brüel & Kjær - Denmark. The total project realization is realised by the leading Bulgarian company in the field of acoustical and vibration engineering.

Key words: Noise, noise behavior, noise measurements, noise monitoring, cloud solution. WEBNOISE, ESMU.

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2014”	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

ПРЕГЛЕД И АНАЛИЗ НА ШУМОВОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ ВЪРХУ ГРАД СОФИЯ В СЛЕДСТВИЕ ОТ ДЕЙНОСТТА НА ЛЕТИЩЕ СОФИЯ - ЗА ПЕРИОДА 2010-2014 Г.

Милчо Георгиев^{1) 2)}, Борис Михайлов²⁾

¹⁾ ТУ-София, МФ, mtge@tu-sofia.bg, www.tu-sofia.bg (URL)

²⁾ СПЕКТРИ ЕООД, София, Т. Търновски 30, spectri@spectri.net, www.spectri.net (URL)

Резюме: Целта на изследването е да се извърши обследване, преглед и анализ на ошумяването на град София в следствие на дейността на летище София за периода 2010 – 2012 г. с оглед предприемане на действия които да залегнат в актуализацията на плана за действие за управление, предотвратяване и намаляване на шума в околната среда на базата на разработената стратегическа шумова карта на агломерация София и данните на мониторинговата система на Летище София.

Ключови думи: шум, шумово замърсяване, шумов анализ, шумов мониторинг.

1. Въведение, общи положения:

Поради високата динамика на развитие на агломерация София, набелязаните в ПДШ на СО от 20.12.2010 г., мерки и срокове до голяма степен не са актуални към днешна дата и е необходим техния преглед и осъвременяване преди осъвременяването на респективната СКШ от 2009 г.). Тази необходимост е с цел оптимизация и целнасочено прилагане на ефективни мерки за редукция на надграничното ошумяване в агломерацията в резултат на шума от авиационен трафик.

ЛЕТИЩЕ СОФИЯ, Актуални данни за структурата и стойността на трафикопотоците:

Интензивността на полетите до/от летище София за последните 6 години – брой самолетодвижения на Летище София за периода 2008–2013 г., са както следва:

2008 – 48 626; 2009 – 45698; 2010 – 47061; 2011 – 47 153; 2012 – 43862; 2013 – 40526;

Разпределение на полетите по писта на излитане и кацане (ПИК) – ПИК 09 / ПИК 27 и вид на самолетодвижението – ARR / DEP:

2011 г.: ПИК 09: ARR – 8417 бр.; ПИК 09: DEP – 11423 бр.; ПИК 27: ARR – 15003 бр.; ПИК 27: DEP – 11920 бр.; ARR – 164 бр.; DEP – 226 бр.; Всичко: **47153 бр.**

2012 г.: ПИК 09: DEP – 10687 бр.; ПИК 09: ARR – 7463 бр.; ПИК 27: DEP – 11126 бр.; ПИК 27: ARR – 14350 бр.; ARR – 112 бр.; DEP – 124 бр.; Всичко: **43862 бр.**

2013 г.: ПИК 09: ARR – 7326 бр.; ПИК 09: DEP – 10113 бр.; ПИК 27: ARR – 12844 бр.; ПИК 27: DEP – 10021 бр.; ARR – 90 бр.; DEP – 132 бр.; Всичко: **40526 бр.**

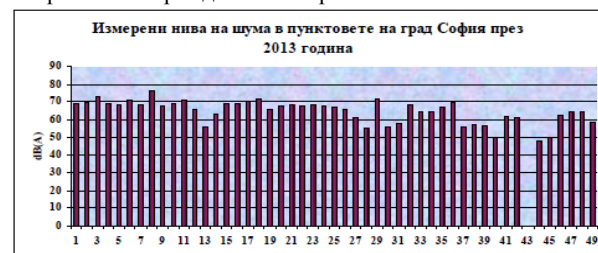
2014 г. (01.01.2014 – 30.06): ПИК 09: ARR – 3735 бр.; ПИК 09: DEP – 5166 бр.; ПИК 27: ARR – 6467 бр.; ПИК 27: DEP – 5021 бр.; ARR – 53 бр.; DEP – 64 бр.; Всичко: **20506 бр.** (Писмо Изх. № 100-15380 / 10.09.2014 г.)

отлитане и долитане е осигуряването на безопасност на полетите, чрез създаване на оптимален профил на полета, съобразен с релефа на местността, съществуващи препятствия, различни видове зони и др. Във връзка с дейностите по проекта – „Реконструкция, развитие и разширение на летище София – нова пистова система, пътеки за рулиране и свързани с тях работи“, от 31.08.2006 г. схемите за отлитане и долитане и финалните подходи са оптимизирани в максимална степен, включително и с цел намаляване на шумовото въздействие върху жилищните райони на гр. София.

Ограничаване на въздействието на дадено летище върху околната среда се осъществява по ред определен в Наредба № 14 от 15 октомври 2012 г. за летищата и летищното осигуряване, издадена от министъра на транспорта, информационните технологии и съобщенията (Обн. ДВ. бр.86/2012 г.), със специални системи от терминали за наблюдение на ошумяването, което е задължение на летищните власти, в случая на Летище София.

Данни за измерени нива на шума в пунктовете на гр. София през 2013 г. са относително високи клонят – към 70 dB(A).

Разликата в измерените минимални и максимални стойности е около 3 dBA и нивото на шума се запазва непроменено през деня и вечерта.



Фиг. 1 Измерени нива на шума в
пунктовете на гр. София

Предприети мерки за намаляване на шумовото натоварване в близост до Летище София

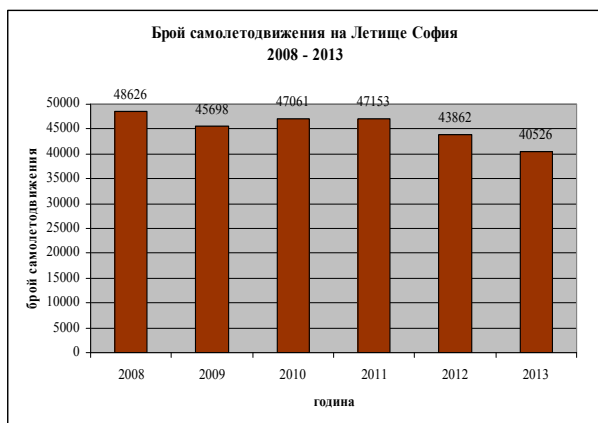
Основен приоритет при изготвяне на схеми за

Източник „самолетен“ трафик:

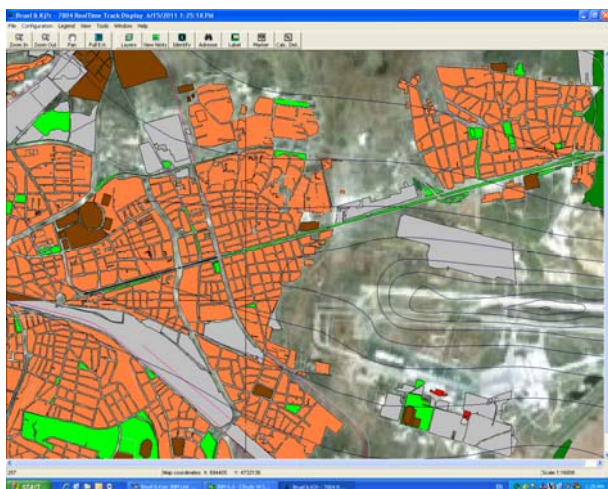
Преглед на констатациите относно основен източник „самолетен трафик“ (залегнали в Плана за Действие за управление, предотвратяване и намаляване на шума, 2010 г.).

Операиращите въздухоплавателни средства на Летище София, пораждат шум над нормата в кварталите „Хр. Ботев“, „Сухата река“, „Нова махала“ и др. Новата писта на летище София с отдалечаването си от жилищните райони до него и промяната на въздухоплавателните средства с такива с по-ниско ниво на шума, води до намаляване на шума с до 40% спрямо състоянието преди реконструкцията и разширяването му. Необходим е контрол на управлението на полетите съобразен освен с метеорологичните условия и с ошумяването на прилежащите територии на летище София на база данните от собствената мониторингова система, разположена по трасето на излитане/кацане.

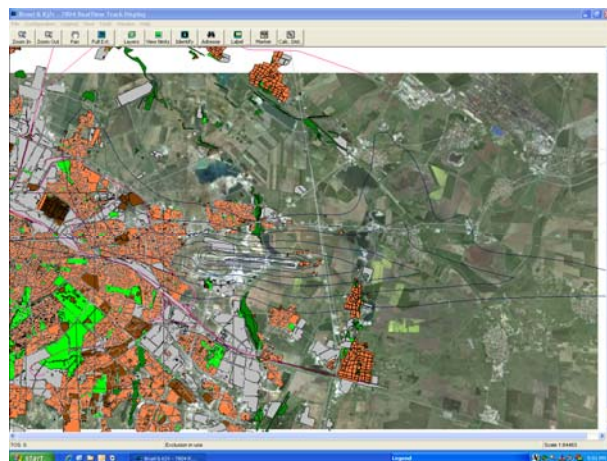
Налице е известно намаление на трафикопотоците от и до Летище София (2008 – 48 626; 2009 – 45 698; 2010 – 47 061; 2011 – 47 153; 2012 – 43 862; 2013 – 40 526). Независимо от понижения след 2009 г. трафик (самолетодвижения), контурите на ошумяване на града (за L24 dBA) са се запазили и донякъде увеличили (разширили) в посока към града.



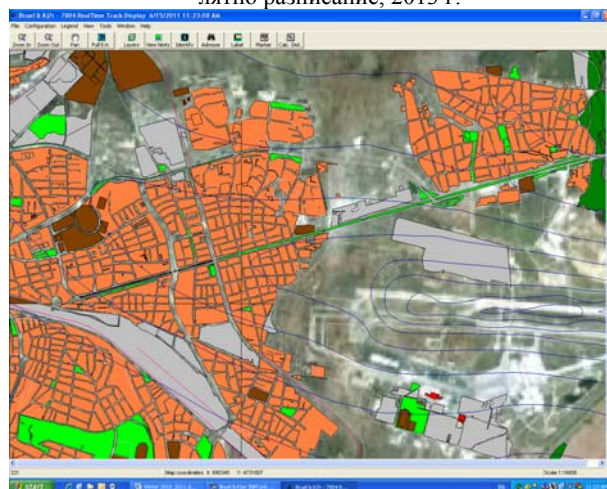
Фиг. 2 Брой самолетодвижения на Летище София



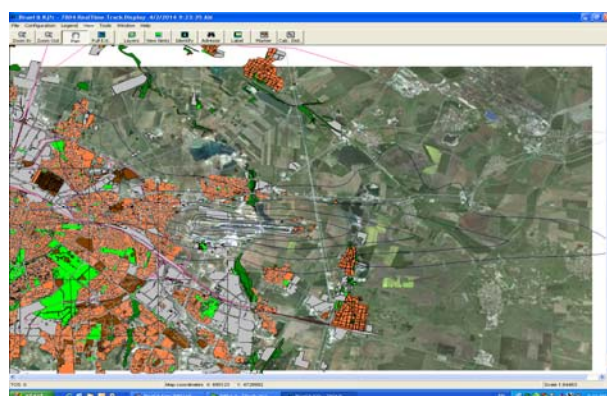
Фиг. 3 Шумови контури, L24 dB(A) – лятно разписание, 2010 г.



Фиг. 4 Шумови контури, L24 dB(A) – лятно разписание, 2013 г.



Фиг. 5 Шумови контури, L24 dB(A) – зимно разписание, 2010 г.



Фиг. 6 Шумови контури, L24 dB(A) – зимно разписание, 2013 г.

Операиращите основно на летище София самолети, с техните спецификации са:

- Airbus A318, Length 34.09m, Height 12.56m, Wind Span 34.09m, 115-125 passengers, Max Take off 59.000 – 68.000 kg;
- Airbus A319, Length 33.84m, Height 11.80m, Wind Span 33.91m, 116-142 passengers, Max Take off 64.000 – 75.000 kg;
- Airbus A320, Length 37.57m, Height 11.76m, Wind Span 34.09m, 116-142 passengers, Max Take off 73.500 – 77.000 kg;
- Airbus A321, Length 44.51m, Height 11.76m, Wind Span 34.09m, 185 passengers, Max Take off 83.000 – 85.000 kg;

- Airbus A310, Length 46.66m, Height 15.80m, Wind Spain 43.89m, 200-230 passengers, Max Take off 142.000 – 150.000 kg;

- Airbus A330-200, Overall length 58.82m, Height 17.39m, Wing span 60.30m, 246 (2-class) – 380. Airbus A330-300: Overall length 63.69m, Height 16.83m, Wing span 60.30m, 300 (2-class)-400 passengers. Boeing 737-100, Length 28.67m, Height 11.29m, Wind Spain 28.35m, 115-130 passengers, Max Take off 49.940 kg;

- Boeing 733 (737-300), Length 33.40m, Height 12.56m, Wind Spain 28.88 m, 128-141 passengers;

- Boeing 734 (737-400), Weight 56246 kg, 146 passengers;

- Boeing 735 (737-500), Landing Weight 49895 kg, 108 passengers;

- Boeing 737 (737-700), Landing Weight 58604 kg, 128 passengers;

- Boeing 738 (737-800) Landing Weight 65317 kg, 160 passengers;

- Boeing 739 (737-900), Landing Weight 66361 kg, 177 passengers;

- Boeing 752 (757-200), Landing Weight 89800 kg, 186 passengers;

- Boeing 753 (757-300), Landing Weight 101610 kg, 243 passengers;

- MD82, Wing span 32.87m, length 45.06m, height 9.02m, 142 passengers;

- IL76, Wing span 50.50m, length 46.59m, height 14.76m, Max takeoff 170,000kg;

- Falcon 2000 (F2TH), Length 20.23m, Height 7.06m, MTOW 16240 kg, 12 passengers;

- E170/ERJ, 170-100, MTOW 34450 kg, 80 passengers;

- E190/ERJ, 190-100, MTOW 50300 kg, 98 passengers;

- AN30 Turboprops, Wing span 29.20m, length 23.53m, height 8.32m, max takeoff 21,800kg, 50 passengers;

- ATR45 (ATR-42-500), Wing span 24.57m (80ft 8in), length 22.67m (74ft 5in), height 7.59m, max takeoff 18,600kg, 48 passengers;

- ATR72 (ATR-72-500), Wing span 27.05m, length 27.17m, height 7.65m, max takeoff 22,000kg, 74 passengers;

- F100 (Fokker 100), MTOW 5800 kg, 109 passengers;

- F2TH (DASSAULT Falcon 2000), Wing span 19.3m, Length 20.2m, Height 7.1m, Power plant 2 x GE CFE738-1-1B (26.7kN) turbofans, General Electric CFE738, MTOW 18597 kg;

- L410 Turbolet, MTOW 5800 kg, 17 passengers;

- DH8D / DHC-8, MTOW 2809 kg, 78 passengers.

- BE40 (BEECH 400 Beechjet), Wing span 13.3 m, Length 14.8m, Height 4.2m, Powerplant 2 x 12.9 kN P&W JT15D-5 turbofans, Pratt & Whitney Canada JT15D;

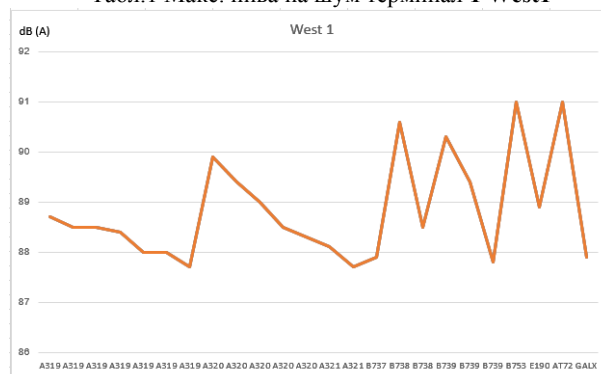
- C560 (CESSNA 560 Citation 5 Ultra), Wing span 13.8m, Length 14.9m, Height 4.2m, Powerplant Citation 5: 2 x 12.89 kN P&W JT15D-5A turbofans, Ultra: 2 x 13.6 kN P&W JT15D-5D turbofans. Encore: 2 x 14.9 kN P&W PW 535A turbofans, Pratt & Whitney Canada JT15D, Pratt & Whitney Canada PW500;

- LJ35 LearJet 35, MTOW 8301 kg;

- C17 BOEING C-17 Globemaster 3, Wing span 51.8m, Length 53m, Height 16.8m, Powerplant 4 x 185 kN P&W PW2040 (USAF: F117-PW-100) turbofans, Pratt & Whitney Canada PW2000, Pratt & Whitney Canada PW100, MTOW 265350 kg.

1 West1	Lmax	Lmax	Lmax	Lmax			
A319	88.7	A319	87.7	A321	88.1	B739	89.4
A319	88.5	A320	89.9	A321	87.7	B739	87.8
A319	88.5	A320	89.4	B737	87.9	B753	91
A319	88.4	A320	89	B738	90.6	B753	89.8
A319	88	A320	88.5	B738	88.5	E190	88.9
A319	88	A320	88.3	B739	90.3	AT72	91
GALX	87.9						

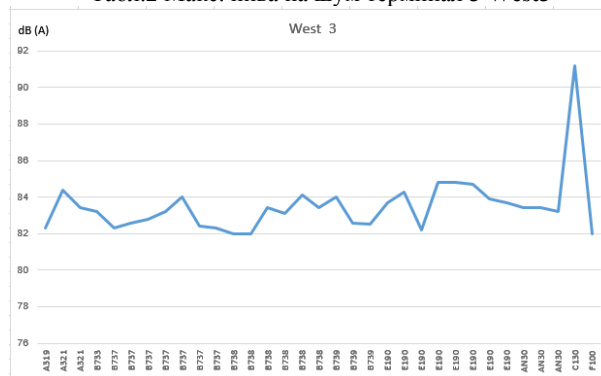
Табл.1 Макс. нива на шум терминал 1 West1



Фиг. 7 Aircraft - Top 25 LMax Report – Jan 2014

3 West3	Lmax		Lmax		Lmax		Lmax
A319	82.2	B733	83.2	B738	84.1	B739	84.0
A321	84.4	B737	84.0	B738	83.4	B739	82.6
A321	83.4	B737	83.2	B738	83.1	B739	82.5
AN30	83.4	B737	82.8	B738	82.4	C130	91.2
AN30	83.4	B737	82.6	B738	82.0	E190	84.3
AN30	83.2	B737	82.3	B738	82.0	E190	82.2
F100	82.0						

Табл.2 Макс. нива на шум терминал 3 West3



Фиг. 8 Aircraft - Top 25 LMax Report – Jan 2014

4 West4	Lmax	Lmax	Lmax	Lmax			
A320	85.8	AN30	86.1	B738	84.4	E170	83.7
A320	85.0	AN30	85.5	B738	83.7	E190	84.8
A320	84.2	B733	85.0	B752	84.9	E190	84.8
A320	84.1	B735	84.2	B752	84.3	E190	84.7
A320	83.7	B737	84.4	C130	93.0	E190	83.9
AN30	86.8	B738	87.2	C17	91.9	E190	83.7
L410	86.4						

Табл.3 Макс. нива на шум терминал 4 West4

Location	dB(A)
A320	85.8
A320	84.8
A320	84.2
A320	84.3
A320	84.1
B733	83.7
B733	85.0
B737	84.3
B738	87.2
B738	84.5
B738	83.8
B752	84.9
B752	84.3
AN30	85.8
AN30	86.8
AN30	86.1
C130	92.8
C17	91.8
L410	86.3

1st	W1	Lmax	Lmax	Lmax	Lmax	Lmax	Lmax	
A319		88.0	A320	87.9	A320	86.6	B733	87.5
A319		86.5	A320	87.4	A321	89.6	B733	86.2
A320		88.8	A320	87.3	A321	88.7	B734	91.6
A320		88.5	A320	87.2	A321	86.6	B752	94.8
A320		88.5	A320	87.1	A333	90.8	C17	99.2
A320		88.3	A320	87.1	AT45	88.8	E190	88.6
E190		88.3						

Frequency Band	dB(A)
A31	86.5
A51	88.0
A91	86.5
A120	87.0
A180	87.0
A250	87.0
A315	87.5
A355	88.0
A400	88.5
A450	88.5
A500	89.0
A560	89.0
A630	88.5
A715	99.0
A800	88.5
A900	88.0
A1000	87.5
A1120	91.0
A1250	93.0
A1400	94.5
A1600	88.5
A1800	88.5
A2000	88.5
A2240	99.0
A2500	88.5
A2800	89.0
A3150	89.0
A3500	89.0
A3960	89.0
A4450	89.0
A5000	89.0
A5600	89.0
A6300	89.0
A7150	89.0
A8000	89.0
A9000	89.0
A10000	89.0
A11200	89.0
A12500	89.0
A14000	89.0
A16000	89.0
A18000	89.0
A20000	89.0
A22400	89.0
A25000	89.0
A28000	89.0
A31500	89.0
A35000	89.0
A39600	89.0
A44500	89.0
A50000	89.0
A56000	89.0
A63000	89.0
A71500	89.0
A80000	89.0
A90000	89.0
A100000	89.0
A112000	89.0
A125000	89.0
A140000	89.0
A160000	89.0
A180000	89.0
A200000	89.0
A224000	89.0
A250000	89.0
A280000	89.0
A315000	89.0
A350000	89.0
A396000	89.0
A445000	89.0
A500000	89.0
A560000	89.0
A630000	89.0
A715000	89.0
A800000	89.0
A900000	89.0
A1000000	89.0
A1120000	89.0
A1250000	89.0
A1400000	89.0
A1600000	89.0
A1800000	89.0
A2000000	89.0
A2240000	89.0
A2500000	89.0
A2800000	89.0
A3150000	89.0
A3500000	89.0
A3960000	89.0
A4450000	89.0
A5000000	89.0
A5600000	89.0
A6300000	89.0
A7150000	89.0
A8000000	89.0
A9000000	89.0
A10000000	89.0
A11200000	89.0
A12500000	89.0
A14000000	89.0
A16000000	89.0
A18000000	89.0
A20000000	89.0
A22400000	89.0
A25000000	89.0
A28000000	89.0
A31500000	89.0
A35000000	89.0
A39600000	89.0
A44500000	89.0
A50000000	89.0
A56000000	89.0
A63000000	89.0
A71500000	89.0
A80000000	89.0
A90000000	89.0
A100000000	89.0
A112000000	89.0
A125000000	89.0
A140000000	89.0
A160000000	89.0
A180000000	89.0
A200000000	89.0
A224000000	89.0
A250000000	89.0
A280000000	89.0
A315000000	89.0
A350000000	89.0
A396000000	89.0
A445000000	89.0
A500000000	89.0
A560000000	89.0
A630000000	89.0
A715000000	89.0
A800000000	89.0
A900000000	89.0
A1000000000	89.0
A1120000000	89.0
A1250000000	89.0
A1400000000	89.0
A1600000000	89.0
A1800000000	89.0
A2000000000	89.0
A2240000000	89.0
A2500000000	89.0
A2800000000	89.0
A3150000000	89.0
A3500000000	89.0
A3960000000	89.0
A4450000000	89.0
A5000000000	89.0
A5600000000	89.0
A6300000000	89.0
A7150000000	89.0
A8000000000	89.0

3 West3	Lmax	Lmax	Lmax	Lmax			
A320	82.5	AT72	82.9	B734	81.6	C17	86.3
A321	83.4	B733	84.6	B735	82.0	C17	92.9
A321	83.0	B733	82.2	B738	83.9	E190	84.3
A321	82.8	B733	82.1	B738	82.3	E190	82.2
A333	81.8	B733	81.8	B752	82.0	E190	82.1
AN30	82.8	B734	81.9	B752	81.9	E190	81.9

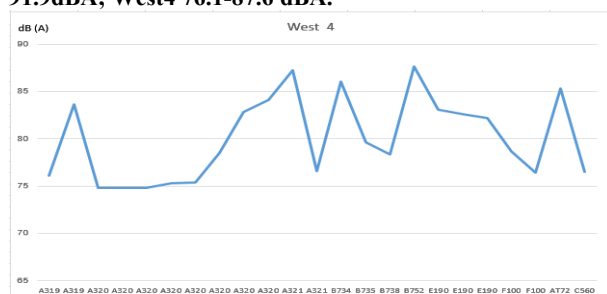
(1), (2) Милчо Тодоров Георгиев, доц. (2001), д-р (1996), инж. (1986), Машиностроене и уредостроене, *Технически университет София*, МФ, катедра ОТСК. Член на УС на *Българска Асоциация за Обществен Контрол и Управление на Шума*, експерт към *СПЕКТРИ ЕООД*.

E190	81.7
------	------

Frequency Band	Sound Pressure Level (dB(A))
A320	82.5
A311	83.5
A311	83.0
A311	82.5
A311	82.0
A311	84.5
B730	82.5
B730	82.0
B730	82.0
B734	82.0
B734	81.5
B735	82.0
B735	83.5
B735	82.5
B732	82.0
B732	82.0
E300	81.5
E300	82.0
E300	84.5
E300	82.5
C17	93.0
C17	86.0
A670	83.0
A72	83.0

Табл.6 Макс. нива на шум терминал 4 West4

West1 87.1–94.8 dBA, West3 81.7–92.9 dBA; West4 84.1–91.9dBA; West4 76.1-87.6 dBA.



Като извод, през 2014 г. се наблюдава понижаване на ефекта от самолетния трафик върху общото и индивидуалното надгранично ошумяване, както и е налице понижено замърсяване на акустичната среда на агломерация София. Този резултат е вследствие и на промяната на типа самолети опериращи на летище София.

[1] Мониторингова система на авиационен шум В&К Туре 3597-С и 3637-А (на летище София).

REVIEW AND ANALYSIS OF NOISE POLLUTION OF SOFIA CITY AS A RESULT OF THE ACTIVITIES OF SOFIA AIRPORT - For the period 2010-2014

Milcho Georgiev¹⁾²⁾, Boris Mihaylov²⁾

¹⁾ TU-Sofia, 8, "Kl. Ohridski" blv., Sofia 1700, mtge@tu-sofia.bg, www.tu-sofia.bg (URL)

²⁾ SPECTRI Ltd., 30, "St. T. Turnovski" Str., Sofia 1421, spectri@spectri.net, www.spectri.net (URL)

Abstract: The aim of the study is to undertake inspection, review and analysis of noise pollution of Sofia city – affected from Sofia airport activity, in the period 2010 - 2012, with emphasis of noise reduction actions. The information is dedicated to Sofia Municipality official strategic noise action plans update (containing data for prevention of environmental noise, and based on Sofia strategic noise map).

Key words: noise, noise pollution, noise analysis, noise monitoring.

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2014”	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

КОНФИГУРАЦИЯ, РЕАЛИЗАЦИЯ И ПРАКТИЧЕСКИ ИЗВОДИ ОТ ИЗГРАЖДАНЕ НА СИСТЕМИ ЗА ПОСТОЯНЕН ВИБРАЦИОНЕН МОНИТОРИНГ НА ИНДУСТРИАЛНИ МАШИНИ И СЪОРЪЖЕНИЯ

Милчо Георгиев^{1) 2)}, Борис Михайлов²⁾

¹⁾ ТУ-София, МФ, mtge@tu-sofia.bg, www.tu-sofia.bg (URL)

²⁾ СПЕКТРИ ЕООД, София, Т. Търновски 30, spectri@spectri.net, www.spectri.net (URL)

Резюме: В този документ се представя конфигурация на изградена система за постоянен вибрационен мониторинг на индустриални системи и съоръжения, както и практическа системна реализация на базата на новата продуктова гама за виброконтрол PCH1420 в сътрудничество с партньора на СПЕКТРИ ЕООД за вибрационен мониторинг PCH Engineering A/S. Дефинира се концепцията по конфигурация на PCH1420 базирана система, избор и местоположение на измервателни точки и конфигурационни параметри. Работна оценка на точността на измерване едновременно в контролните точки се извършва със системата PULSE Reflex 3560-B на Brüel & Kjær.

Ключови думи: - Вибрации, шум, измерване на вибрации и шум, мониторинг, виброконтрол.

1. Въведение

Мониторингът на функционирането на индустриални машини и съоръжения е от съществено значение за работоспособността и дълготрайността им както по отношение на основните технически показатели така и по отношение на вибрационното им състояние.

Конфигурирането на зададена система за виброконтрол се базира на типа машина, и изискванията за нива на вибрациите – номинални, гранични и нива на превишение за предприемане на действия за изключване.

Конфигурираната система за постоянен вибрационен мониторинг на машини подложени на вибрации в резултат на тяхната работа (бутални, ротационни и винтови помпи и компресори) или в резултат на въздействие на околната среда се базира на модула PCH1240 и като опция модул PCH EtherBridge®, type CHB1120 за свързване на няколко модула тип PCH1240 по RS-485.

Мониторинговият модул за контрол на вибрациите на машини PCH1420, включва 4 измервателни канала (с сигнална табела на предния панел) в честотния обхват 0.7 Hz до 115 kHz, 4 изходящи сигнала 4-20 mA/10V и 2 релейни сигнала (4 конфигурационни аларми) за предприемане на действие. Запис на суров сигнал и последващ FFT анализ. Отговаря на функционалните изисквания за безопасност в съответствие с ISO 13849-1 и защита на обекта според API670 норми - време на реакция не повече от 100 ms.

PCH Engineering A/S предоставя набор от промишлени акселерометри обхващащи широк спектър на виброконтрол с различна чувствителност и работни температури.

Модулът е окомплектован със софтуер за връзка с PC - PCH Vibration Studio, чрез USB/RS-485 port – настройка на параметрите на измерваните величини, визуализация и генериране на аларми (4 бр.) за състоянието на процеса на измерване и контрол на вибрационното състояние.

2. Изложение

Реализация на конфигурация на 8 (2 x 4) канална система за постоянен вибрационен мониторинг на



Фиг.1 Мониторингов модул на вибрации PCH1240 и широк спектър от акселерометри тип CTC от PCH Engineering A/S

индустриални машини и съоръжения, на базата на 2 бр. мониторингови модули тип PCH1420 за контрол на вибрациите на машини. Визуализация на контролираните параметри: в PCH Vibration Studio на компютър по USB/RS-485 port; - възможна визуализация на нивата на вибрациите към съществуваща контролираща система на други параметри на машината чрез 8 (2 x 4) аналогови сигнали 4-

20mA/10V и 2 релейни сигнала за аларми (или опция - конвертиране на протокола чрез PCH EtherBridge®, type CHB1120 за свързване на няколко модула тип PCH1240 по RS-485 или по Ethernet – предлагат се комуникационните протоколи Modbus TCP и OPC UA за HMI устройства). Измерване на вибрационното състояние е чрез акселерометри тип CTC/M/AC102-1A. Свързващите кабели на акселерометрите се присъединяват чрез куплунг с резбово съединение към акселерометрите.

Захранването на мониторинговите модули PCH1420 (2бр.) е на 24V, 10W. В комплекта е включен захранващ модул TDK Lambda 24VDC/220-240V. Мониторинговите модули PCH1040 – 2 бр. и захранващият модул TDK Lambda 24V/220V, се монтират в стандартно електротехническо табло CRN 250x200x150 (IP65) с 11 кабелни входа PG9.

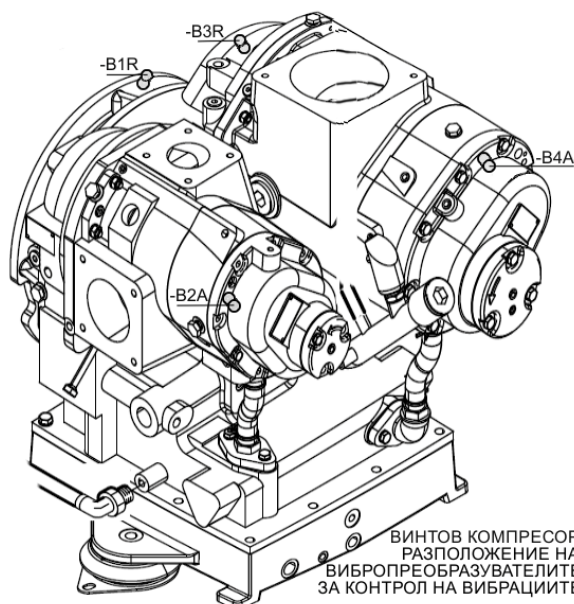


Фиг.3 PCH1420

Реализиране на базова конфигурация.

Обект на приложение на мониторинговата система е винтов V-образен компресор на въздух с параметри: работно налягане 8 bar, дебит 15.65 m³/min, номинална мощност на задвижващия електродвигател 90kW.

Акселерометрите тип CTC/M/AC102-1A се монтират чрез резбово съединение към залепени монтажни планки на предния и задния капац, по 2 в хоризонтално и 2 във вертикално направление на лагерите.

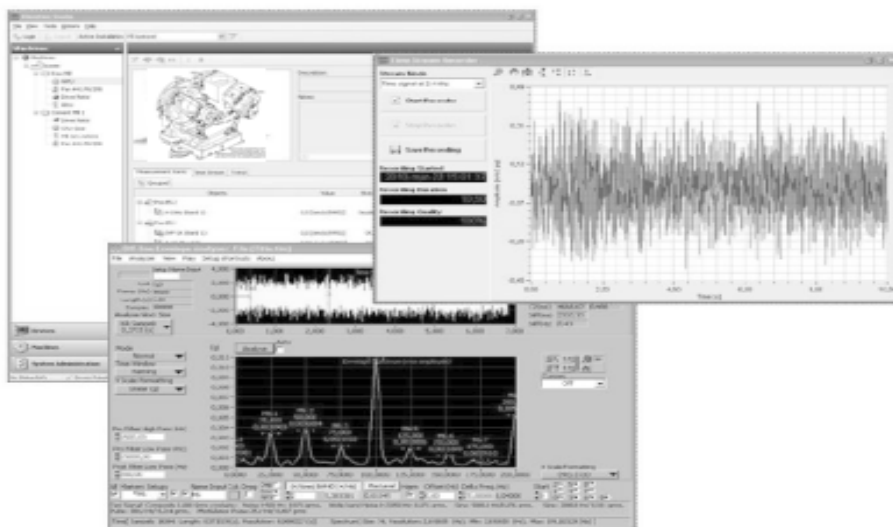


Фиг.2 Схема на разположение на точките на измерване на нивата на вибрациите: -B1R и -B3R, -B2A и -B4A – в радиално и аксиално направления на помпата.

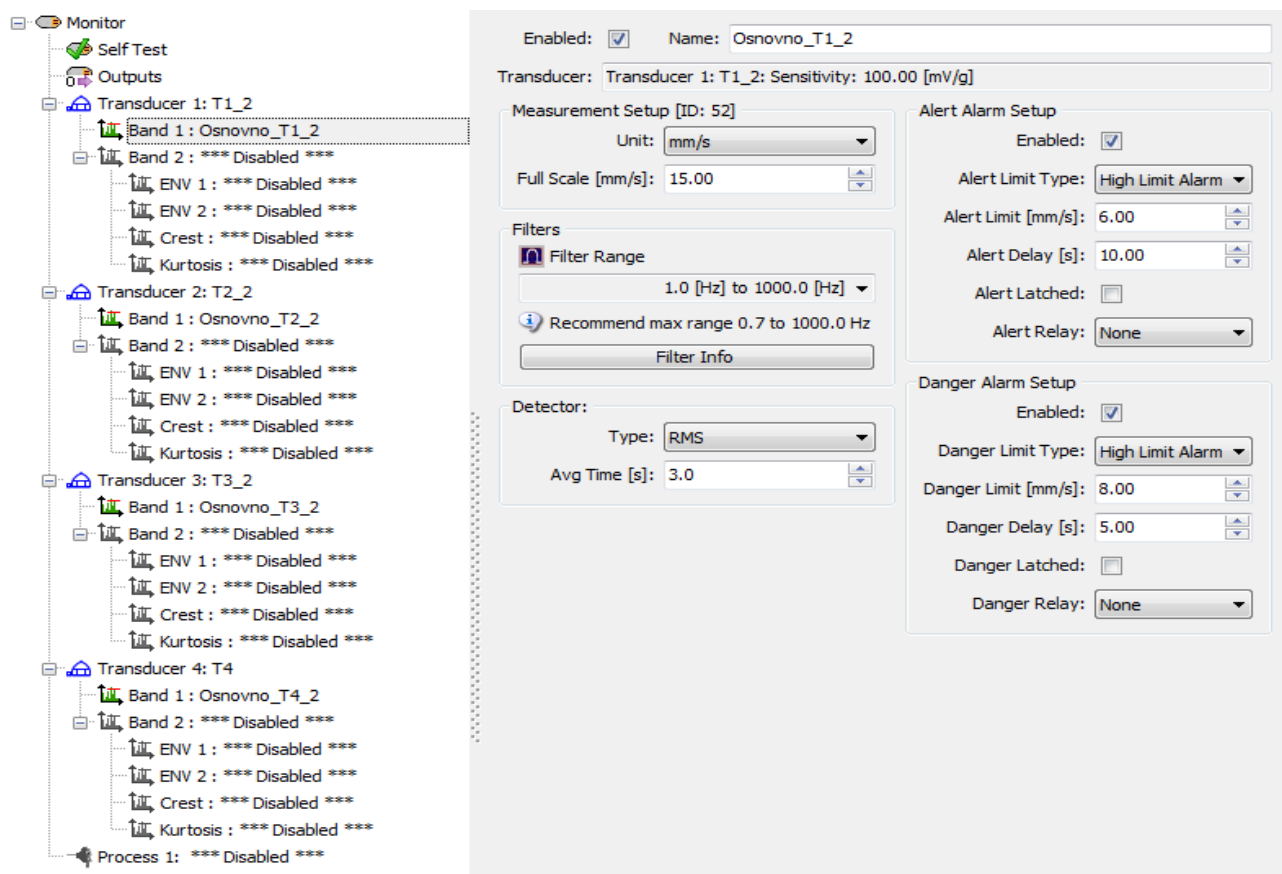
Необходимите типове кабели за свързване са: – Захранване – Гъвкав екраниран кабел LiYCY 3x0.75 мм², външен диаметър 6.3 мм -1 бр.; – Аналогови и релейни сигнали –Гъвкав екраниран кабел LiYCY 6x0.34 мм², външен диаметър 7.2 мм - 2 бр.;

Настройки на системата за контрол:

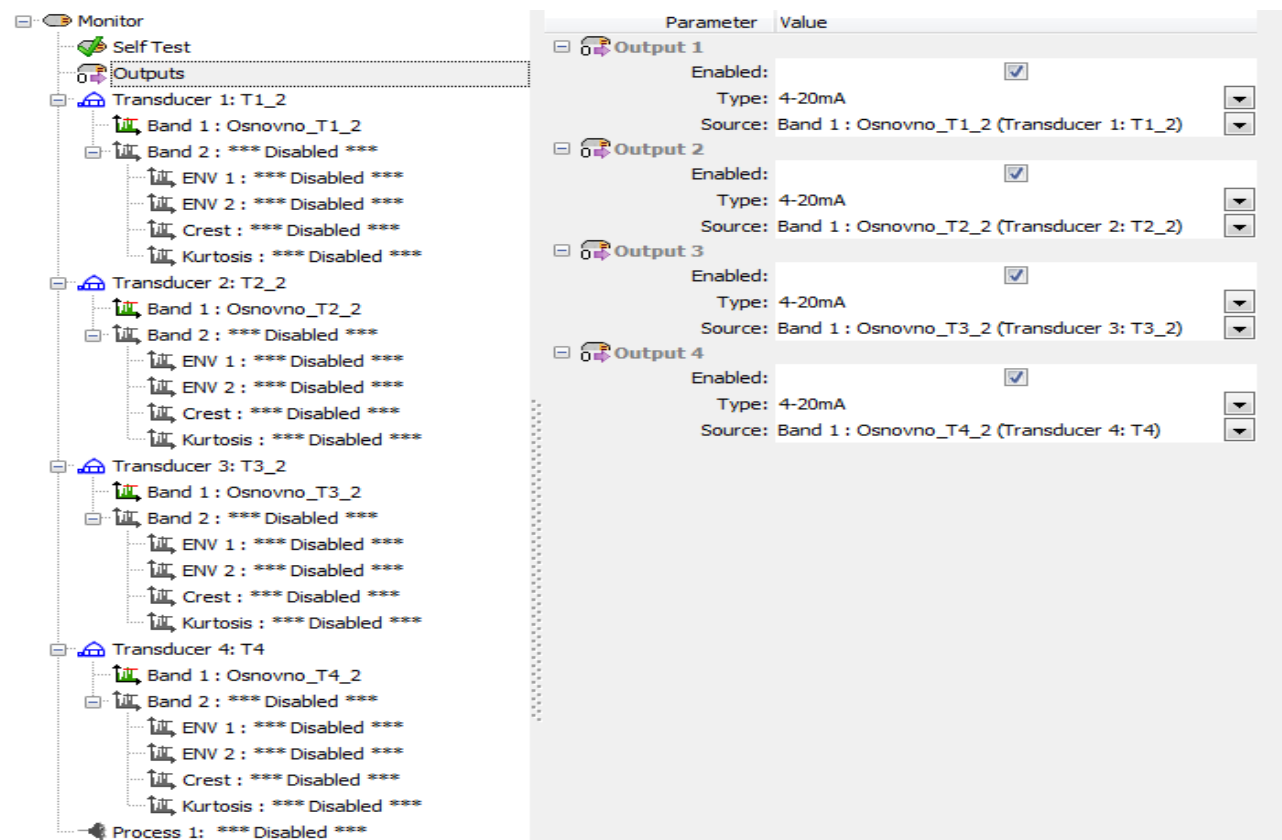
Акселерометри с типична чувствителност 100mV/g;
Измервателен обхват – до 15mm/s;
Честотен обхват – от 1 Hz до 1000Hz;
Аларми -> ВНИМАНИЕ 6mm/s, ОПАСНОСТ: 8mm/s;



Фиг.3.2 PCH Vibration Studio – основен екран, екран на визуализация на вибрациите във времето и екран на OF-Line FFT анализ.



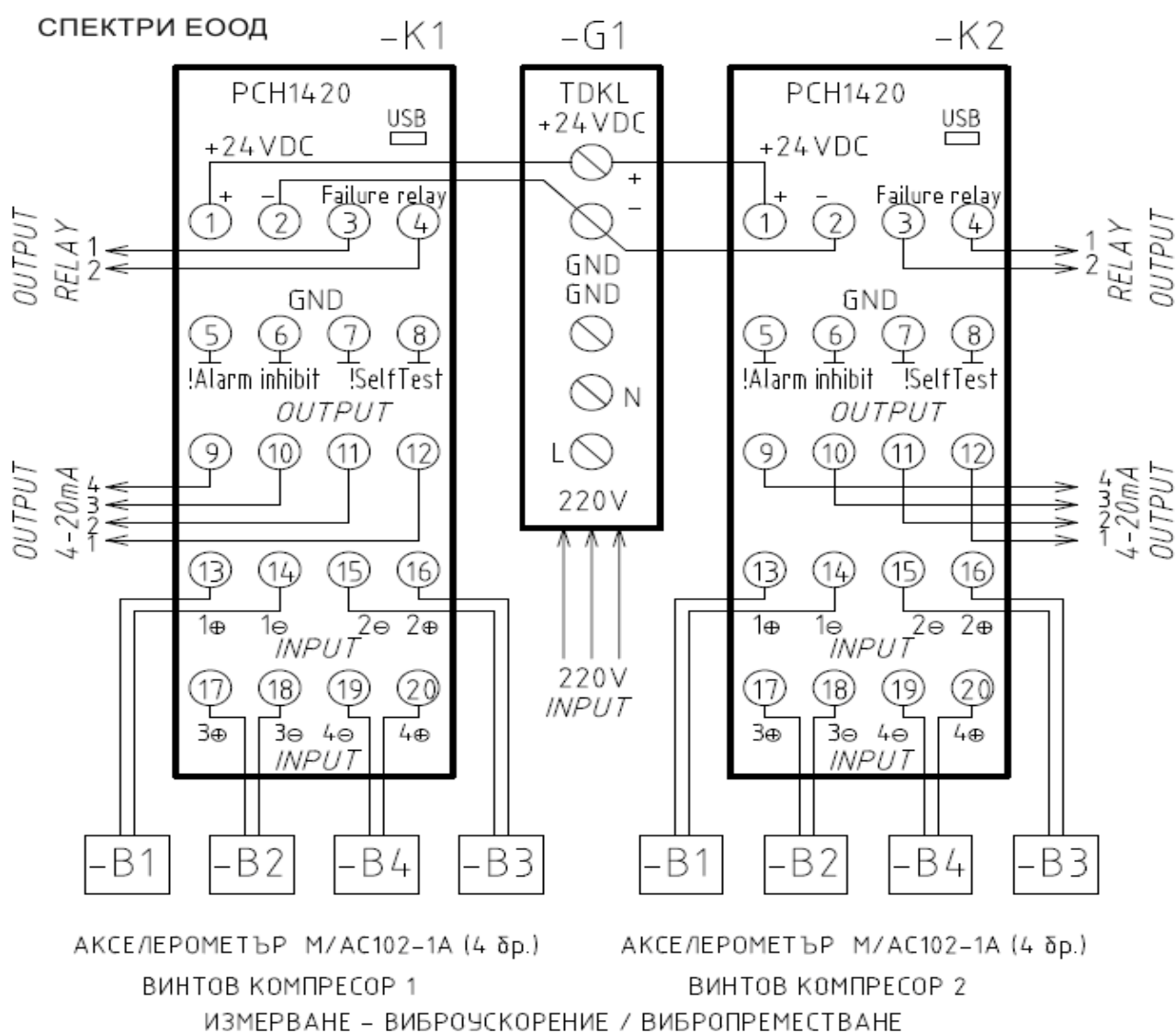
Фиг.3.1 PCH Vibration Studio - екран на настройка на измервателните канали на нива на вибрациите: T1-2, T1-2, T2-2, T3-2, T4-2



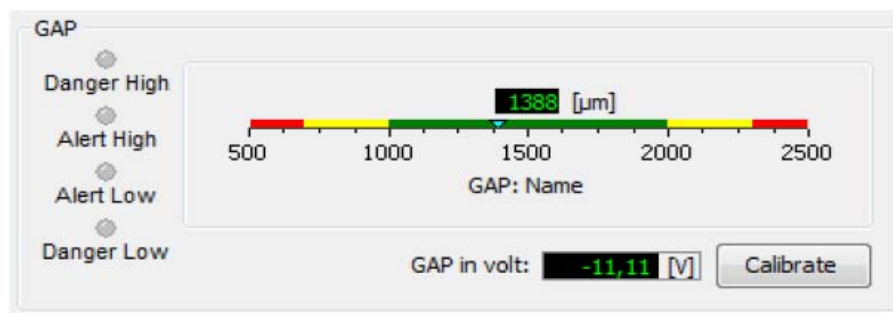
Фиг.3.3 PCH Vibration Studio - екран на настройка на аналоговите изходи на нива на вибрациите: T1-2, T1-2, T2-2, T3-2, T4-2

IEPE and Velocity transducers			
Terminal #	Function		
1	+24 VDC, main power	13	Input 1 (+)
2	Ground (GND), main power	14	Input 1 (-)
3	Failure relay 1/2	15	Input 2 (-)
4	Failure relay 2/2	16	Input 2 (+)
5	!Alarm inhibit	17	Input 3 (+)
6	Ground (GND)	18	Input 3 (-)
7	Ground (GND)	19	Input 4 (-)
8	!Self-Test	20	Input 4 (+)
9	Output 4	21	Process input
10	Output 3	22	Ground (GND)
11	Output 2	23	Tacho power
12	Output 1	24	Tacho input

Фиг. 4 Свързване на модула за мониторинг на вибрации PCH 1420 - клеми



Фиг.5 Схема на свързване на 2-та виброизмерителни модула PCH1240.



Фиг.6 PCH Vibration Studio - визуализация на нивата на вибрациите на канал

ИЗВОДИ

Конфигурираната система за постоянен вибрационен мониторинг на индустриални машини и съоръжения на базата на базата на продуктова гама за виброконтрол PCH1420 на PCH Engineering A/S е компактна и има възможност за разширение, осигурява визуализация на нивата на вибрациите на локално РС или чрез аналоговите изходи

4-20 mA/10V, а през релейния изход да подава сигнал за аларма с оглед на предприемане на действия за принудително спиране на контролираната машина.

6. Литература

- [1] www.bksv.com
- [2] www.pch-engineering.dk
- [3] БДС ISO 108161-6/2002
- [4] Наредба № 9/2010

Данни за авторите:

- (1) (2) Милчо Тодоров Георгиев, доц. (2001) д-р (1996) инж. (1986), Машиностроене и уредостроене, *Технически университет София*, МФ, катедра ОТСК. Член на УС на *Българска Асоциация за Обществен Контрол и Управление на Шума*, експерт към *СПЕКТРИ ЕООД*.
- (2) 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*.

CONFIGURATION, IMPLEMENTATION AND PRACTICAL CONCLUSIONS IN BUILDING A SYSTEM FOR CONTINUOUS VIBRATION MONITORING OF INDUSTRIAL MACHINERY AND FACILITIES

Milcho Georgiev¹⁾²⁾, Boris Mihaylov²⁾

¹⁾ TU-Sofia, 8, "Kl. Ohridski" blv., Sofia 1700, mtge@tu-sofia.bg, www.tu-sofia.bg (URL)

²⁾ SPECTRI Ltd., 30, "St. T. Turnovski" Str., Sofia 1421, spectri@spectri.net, www.spectri.net (URL)

Abstract: Summary: This paper presents the configuration of a system for continuous vibration monitoring of industrial systems and facilities, and practical system implementation based on the new product range Vibration control PCH1420 in cooperation with partner for Spectri Ltd - Vibration monitoring PCH Engineering A/S. Concept is defined in configuration PCH1420 based system, selection and location of measuring points and configuration parameters. Working evaluate the accuracy of measurement in both the control points is performed with the system PULSE Reflex 3560-B of Brüel & Kjær.

Key-Words: Vibration, Noise, Vibration and Noise measurement, Monitoring, Vibration Control

ОБУЧЕНИЕ В ОБЛАСТТА НА ШУМА И ВИБРАЦИИТЕ. ОПИТ И ПРАКТИКА В BRÜEL & KJÆR УНИВЕРСИТЕТ – ДАНИЯ И СПЕКТРИ ЕООД

Борис Михайлов¹⁾

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

Резюме: В този документ се дава обща информация относно редовната програма по обучение на специалисти в областта на шума и вибрациите – в Brüel & Kjær Университет – Дания и СПЕКТРИ ЕООД.

Ключови думи: шум, вибрации, обучение.

1. Обзор:

Brüel & Kjær Университет се формира през последните години като международен център на компетентност в областта на шума и вибрациите. Университетът разполага с водещи експерти в областта – от фирма Brüel & Kjær и Технически Университет – Копенхаген. Университетът провежда ежегодни дистанционни и квалификационни курсове в областта на акустиката и вибрациите.

2. През 2014 г., програмата на Brüel & Kjær Университет включва:

2.1. Дистанционно и квалификационно обучение в Университета на Brüel & Kjær, с основни тематични направления:

а. Акустика:

- Стандарти;
- Измервания – теория и практики;
- Акустична холография и формиране на лъча;
- Звуков интензитет;
- Програмиране с PULSE Visual Basic;

б. Вибрации:

- Вибрационни измервания;
- Вибродиагностика;
- Модален и операционен анализ;
- Човешки вибрации;
- Вибрационни изпитания и контрол с вибрационни системи (тела);
- Основи на вибрационни изпитания при случайни вибрации;
- Основи на вибрационни изпитания при ударни вибрации;
- Основи на вибрационни изпитания при синусоидални вибрации;

в. Управление на шум и вибрации

- Мониторинг на шум в околна / битова / работна среда
- Основни платформи за измерване и анализ;
- Мониторинг и управление на шум в околната среда;
- Предсказване на шум в околната среда;
- Шум в работна среда;
- Строителна акустика;

- Архитектурна акустика;

г. Измервания и анализ на сигнали

- Измерване на шум и вибрации – теория и практики;
- Разрешаване на шумови и вибрационни проблеми;
- Акселерометри и микрофони;
- Структурен анализ;
- Електроакустика;
- Определяне източници на шум;
- Звукова мощност;
- Качество на звука;
- Изпитване на материали;
- Система PULSE;
- Ядрото PULSE Reflex;
- Платформи 2250/2270;
- Основни приложения и стандарти;

д. Услуги:

- Калибриране;
- Експертизи;
- Моделиране и предсказване;

Type	Title	Duration	Date	Location	Country	Price
	Introduction to Noise Measurements	1/2 Day	05 Aug 2014	North Ryde, Sydney	Australia	FREE
	Introduction to Environmental Noise	1 Day	06 Aug 2014	St Kilda, Melbourne	Australia	Free
	Environmental Noise Training	2 Days	19-20 Aug 2014	North Ryde, Sydney	Australia	AUD 1,100 + GST
	Introduction to Noise Measurements	1/2 Day	02 Sep 2014	North Ryde, Sydney	Australia	FREE

Фиг. 1 Някои от 2014 обучителни курсове на Brüel & Kjær Университет, източник www.bksv.com

3. Уебинари на Brüel & Kjær Университет:

Описаните по-горе тематични направления са частично достъпни като уебинари (повечето безплатни). Присъстващите на уебинарите не полагат изпит и не получават сертификат за преминато обучение в Brüel & Kjær.

Title	Date	Language	Instructor	Price
Engineering Test Services	25 Jul 2014 17:00 25 Jul 2014 23:00	English	Andrea Fryx	Free
Vibration Transducers	04 Aug 2014 16:00 04 Aug 2014 23:00	English	Doug Lovelace	Free
PULSE Reflex Core	08 Aug 2014 16:00 08 Aug 2014 23:00	English	Jason Kurie	Free
Order Tracking	15 Aug 2014 16:00 15 Aug 2014 23:00	English	Robert Trepanier	Free
Single and Dual Plane Dynamic Balancing	18 Aug 2014 16:00 18 Aug 2014 23:00	English	Robert Trepanier	Free
Angle Analysis Domain	22 Aug 2014 16:00 22 Aug 2014 23:00	English	Scott Hunt	Free
Envelope Analysis	25 Aug 2014 16:00 25 Aug 2014 23:00	English	Robert Trepanier	Free
Stationary and Run-up ODS Analysis and Animation	29 Aug 2014 16:00 29 Aug 2014 23:00	English	Robert Trepanier	Free
Brüel & Kjær Modal Analysis Solution	08 Sep 2014 17:00 08 Sep 2014 23:00	English	Doug Lovelace	Free
PULSE Reflex Model	12 Sep 2014 17:00 12 Sep 2014 23:00	English	Doug Lovelace	Free

Фиг. 2 Някои от 2014 уебинари на Brüel & Kjær Университет, източник www.bksv.com

4. Сертификация в Brüel & Kjær Университет:

През 2013 г. в Университета на Brüel & Kjær бяха сертифицирани в основни направления в акустиката и вибрациите, над 300 специалисти от цял свят.

5. Сътрудничество на Brüel & Kjær Университет със СПЕКТРИ ЕООД:

Като стратегически партньор за Балканите, СПЕКТРИ ЕООД предлага допълнително разширение и локална насоченост на глобалната програма за обучение и сертификация на Brüel & Kjær. СПЕКТРИ ЕООД организира по заявка обучителни и квалификационни курсове в България и Балканския регион. Обучението е в тясно сътрудничество с ръководството на Brüel & Kjær Университет.



Фиг. 3 Изглед от курс на обучение на СПЕКТРИ и Brüel & Kjær

Данни за авторите:

- (1) Борис Борисов Михайлов, Sound and vibration qualified expert (2001), инж.(1994), Електроника, Технически университет София, Brüel & Kjær University (2001). Съпредседател *Българска Асоциация за Обществен Контрол и Управление на Шума*, Управител СПЕКТРИ ЕООД.

NOISE AND VIBRATION EDUCATION. EXPERIENCE AND GOOD PRACTICE – BY BRÜEL & KJÆR UNIVERSITY – DENMARK, AND SPECTRI LTD. - BULGARIA

Boris Mihaylov ¹⁾

¹⁾ SPECTRI Ltd., 30, “St. T. Turnovski” Str., Sofia 1421,
spectri@spectri.net, www.spectri.net

Abstract: In the recent document, one could find general information re. regular educational programme in noise and vibration field – maintained by Brüel & Kjær University – Denmark, and SPECTRI Ltd. – Bulgaria.

Key words: noise, vibrations, education

6. Изводи:

Поддържайки ролята си на световен лидер в областта на шума и вибрациите, Brüel & Kjær и СПЕКТРИ ЕООД активно и систематично развиват собствена програма за обучение и сертификация (чрез активно сътрудничество с Brüel & Kjær университет, както и Техническите Университети в Копенхаген и София). Основни акценти биват поставяни върху:

- Актуални постижения, теория и стандарти в областта на шума и вибрациите;
- Практически опит и работа с оборудване и инструментариум от най-висок световен клас;
- Разглеждане на опита и добрите практики за измервания, диагностика и анализ на професионално ниво и качество без компромис;
- Споделяне на собствени и световни постижения, ноу хау и нововвъдения.

Brüel & Kjær и СПЕКТРИ ЕООД планират и занапред постоянно и организирано да продължават със стремежа си да се развиват като световен и национален център на компетентност в областта на шума и вибрациите.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Интернет базирана информация: Вж. www.SPECTRI.net.
- [2] Интернет базирана информация: Вж. www.BKSV.com;
- [3] Информация за провеждани курсове и уебинари от Brüel & Kjær Университет.

	АКУСТИКА Национална конференция "Акустика 2014"	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ НА СИСТЕМИТЕ ЗА КАЛИБРИРАНЕ И ПРИЛОЖИМОСТТА НА МЕЖДУНАРОДНИТЕ СТАНДАРТИ

Милчо Георгиев ¹⁾, Татяна Георгиева ²⁾

^{1) 2)} ТУ-София, МФ, mtge@tu-sofia.bg, www.tu-sofia.bg (URL)

²⁾ СПЕКТРИ ЕООД, ул. „Св. Теодосий Търновски“ 30, София, 1421, office@spectri.net, www.spectri.net

Резюме: В този документ се представят и анализират системите за първично и вторично калибриране базирани на Type 3630 на Brüel & Kjær и приложимостта на международните стандарти за калибриране на шумомери, октавни филтри, микрофони и акустични анализатори съгласно IEC 60651, IEC 60804, IEC 61094, IEC 61672.

Ключови думи: Калибриране, системи за калибриране на шумомери, микрофони.

1. Въведение

Единиците за измерване са сред първите инструменти измислени от хората и са станали все по-необходими. Необходимостта за сравними, точни и прецизни измервания доведе до стандартизация и вследствие на това нарастваща нужда за калибриране. Калибрирането е фундаментална стъпка в процеса на измерване. То гарантира, че инструментът, използван за изпитване показва точно необходимият параметър за измерване и че уредът отговаря на неговата спецификация. Стандарта ISO 10012-1 дефинира като калибриране "Операции, които установяват, съгласно определени условия, отношенията между стойностите, отчетени от даден измервателен инструмент или измервателна система, или стойностите, представени от материална мярка, или референтен материал, и съответните определени количествени стойности реализирани с позоваване на стандарт". Възможност за проследяване на измервателната верига.

Проследяването е основен принцип във всеки вид калибриране. Проследимостта на измерване описва как се постига резултата на калибриране - обикновено се базира на сертификат за калибриране - може да бъде проследен чрез веригата от калибрания на измервателното средство по стандарта за калибриране. Калибрирането е в основата на сравнение между измервания - едно с известна несигурност се прави с едно устройство и друго измерване се направено по подобен начин с второ устройство, мярка или устройство, което се изпитва. Устройството с известна несигурност - "Истинската стойност" - се нарича стандартна. Измерването може да бъде проследено обратно към международните стандарти чрез непрекъснатата верига от измервания с известни несигурности. Резултатът от такава метрологична проверка е решение за съответствие, последвано от връщане към използване или на неспазване, последвано от корекция, ремонт или бракуване на устройство.

2. Изложение

Акредитирано калибриране на измерването е необходим инструмент, когато се изисква официално признаване на трета страна за калибриране. Акредитираното калибриране е проследимо до националните институти по метрология.

Калибрационна система на шумомери (SLM) Type 3630-A (Вторично калибриране)

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 центрове за калибриране. Type 3630-A, се основава на преносимия PULSE™ мултианализатор, които, 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 и съответното ANSI 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. Проследяване и контрол над калибрационните интервали по стандарт и на инструментите, използвани от системата се улеснява от софтуера на калибрационния мениджър, който включва база данни на клиенти и инструменти. Измервателната верига е гарантирана от интегриран цифров волтметър DMM Agilent 34970 и Brüel & Kjær Type 4226 мултичестотен калибратор. Тип 3630-A е част от калибрационната платформа Type 3630. Основава се на силно изразен модулен хардуер / софтуер концепция с PULSE мултианализатора, предлага множество различни приложения за калибриране. Модулност на платформата дава максимална гъвкавост на измерване, многофункционална система може да се разделя на отделни системи по натовареност или организационни изисквания.

Системата включва и персонализирани приложения като хидрофони, фазово калибриране или калибриране на микрофони за високо налягане.

Калибрационна платформа Type 3630 с калибрационен софтуер Type 7792 на дозиметри на шум (вторично калибриране).



Фиг.1 Калибрационна система Type 3630.

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 и ANSI S1.25. 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 добавките за несигурност за улесняване на акредитацията за нуждите 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** на калибратори (вторично калибриране).

Платформа Type 3630 със софтуер за калибриране Type 7794 е инструмент за извършване на автоматизирани периодични тестове на калибратори в съответствие с IEC 60942. Софтуерът извършва калибриране на избран между една честота 250 Hz и 1000 Hz, както и многостепенното акустично налягане в обхвата на 94 dB до 124 dB. Софтуерът е базиран на метод на сравнение като се използва Brüel & Kjær Pistonphone 4228 като стандартен източник на сравнение на ниво на звуково налягане. Системата включва база данни на текущите BRÜEL & KJÆR типове филтри, включително ниво на шума и способен на анализ на честотата. Нови видове филтри могат да бъдат въведени и свързаните с тях с параметри на обхвата, необходими за тяхното дефиниране. Процедурите за калибриране за Brüel & Kjær акустични калибратори Видове 4220, 4228, 4230 и 4231 са предварително дефинирани в софтуера, който също позволява добавянето на нови видове инструменти и процедури за калибриране. Осигурени са добавките за несигурност за улесняване на акредитацията нуждите на лабораторията (ISO 17025) и се генерират доклади за калибриране автоматично да се намали риска от човешки грешки.

СИСТЕМА Type 9699 ЗА РЕЦИПРОЧНО КАЛИБРИРАНЕ НА МИКРОФОНИ (Първично калибриране)

Тази Brüel & Kjær система за калибриране (Microphone Reciprocity Calibration System) е предназначена за националните институти по метрология и други лаборатории с високо ниво. Системата е предназначена за рутинни измервания, които могат да бъдат създадени, за да се отговаря на изискванията на потребителя. Системата може да работи в "нормална" лабораторна среда, без

специфични предпазни мерки по отношение на фонов шум и вибрации. Това е възможно, тъй като мерките за системни селективно на честотата на работа и използва камера за измерване на зададените микрофони, което потиска фонов шум от обикновено 30 dB.

Въпреки това, също така е много гъвкава система, която може да се използва за калибриране и изследвания. Лабораториите за първично калибриране, центрове за услуги за калибриране и по-големи организации със собствените им средства за калибриране имат възможност да направят бърз и точен трансфер на измервания със свързани микрофони.

Многократно-честотно калибриране е осъществим вариант, тъй като времето е ограничено. Камерата се подготвя за херметизация (+ -0.15 Бар), и дава възможност да се калибрират микрофони при дадено налягане в околната среда, което се случва във всеки друг национален институт по метрология в света. Тази функция намалява несигурността при международно сравнително калибриране, което често се организира от BIPM и регионално калибриране между организации.

Метод на реципрочно калибриране

Методът на реципрочност на калибриране описан в IEC 1094-2, се използва за определяне на чувствителността на налягането на микрофона.

Методът изисква три реципрочни микрофони. Въпреки че това е не нужна добра практика за калибриране, обикновено включва един предварително калибриран микрофон в микрофонната верига.

Микрофоните се използват по двойки като източник на звук и като приемник. В калибрационната установка те са свързани заедно чрез въздухът вътре в малка кухня.

Трите трансферни импеданси (приемник на изходното напрежение, разделено предаване входен ток) се измерват и се използват за изчисляване на чувствителност на трите микрофони, които се калибрират. Възпроизводимостта на измерванията е по-добре от 0,01 dB и 95% диапазони ниво на доверие от 0,3 dB до около 0,40 dB в зависимост от типа микрофон и честотата.

Калибрирането обикновено се изпълнява в диапазон 20Hz до 25 kHz, но той може да бъде удължен до по-ниски или по-високи честоти.



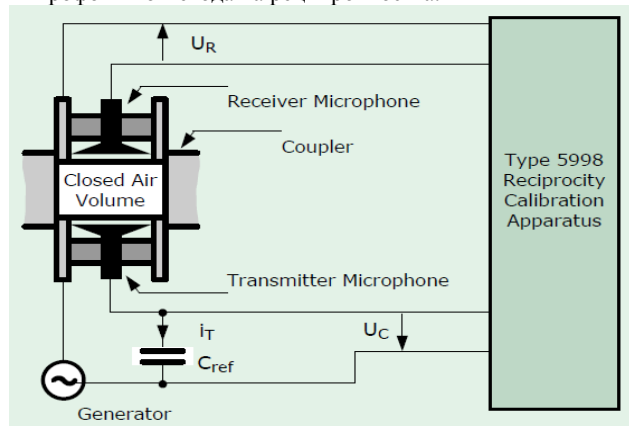
Фиг.2а Система за реципрочно калибриране на микрофони

Системата за реципрочно калибриране Type 9699 се основава на апаратурата за реципрочно калибриране Type 5998, заедно с набор от стандартни хардуерни компоненти:

- <> Апаратура за реципрочно калибриране Type 5998;
- <> PULSE Analyzer Type 3560;
- <> Контролиращо РС.

В системата са включени две РС програми, една за контрол измервания, а другата за изчисленията за чувствителност съгласно IEC 1094-2. Апаратурата за реципрочно калибриране Тип 5998 се експлоатира лесно с

високо точност и висока стабилност, инструмент предназначен за прецизно калибриране на кондензаторни микрофони по метода на реципрочността.



Фиг.26 Схема за реципрочно калибриране на микрофони

Апаратурата определя електрически прехвърлянето на импеданс, както е описано в IEC 1094-2, и може да се калибрират микрофони които отговарят IEC 1094-1, лабораторни стандартни микрофони.

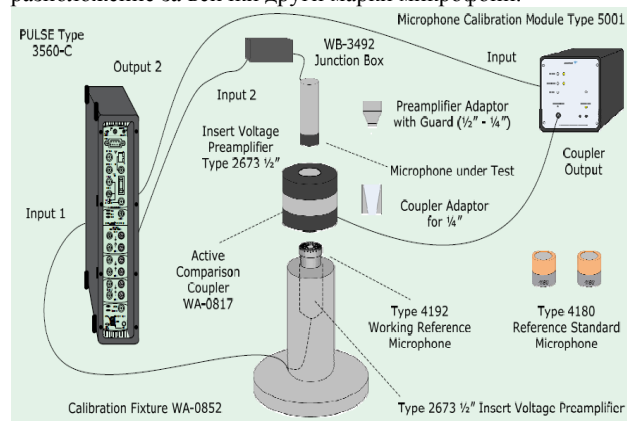
Използването на Type 5998, за единично калибриране на микрофон 1" може да се получи точност приблизително $\pm 0,05$ dB.

За допълнително увеличение на точността, повторно калибриране може да бъде направено при различно свързване. Това позволява определяне на общия обем заедно с други параметри на микрофон чрез един повтарящ се процес, давайки сходни резултати и позволява възпроизводимост от $\pm 0,02$ dB за реципрочно калибриране на LS1P (Тип 4160) и LS2aP (Тип 4180) микрофони. Анализаторът на PULSE осигурява способността на системата за повторяемост на резултатите от измерванията на реципрочност, освен това тя разкрива калибриране за нискочестотна реципрочност (2 Hz до 20 Hz) и за калибриране фазов отклик от реципрочност. Точността на калибриране на реципрочност на микрофон зависи отчасти от самата система и отчасти на уменията и опита на персонала, който работи със системата. Brüel & Kjær.

Калибрационна система на микрофони Type 9721 (Вторично калибриране)

Система Type 9721 е с общо предназначение (Microphone Calibration System) за калибриране на микрофони, без или с предусилватели в съответствие с IEC61094-4, -1 и други стандарти. Тя се основава на Brüel & Kjær мултианализираща система Type 3560 (PULSE), какъвто е случаят и за други Brüel & Kjær калибриращи системи за звук и вибрации. По този начин е възможно да се използва само една система тип PULSE за калибриране на микрофони, звукови калибратори (Type 7794), шумомери (Type 3630), акселерометри (Type 3629) и опция за калибриране микрофони, като измерване на динамична линейност (94 dB – 174 dB) и калибриране на сравнение на фазова реакция. Тази вторична система за калибриране може да калибрира много различни типове микрофони, но се нуждае от поне един референтен стандартен микрофон, който е калибриран чрез друга система, обикновено първична система за калибриране. Първично калибриране на микрофон може да се извърши с B & K Type 9699, от съответен Национален институт по метрология, Институт и от други лаборатории от по високо ниво. Системата може да калибрира измервателни и лабораторни стандартни микрофони от често използваните модели и марки,

включително тези, които отговарят на IEC 61094-4 стандарти (Работени стандарти) и 61094-1 (Лабораторни стандарти). Микрофони с нестандартни размери могат също да бъдат калибрирани, но те могат да изискват допълнителни нестандартни механични аксесоари. Чувствителността на микрофона се калибрира чрез сравнение с този на базисен микрофон, който принадлежи към системата. Двата микрофони са изложени на същото звуково налягане в активния куплунг при сравнение, който съдържа източник на звук. Като цяло, отворената верига на чувствителност се измерва с помощта на добавено напрежение (техника (описана в IEC61094-1), но чувствителността на микрофона и свързания предусилвател могат също се измерват. Честотата при измерване може да бъде зададена на 250 Hz (252.2 Hz) или 1000 Hz. Измерената чувствителност е валидна при условията на околната среда, които съществуват по време на измерването, условията на измерване дефинират корекция за влияние на околната среда - налягане, температура и влажност върху Референтния микрофон, като системата ще изчисли чувствителността при справка за условия (101,325 kPa и 23° C), ако коефициенти за налягане и температура са на разположение за вида на микрофон се калибрира. Такива данни е условие за B & K микрофони, но не може да бъде на разположение за всички други марки микрофони.



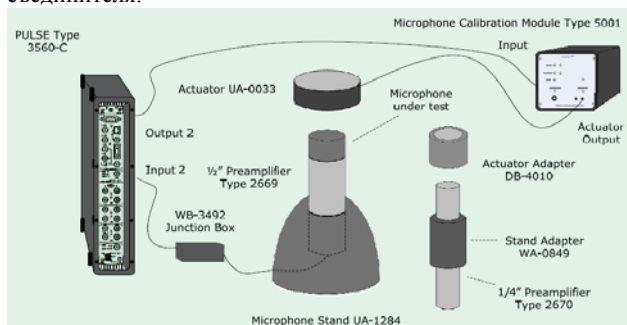
Фиг.3 Типове микрофони – структурна схема на калибриране

Честотната характеристика се определя чрез използване на електростатичен актуатор (IEC61094-6). Това е широко използван инструмент, който в продължение на много широка честотен обхват може да симулира постоянно звуково налягане на диафрагмата на микрофона. Актуаторното измерване е относително измерване. Резултатите се нормализират при измерването на чувствителност при зададена честота (референтна честота), 250 Hz (251,2 Hz) или 1000 Hz. В зависимост от вида и използването на микрофона, в свободно поле или дифузно поле, могат да бъдат добавени корекции за Brüel & Kjær микрофони за постигане на типа дадена честотна реакция. За калибриране на микрофони на други производители са необходими съответните коефициенти на корекции за микрофоните.

Система за сравнително калибриране на микрофони Тип 9721 със приложен софтуер WT9651 и съединителни приспособления WA1544/WA1545 (Phase Response Comparison Calibration)

Системата е предназначена за фаза – големина на реакция на сравнително калибриране на комплекта от половин инч и четвърт инч микрофони, използвани за измервания на звукова интензивност. Муфи, адаптери и друг хардуер на системата използвани за Brüel & Kjær микрофони, но може

също да се използва и с други микрофони, които имат подобни размери и електрически терминали. При микрофони с различни размери може да изискат допълнителни приспособления за монтажа им и за оптимална производителност на системата. Тази система за калибриране на интензивност е, подобна на други Brüel & Kjær звукови и вибрационни калибраторни системи, базирани на мултианализираща система PULSE. PULSE прави обща основа на тази и други системи, докато специфичните софтуер и частите, необходими за определен вид калибриране съставляващи модули. Измерванията са контролирани от "PULSE Project" и от специална Visual Basic програма WT9651. Резултатите при калибрирането се изчисляват, съхраняват, презентират и отпечатват в Microsoft Office. Звуковият интензитет, обикновено се измерва с комплект микрофони чувствителни на налягане. Комплектът се състои от два микрофони с фазови характеристики които са по същество еднакви. Необходима е еднаквост в микрофоните, тъй като дори малки разлики на реакция на фазата може да доведе до значителни грешки при измерената интензивност. Системата елиминира влиянието на собствената си фаза и да се получат отклонения чрез метод, който включва две измервания, където двата микрофона са разменени между техните позиции. Разликата в реакцията на фаза се измерва с PULSE анализаторът като измерване на 2-канала, докато и двата микрофони са изложени на същото звуково налягане чрез разклонител, който е специално проектиран за целта, или, в определени случаи, чрез използване на два електростатични актуатора. Когато се свързват за калибриране, диафрагмите на двата микрофона и техните отвори са изложени на звуково налягане. Съединеният метод на калибриране е "нормално" означение. Той отговаря на най-често срещаните ситуации на употреба, микрофона, където се използват микрофоните с ръчна сонда на интензивност. Когато електростатичните актуатори се използват за калибриране, само диафрагмите на микрофона са изложени на (симулирано / електростатично) налягане. Ето защо, звук не преминава през вентилационните отвори към вътрешния микрофон и в задната част на мембраните, и, следователно, честотната реакция на микрофоните се различава от тази, получена със съединител. Методът на свързване с актуатор е полезно в специфични случаи: – Може да се използва, когато отворите на микрофона отслабват звука, който преминава през него, до задната част на диафрагмата (примери: при високи честоти и със специфични видове микрофони); – Когато отворите на микрофоните не са изложени на звук при нормална употреба; – Когато калибриране се извършва над горната граница на съединителя.



Фиг.4 Схема на калибриране - Phase Response Comparison Calibration

Сравнително калибриране с муфа.

Сравнително калибриране със муфа е най-честият начин

на изпълнение на калибриране фазата на микрофона. Муфите WA1544/W4545 са предназначени за калибриране на комплекта половин инчови и четвърт-инчови микрофони. Те просто затварят тялото на двата калибрани микрофони в тяхната кухня. Това води до доста големи свързани кухни и, като цяло, до ниска горна честотна граница на свързване. Въпреки това, конкретните проекти на Brüel & Kjær муфи дават еднакво налягане разпределено в кухнята над широк честотен диапазон и ги прави приложими от 20 Hz до 12,5 kHz и 20 Hz до 20 kHz с половин инч и четвърт-инчови микрофони съответно. Brüel & Kjær половин инчови микрофони на интензивност работят с четвърт инчови предусилватели. Половин инч муфата са предназначени за тези микрофони. За сметка за калибриране на други микрофони, също половин инч съединителни адаптери се доставят с муфа. Четвърт инчова муфа за четвърт инчови микрофони и предусилватели.



Фиг.5 Калибриране - Phase Response Comparison Calibration

Сравнително калибриране с актуатор

Калибрирането на микрофони, използвайки електростатичен актуатор се използва широко в лабораторни методи за определяне на честотната реакция, характеристики на измервателните микрофони. Задвижването на актуатора произвежда електростатичен сила, която симулира на звуковото налягане, действащо върху диафрагмата на микрофона. В сравнение със звуково базираните методи, методът на задвижване има голямо предимство - той осигурява прости средства за генериране на добре дефинирано калибрационно налягане в широк честотен обхват без използване на специални съоръжения на акустична лаборатория.

Въпреки това, методът на задвижка с актуатор не може да се използва за определяне на чувствителността на микрофона, като абсолютна точност не е достатъчно висока. Следователно, калибриране чрез задвижка чрез актуатор на честотна реакция в повечето случаи, е в съчетание с абсолютно калибриране на чувствителността, на еталонна честота. Това може да бъде извършено с помощта на пистонфон, звуков калибратор на ниво или други средства.

3. ИЗВОДИ

На базата на калибрационната платформа Type 3630 с добавяне към нея на посочените по горе хардуер и софтуер за калибриране на микрофони може да се комплектува една комплексна система за вторично калибриране съгласно посочените стандарти, която да намери комплексно приложение в калибрационните лаборатории.

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] Стандарти IEC 60651, IEC 60804, IEC 6172.

Данни за авторите:

- (1) Милчо Тодоров Георгиев, инж., ТУ-София (1986), д-р (2001), доц. (2004), ОТСК, МФ, ТУ-София. Конструирание, средства за измерване и мониторинг на шум и вибрации.
- (2) Татяна Иванова Георгиева, Sound and vibration expert (2010), инж.(2001), Машиностроене и уредостроене, Технически университет София, Brüel & Kjær University (2010), Технически експерт в *СПЕКТРИ ЕООД*.

**OVERVIEW AND COMPARISON OF CALIBRATION SYSTEMS AND
THE APPLICABILITY OF INTERNATIONAL STANDARDS**

Milcho Georgiev ¹⁾ Tatiana Georgieva ²⁾

¹⁾ TU-Sofia, 8, Kl. Ohridski str., mtge@tu-sofia.bg, www.tu-sofia.bg (URL)

²⁾ SPECTRI Ltd., 30, “St. T. Turnovski” Str., Sofia 1421, office@spectri.net, www.spectri.net

Abstract: This paper presents and analyzes systems for primary and secondary calibration based on a Type 3630 Brüel & Kjær and applicability of international standards for calibration of sound level meters, octave filters, microphones and acoustic analyzers according to IEC 60651, IEC60804, IEC 61094, IEC 61672.

Key words: Calibration, systems for calibration of sound level meters, microphones

	АКУСТИКА Национална конференция "Акустика 2014"	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

ЧИСЛЕНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СОБСТВЕНИТЕ ЧЕСТОТИ И ФОРМИ НА КОНСТРУКЦИИ НА ЗВУКОВ АБСОРБЕР С МЕЖДИННИ ПРЕГРАДИ

NUMERICAL DETERMINATION OF NATURAL FREQUENCIES AND MODES OF SOUND ABSORBERS WITH MEDIAL PARTITIONS

маг.инж. А. Пискова
a_piskova@tu-sofia.bg

проф.д-р инж. И. Кралов
kralov@tu-sofia.bg

доц. д-р инж. К. Неделчев
krasined@tu-sofia.bg

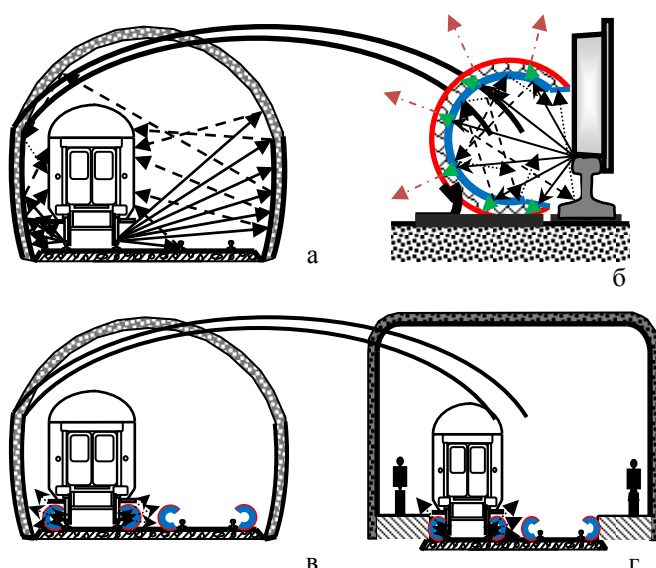
катедра „Механика“, Технически университет – София, България

Abstract: In this work numerically determining of the natural frequencies and modes of the structures of prototype acoustic absorber with a length of 10 times the base size is made. Absorber to reduce the noise of rail-wheel contact in the movement of railway vehicles in residential areas and areas of railway stations is designed. Verification of the experimental and numerical study of a prototype of an acoustic absorber with a length of 0.69 meters was carried. After analyzing of the results, conclusions about the impact of the structural features of the prototypes of the sound absorber on its natural frequencies and modes is done.

Keywords: acoustic noise, railway track, numerical modeling, natural frequencies.

1. Въведение

В редица изследвания е установено, че шумът от контакта колело-релса, се предизвиква от структурните трептения на колелото, релсата, свързващите елементи на железният път, както и от грапавостта на контактната площ между колелото и релсата [3, 4]. Основно влияние върху генерирането на шум при движението на жп състав имат: грапавостта, видът на спирачната система, състоянието на колоосите и релсите (цикличността при поддръжката), контактната площ, броя на колоосите, скоростта на железопътното транспортно средство, изменението на механичните характеристики на компоненти от железния път и др. [1, 2, 3, 6, 7, 8, 9].



Фиг.1 Приложение на метода

Резултат от дългогодишни изследвания и придобит инженерен опит са довели до пакет от решения за намаляване разпространението на излъчвания шум при движение на релсовите транспортни средства. Известни са много видове патентно защитени методи за снижаване на излъчвания от контакта между колелото и релсата шум при движението на жп транспортни средства. Нов метод за абсорбиране на акустичния шум от контакта колело-релса при железопътния транспорт (фиг. 1-а) е предложен от авторите за първи път през 2011 г. [6]. Конструктивното решение улавя и абсорбира звуковата енергия (акустичния шум) в близост до източника, като за целта то се монтира в близост, успоредно на релсите. Разположението е показано съгласно фиг.1-б в железопътни гари на фиг.1-в при железопътни тунели, на фиг.1-г в метростанции.

За подобряване на конструкцията на абсорбера и неговите функционални свойства са направени редица експериментални и числени изследвания.

Целта на тази разработка е да се установи влиянието на някои конструктивни особености на абсорбера върху собствените му честоти и форми.

2. Експериментално изследване

2.1 Методика на експеримента с тонален шум

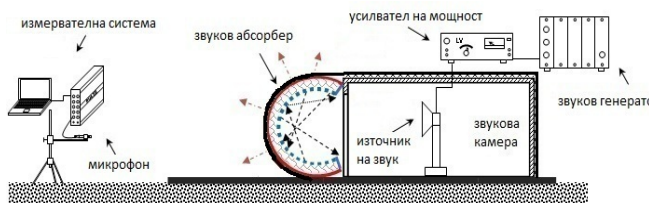
Изследването с тонален шум е акустичен метод за експериментално определяне на собствените честоти на абсорбера. Експерименталното изследване е в честотния диапазон над 45 Hz, защото при по-ниските честоти апаратурата не позволява генериране на по-високи от 60 dB стойности на нивото на звуковото налягане.

Микрофонът е разположен в непосредствена близост до абсорбера, с цел по-добро възприемане на преминалата

звукова енергия. Преди измерването е извършен софтуерен подбор на филтриращи операции. Спектралния анализ е направен при следните параметри: експоненциално Всички получени данни са обработени съгласно нормативната уредба за тариране и измервателна процедура, както и за оценяване на грешката при измерване.

Постановката за провеждане на експеримента е показана на фиг. 2 [5]. Тя се състои от три основни системи:

- 1) Източник на дифузно звуково поле - ревербационна камера (50x55x100 cm), генератор на сигнал с определена форма и амплитуда, усилвател на мощност и източник на звук (високоговорител/тонколона);
- 2) Абсорбер/заглушаващо устройство – гладка цилиндрична тръба от поливинил хлорид (PVC-U);
- 3) Измервателна апаратура и специализиран софтуер.



Фиг.2 Схема на опитната постановка



Фиг.3 Снимки на опитната постановка

2.2 Експериментални резултати от изследването с тонален шум

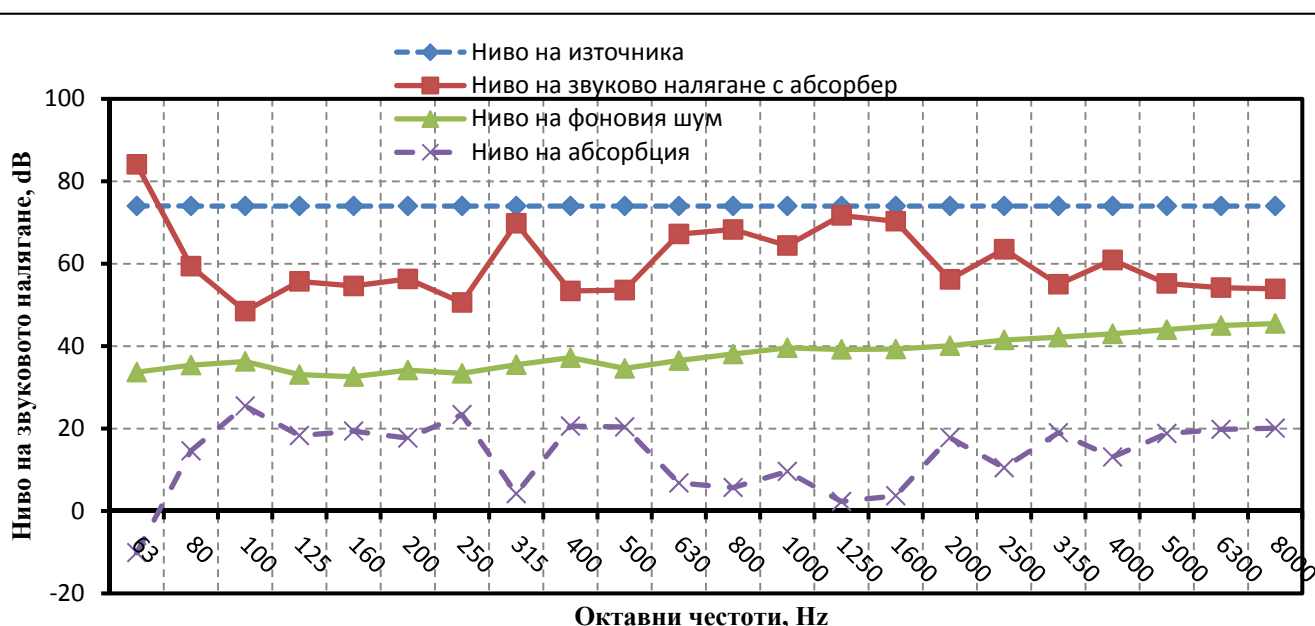
Резултатите от измерването на нивото на шума, преминал през акустичния абсорбер, са показани в табл. 1. На фиг. 4 е

усредняване при 1/3 октавен филтър; експоненциално времево усредняване с ¼ секунда със свободно тригериране; долна граница 63 Hz, горна честотна граница 8 000 Hz.

дадено нивото на звукопоглъщане при изследване на акустичният абсорбер с тонален шум. По абсцисните оси са честотите в херци, а по ординатните оси е нивото на звуковото налягане в децибели. Нивото на измереното звуково налягане без абсорбер при всички честоти показани в таблица 1 е 74 dB.

Табл.1 Резултати от експеримента

№	Октави	Фон	Без абсорбер	С абсорбер	Абсорбция
	[Hz]	[dB]	M01, [dB]	M01, [dB]	[dB]
1	63	33.7	74	84.1	-10.1
2	80	35.4	74	59.4	14.6
3	100	36.3	74	48.5	25.5
4	125	33.1	74	55.7	18.3
5	160	32.6	74	54.6	19.4
6	200	34.2	74	56.3	17.7
7	250	33.4	74	50.6	23.4
8	315	35.5	74	69.8	4.2
9	400	37.2	74	53.4	20.6
10	500	34.6	74	53.6	20.4
11	630	36.5	74	67.2	6.8
12	800	38.1	74	68.3	5.7
13	1000	39.6	74	64.4	9.6
14	1250	39.2	74	71.7	2.3
15	1600	39.3	74	70.3	3.7
16	2000	40.1	74	56.2	17.8
17	2500	41.5	74	63.5	10.5
18	3150	42.2	74	55	19
19	4000	43	74	60.9	13.1
20	5000	44	74	55.2	18.8
21	6300	45	74	54.2	19.8
22	8000	45.5	74	53.9	20.1



Фиг. 4 Ниво на измереното звуково налягане със и без абсорбер при изследване с тонален източник на шум

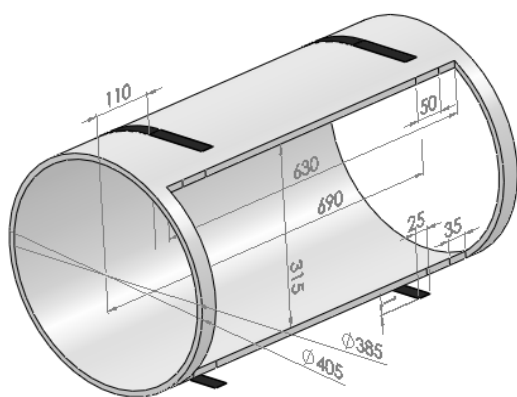
3. Числено изследване

3.1 Модел на акустичен абсорбер

Различните модели на акустичния абсорбер са начертани в среда на SolidWorks®, а числените изследвания са направени в среда на CosmosWorks® и Ansys Workbench®. При числените изследвания са изчислени собствените честоти и форми на разглежданите модели на конструкции на акустични абсорбери.

3.1.1 Модел на прототипа на акустичен абсорбер от експерименталното изследване

Модела на прототипа на акустичния абсорбер е показан на фиг. 5 и 6. Той се използва за верификация на резултатите от численото изследване. На фиг. 5 е показана формата и размерите на акустичния абсорбер, а на фиг. 6 граничните условия, при които е реализирано изследването. При численото изследване не се отчита влиянието на полиуретановата пяна CS61, с която са затворени двете страни на отворите на експерименталния образец.



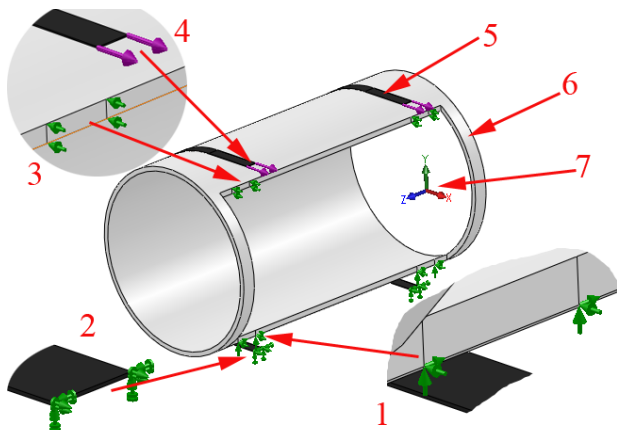
Фиг.5 3D Модел на прототипа на акустичен абсорбер от експерименталното изследване

Основните характеристики на материала, от който е направен абсорбера са:

- Модул на Юнг - $E_a = 2.04e9 \text{ Pa}$;
- Модул на Поасон - $\mu_a = 0,38$;
- Плътност на материала - $\rho_a = 1300 \text{ kg/m}^3$;

Основните характеристики на материала, от който са направени фиксиращите абсорбера ленти са:

- Модул на Юнг - $E_L = 8.6e8 \text{ Pa}$;
- Модул на Поасон - $\mu_a = 0,38$;
- Плътност на материала - $\rho_L = 1000 \text{ kg/m}^3$.



Фиг.6 Гранични условия на модела на прототипа от експерименталното изследване

1 – ограничаване на преместването по трите оси на два ръба в долната част на абсорбера. Мястото на контакт с ревербационната камера.

2 – ограничаване на преместването по трите оси на две повърхнини на долните краища на фиксиращите ленти;

3 – ограничаване на преместването по ос X по две повърхнини в горната част на абсорбера. Мястото на контакт с ревербационната камера;

4 – сила на обтягане на фиксиращите ленти ($F = 300 \text{ N}$);

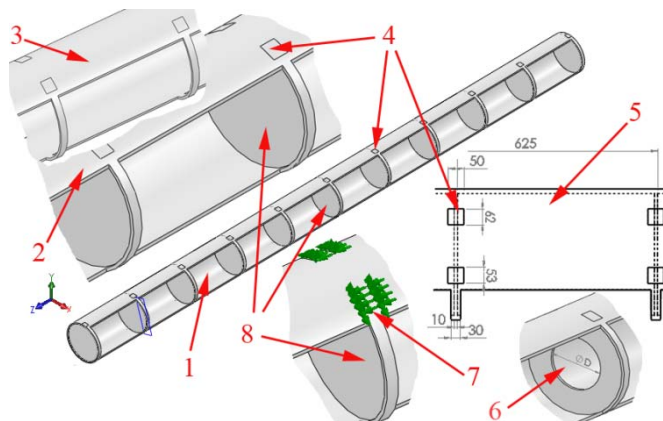
5 – фиксиращите ленти;

6 – акустичен абсорбер;

7 – координатна система.

3.1.2 Модели на прототипа за изследване на конструктивните особености на акустичен абсорбер

Модела на прототипа за изследване на някои конструктивни особености на акустичния абсорбер е показан на фиг. 7. На същата фигура са показани и граничните условия (поз.7), при които е реализирано изследването.



Фиг.7 3D Модел и гранични условия за числено изследване на акустичен абсорбер за изследване на някои от конструктивните му особености

1 – акустичен абсорбер с десет броя базови звена с преграда;

2 – базово звено на акустичен абсорбер с преграда;

3 – базово звено на акустичен абсорбер без преграда;

4 – площадки където се закрепва акустичения абсорбер към повърхността;

5 – скица с основните размери на базовото звено на акустичения абсорбер с/без преграда;

6 – междинна преграда с централен отвор с размер – D , mm

7 – ограничаване на преместването по трите оси на площадки 4. Мястото на свързване на абсорбера към повърхността;

8 – междинни прегради на акустичения абсорбер.

При изследване на конструктивните особености на акустичен абсорбер се изследват две конструкции:

- Модел без прегради с десет базови звена;
- Модел „с прегради“ с десет базови звена.

Преградите на модела са с централен отвор или без отвор. Изследват се девет варианта на радиуса на отвора (Табл. 3 и 4).

Основните характеристики на материала, с които се реализират числените изследвания са аналогични на материалните характеристики на прототипа на акустичен абсорбер представен в т.3.1.1.

3.2 Резултати от численото изследване

3.2.1 Числени резултати от изследването на прототипа на акустичен абсорбер за експериментално изследване

Резултатите от численото изследване на прототипа на акустичния абсорбер за експериментално изследване са представени в таблица 2.

В колона 2 от табл. 2 са представени резултатите от численото изследване на прототипа на акустичен абсорбер за експериментално изследване, а в колона 3 резултатите от експерименталното изследване [10]. В последната колона е представена грешката между численото и експерименталното изследване. На последните два реда от таблицата е посочена една и съща експериментална честотата, тъй като не може да се каже еднозначно на коя от изчислените собствени форма съответства.

Табл.2 Резултати от експеримента

1	2	3	4
№	Freq, Hz	Freq, Hz	Error, %
1	11.46	-	-
2	13.158	-	-
3	32.298	-	-
4	38.687	-	-
5	64.837	56	13.6
6	74.858	88	17.5
7	97.309	88	9.5

3.2.2 Числени резултати от изследването на прототипа за изследване на конструктивните особености на акустичен абсорбер

Числените изследвания са направени в среда на Ansys Workbench®. При числените изследвания са изчислени собствените честоти и форми на разглежданите модели на конструкции на акустични абсорбери. В таблици 3 и 4 са представени първите двадесет собствени честоти на изследваните варианти на акустични абсорбери с и без преграда. Във втората колона на Табл. 3 са представени резултатите на абсорбер без преграда (D=385 mm – вътрешен диаметър на отвора на абсорбера). В колони от 3^{-та} до 6^{-та} от табл. 3 и колони от 2^{-ра} до 5^{-та} в табл. 4 са представени получените от числените изследвания собствени честоти на акустични абсорбери с централен отвор в преградата с различен диаметър – D.

На фиг. 8 ÷ 17 са представени няколко собствени форми на моделите на акустичен абсорбер с и без преграда.

Табл.3 Резултати от експеримента

№ на собствена честота	Диаметър на отвора в междинните прегради - D, mm				
	385	345	305	250	200
	f, Hz				
1	22.01	29.81	44.62	68.49	90.40
2	22.29	30.76	46.36	70.74	92.37
3	26.48	34.94	50.44	75.50	97.42
4	37.51	48.48	62.06	84.81	101.83
5	47.71	63.49	80.15	100.60	105.29

6	54.82	71.92	93.06	100.95	105.87
7	57.33	74.46	97.36	104.21	107.08
8	57.74	75.22	97.89	105.32	109.50
9	60.27	75.77	98.41	106.90	114.21
10	63.50	79.87	98.47	110.04	117.71
11	67.25	80.55	101.73	114.82	120.77
12	71.84	87.37	102.36	115.88	123.41
13	81.63	91.32	102.75	124.18	130.45
14	86.37	94.93	103.89	126.63	134.82
15	91.48	98.14	107.21	128.95	137.96
16	101.94	111.70	119.00	131.11	141.51
17	110.84	126.57	137.93	143.55	146.09
18	115.17	131.26	148.38	145.90	148.80
19	125.10	136.33	150.31	151.60	152.37
20	135.90	139.71	156.11	152.83	153.73

Табл.4 Резултати от експеримента

№ на собствена честота	Диаметър на отвора в междинните прегради - D, mm			
	150	100	50	5
	f, Hz			
1	101.91	100.94	101.48	103.76
2	105.44	104.26	104.78	107.34
3	107.23	106.04	106.27	109.68
4	108.00	108.88	109.47	112.77
5	109.67	113.92	114.57	117.94
6	110.10	118.37	119.35	123.12
7	114.58	119.10	123.46	127.23
8	115.26	119.70	124.88	127.64
9	120.34	123.30	126.22	129.27
10	121.99	123.98	127.78	132.39
11	125.80	128.40	131.44	134.96
12	129.42	129.39	131.88	138.67
13	135.07	134.09	135.49	141.15
14	136.69	135.72	138.14	142.08
15	141.47	137.96	140.06	149.74
16	144.39	143.67	145.07	150.42
17	146.82	145.11	146.34	154.35
18	150.24	146.57	147.31	157.02
19	151.99	147.22	147.79	159.01
20	152.36	147.67	148.47	160.63

Табл.5 Резултати от експеримента

№ на собствена честота	Диаметър на отвора в междинните прегради - D, mm				
	385(1)	345(2)	305(3)	250(4)	200(5)
	Δf, %				
1	78.79	71.27	57.00	33.99	12.88
2	79.23	71.34	56.81	34.10	13.95

3	75.86	68.14	54.02	31.16	11.18
4	66.74	57.01	44.96	24.79	9.70
5	59.55	46.17	32.04	14.70	10.73
6	55.47	41.58	24.41	18.00	14.00
7	54.94	41.47	23.48	18.09	15.84
8	54.76	41.07	23.30	17.48	14.21
9	53.38	41.39	23.87	17.30	11.65
10	52.03	39.67	25.62	16.89	11.09
11	50.17	40.32	24.62	14.92	10.51
12	48.20	36.99	26.18	16.43	11.01
13	42.17	35.30	27.21	12.02	7.58
14	39.21	33.18	26.88	10.87	5.11
15	38.91	34.46	28.41	13.88	7.87
16	32.23	25.74	20.89	12.83	5.92
17	28.19	18.00	10.64	6.99	5.35
18	26.65	16.41	5.50	7.08	5.23
19	21.33	14.26	5.47	4.66	4.18
20	15.40	13.02	2.82	4.86	4.30

Табл.6 Резултати от експеримента

№ на собствена честота	Диаметър на отвора в междинните прегради - D, mm			
	150(6)	100(7)	50(8)	5(9)
	$\Delta f, \%$			
1	1.79	2.72	2.19	0
2	1.77	2.87	2.39	0
3	2.24	3.32	3.11	0
4	4.22	3.45	2.92	0
5	7.02	3.41	2.85	0
6	10.57	3.85	3.05	0
7	9.95	6.39	2.96	0
8	9.69	6.21	2.16	0
9	6.91	4.62	2.36	0
10	7.85	6.35	3.48	0
11	6.79	4.86	2.61	0
12	6.67	6.69	4.90	0
13	4.31	5.00	4.01	0
14	3.79	4.47	2.77	0
15	5.52	7.87	6.46	0
16	4.00	4.49	3.56	0
17	4.88	5.98	5.19	0
18	4.32	6.65	6.18	0
19	4.41	7.42	7.06	0
20	5.15	8.07	7.57	0

В табл.5 и 6 са представени резултатите за процентното изменение на собствените честоти на акустичния абсорбер при различна стойност на размера на централния отвор в междинните прегради. Изменението на собствените честоти се изчислява по формулата:

$$(1) \quad \Delta f_{i,j} = \frac{f_{5,i} - f_{j,i}}{f_{5,i}} 100, \%,$$

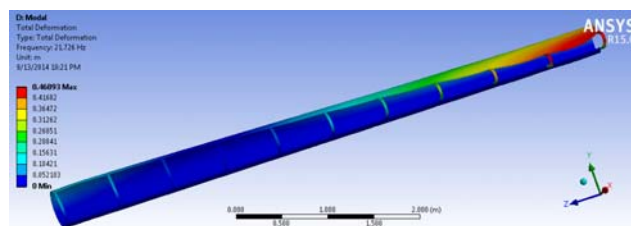
където $\Delta f_{i,j}$ е изменението на собствените честоти, при изменение на диаметъра на централния отвор ($f_{j,i}$ му стойност) на преградите и поредния номер на собствената честота (i тата и стойност);

i – поредния номер на собствената честотата, от 1 до 20;

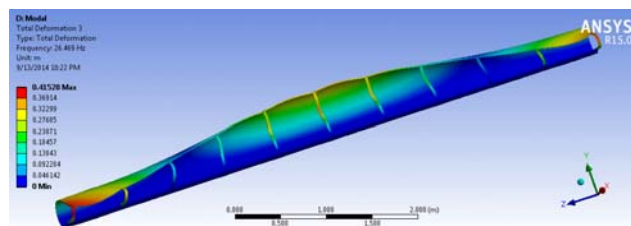
j – поредния номер на диаметъра на отворите на централните прегради, от 1 до 7(8);

$f_{5,i}$ – собствена честота на абсорбера с отвори в преградите с диаметър 5 мм;

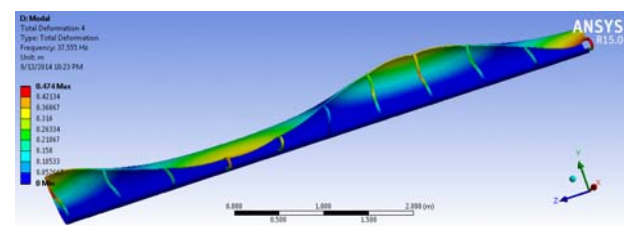
$f_{j,i}$ – i тата собствена честота на абсорбера с отвори в преградите с диаметър съответстващ на j тата му стойност.



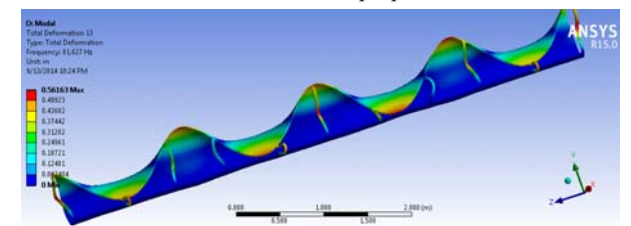
Фиг.8 Първа собствена форма на акустичен абсорбер без междинни прегради



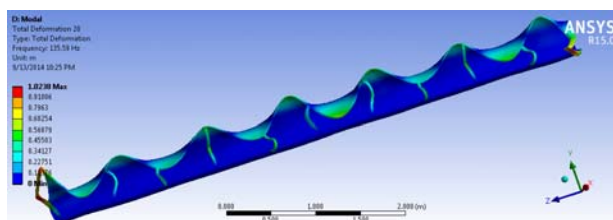
Фиг.9 Трета собствена форма на акустичен абсорбер без междинни прегради



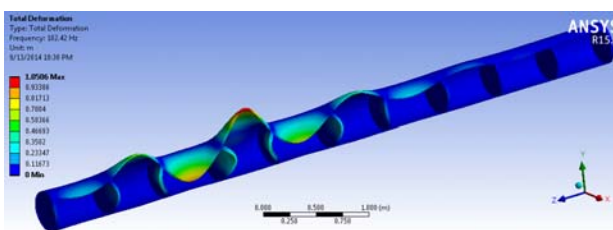
Фиг.10 Четвърта собствена форма на акустичен абсорбер без междинни прегради



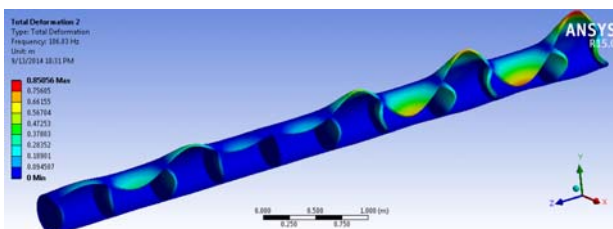
Фиг.11 Тринадесета собствена форма на акустичен абсорбер без междинни прегради



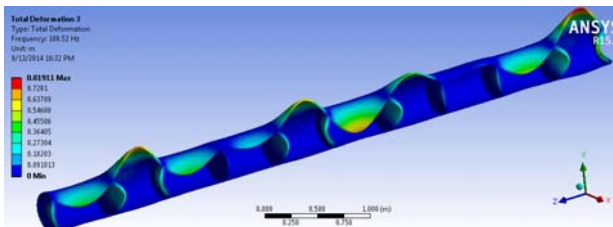
Фиг.12 Двадесета собствена форма на акустичен абсорбер без междинни прегради



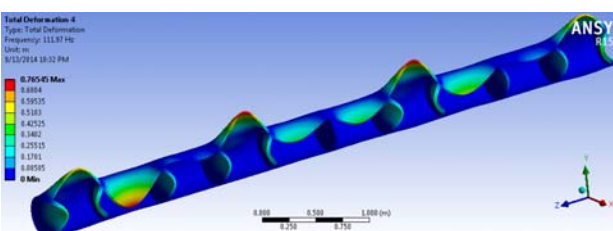
Фиг.13 Първа собствена форма на акустичен абсорбер с междинни прегради без отвори



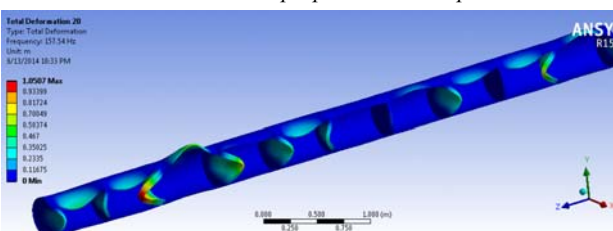
Фиг.14 Втора собствена форма на акустичен абсорбер с междинни прегради без отвори



Фиг.15 Трета собствена форма на акустичен абсорбер с междинни прегради без отвори



Фиг.16 Четвърта собствена форма на акустичен абсорбер с междинни прегради без отвори



Фиг.17 Двадесета собствена форма на акустичен абсорбер с междинни прегради без отвори

3.3 Анализ на резултатите

3.3.1 Анализ на резултатите от изследването на прототипа на акустичен абсорбер за експериментално изследване

Резултатите от численото и експерименталното изследване показват добро съвпадение между експерименталното изследване и модела на абсорбера. Грешката между експеримента и численото изследване варира в границите от 9,5 до 17,5 %.

3.3.2 Анализ на резултатите от изследването на прототипа за изследване на влиянието на междинната преграда на акустичен абсорбер върху собствените му честоти

От резултатите представени в табл. 5 и 6 се вижда, че при абсорбер без междинни прегради ($D=385$ mm) има най-голямо изменение/намаление на собствените честоти спрямо базовия прототип с плътни прегради без отвор ($D=5$ mm). При този вариант има и най-голямо намаление на изменението на стойността на собствените честоти при нарастване на поредният им номер.

Голямо изменение/намаление на собствените честоти има при използване на прегради с размер на централният отвор $D \geq 250$ mm, под тази стойност рязко намалява това изменение, като при $D \leq 200$ mm за повечето от случаите е под 6% (табл. 5 и 6). Това показва, че акустичните абсорбери с плътни прегради и тези изработени с прегради с централен отвор с диаметър на отвора до 200 mm (250 mm) имат приблизително еднакви честотни характеристики.

От собствените форми на двата базови конструктивни вида на акустичен абсорбер (със и без междинни прегради) се вижда, че при конструкцията без прегради имаме деформация на абсорбера по цялата му дължина (фиг.8÷12), а при този със прегради само локални деформации (големи деформации само в определени зони/участъци), като се вижда от фиг. 13÷17.

4. Изводи

Въз основа на направените изследвания и анализа на получените резултати можем да направим следните изводи:

- Поставянето на междинни прегради в акустичния абсорбер води до повишаване на собствените му честоти;
- Влиянието на междинни прегради поставяни в акустичния абсорбер е най-голямо при първите осемнадесет (дванадесет) собствени честоти;
- Размера на централния отвор в преградите оказва влияние върху собствените честоти на акустичния абсорбер;
- Промяната на диаметъра на централния отвор в границите $D = 0 \div 200$ mm не води до съществено изменение на стойностите на собствените честоти на акустичния абсорбер (предимно между 2 и 6 %).

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящите изследвания са свързани с проект № BG051PO 001-3.3.06-0046 “Подкрепа за развитието на докторанти, постдокторанти и млади учени в областта на виртуалното инженерство и индустриалните технологии”. Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна

програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Hubner, P., Reducing railway noise, strategic challenges and state of the art, Forum Acusticum, 1243-1248, 2005.
- [2] Hardey, A., R. Jones, Rail and wheel roughness - implications for noise mapping based on the Calculation of Railway Noise procedure, AEA Technology Rail, Issue 1, March 2004.
- [3] Jones, R., M. Dittrich, P. van der Stap, X. Zhang, J. R. Block, Rail noise database and manual for implementation, EU-FP6 project “IMAGINE” report (IMA6TR-061015-AEATUK10), AEATUK, 2007.
- [4] Kralov, I, S. Terzieva, I. Ignatov, Analysis of methods and MEMS for Acoustic Energy Harvesting with Application in Railway Noise Reduction, Proceedings of the 3rd International Conference МЕCAHITECH’11, Bucharest, 2011.
- [5] Kralov I. I. Ignatov, Experimental study and analysis of a new wheel/rail contact, Mechanics of Machines, Vol.92, Varna, 2011.
- [6] Oertly, J., P. Hubner, UIC, Railway noise in Europe. A 2010 report, state of the art, 2010.
- [7] Thompson D. J., C. J. Jones, A review of the modelling of wheel/rail noise generation, Journal of Sound and Vibration, 231(3), 519-536, 2000.
- [8] Van Beek, A., et al., Task 1.2.1, State of the art, Technical Report, SNCF, 2002.
- [9] ДП „Национална Компания Железопътна Инфраструктура”, Технически норми, за устройство, построяване и ремонт на безнаставов релсов път, София, 2010.
- [10] “Експериментално изследване на параметрите на релсов път, колоос и акустичен абсорбер на шум от контакта колело-релса“, Сливен’2014

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2014”	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

ПРЕДСТАВЯНЕ НА ПРОФЕСИОНАЛНИЯ ПОДХОД, ПРЕДПРИЕТИТЕ МЕРКИ И ПОСТИГНАТИТЕ РЕЗУЛТАТИ ПРИ ИЗПЪЛНЕНИЕ НА ПОСЛЕДЕН ЕТАП НА ОБЕЗШУМЯВАНЕ НА ВЕНТИЛАЦИОННИ ШАХТИ ИЗТОК И СЕВЕР - ДЪНДИ ПРЕШЪС МЕТАЛС (ДПМ) – ЧЕЛОПЕЧ ЕАД

An overview of the professional approach, the measures taken and results achieved in
implementing the final phase of the silencing of ventilation shafts North and East - Dundee
Precious Metals (DPM) – Chelopech

Abstract: В настоящия документ се разглеждат мерките за контрол и ограничаване на шума в околната среда, както и дейностите по мониторинг. Отделено е специално внимание на етапите на идентифициране необходимостта от предприемане на корективни мерки, чрез прилагането на ефективни инженерни решения за обезшумяване на вентилационните шахти „Изток“ и „Север“.

инж. Борис Михайлов Специалист акустика - Спектри ЕООД, Георги Семерджиев, Специалист екологичен мониторинг - Дънди Прешъс Металс Чelopeч ЕАД, д-р инж. Милчо Георгиев, Специалист акустика, - Спектри ЕООД, инж. Стойко Пеев, Главен инженер „Инженеринг и поддръжка – подземен“ - Дънди Прешъс Металс Чelopeч ЕАД.

1. Увод

„Дънди Прешъс Металс Чelopeч“ ЕАД осъществява добив и преработка на златно-медно-пиритни руди от находище „Чelopeч“, намиращо се в западния край на с. Чelopeч, Софийска област, на 75 км източно от град София и на около 350 км западно от Черно море. На север граничи с гористите склонове на Стара планина, на изток – с поделение на държавната фирма „Строителство и възстановяване“ и жилищни сгради, а на юг и запад – със земеделска земя.

Първичните източници на шум от производствената дейност на „Дънди Прешъс Металс Чelopeч“ ЕАД са: вентилационни уредби към шахти „Изток“ и „Север“, шахти „Капитална“ и „Запад“, наклонени изработки „Надежда“ и „Вяра“, полуавтогенна мелница, цех пастово запълнение, гумено-транспортни ленти, тежкотоварни машини и механизация. Основни източници на шум, които влияят върху качеството на акустичната среда в района, са: вентилационни уредби към шахти „Изток“ и „Север“, обогатителна фабрика, тежкотоварни и строителни машини. В непосредствена близост до производствената площадка на „Дънди Прешъс Металс Чelopeч“ ЕАД има два интензивни външни източника на шум – натоварена пътно-транспортна артерия (главен подбалкански път – София-Бургас) и железопътна линия, преминаваща през

производствената площадка. Поради това, въздействието върху общия шумов фон в района е кумулативно.

2. Мерки за контрол и намаляване на шума в околната среда

Поради сравнително близкото разположение на промишлената площадка и отделни нейни обекти до село Чelopeч може да се очаква известно въздействие, причиняващо дискомфорт на жителите. Обогатителната фабрика на „Дънди Прешъс Металс Чelopeч“ ЕАД се намира на 400 м от най-близката жилищна сграда в района, докато вентилационни шахти „Изток“ и „Север“ се намират съответно на 80 м и 1 133 м от най-близката жилищна сграда в с. Чelopeч.

2.1. За контрол на шума в околната среда се осъществяват следните мероприятия:

- 2.1.1. Извършване на периодичен мониторинг на шум в околната среда със собствена апаратура и с външни акредитирани лаборатории в контур и в различни точки на въздействие;
- 2.1.2. Извършване на постоянни измервания на шум в две точки със собствена апаратура;
- 2.1.3. Съблюдаване на нормите за нива на шум съгласно Наредба №6/26.06.2006 г., приложение № 2, таблица № 2;
- 2.1.4. Диалог с местните жители по въпросите, свързани с шума.

2.2. На база извършения мониторинг и анализа от получените резултати се планират и изпълняват мерки за намаляване на шума в околната среда, имащи за цел ограничаване вредното въздействие върху местните жители и включват следните мероприятия.

2.2.1. Реализиране на проект за обезшумяване на вентилатора на шахта „Изток“ – изпълнен в четири етапа в периода 2007-2014 г. с общо намаляване на шума с около 20 dBA;

2.2.2. Реализиране на проекта за обезшумяване на вентилатора на шахта „Север“ - изпълнен в два етапа в периода 2011-2014 година с общо намаляване на шума с около 22 dBA в непосредствена близост до дифузора на вентилатора;

2.2.3. Реализиране на проекта за обезшумяване на цех „Пастово запълнение“ - изпълнен в периода 2011-2012 година с общо намаляване на шума от 5 до 10 dBA извън сградата на цеха;

2.2.4. Системна поддръжка на стационарното и мобилно оборудване;

2.2.5. Спазване на утвърдените транспортни схеми в населените места;

3. Мониторинг на шума в околната среда

„Дънди Прешъс Металс Челопеч“ ЕАД осъществява мониторинг на шум в околната среда със собствена апаратура и с измервания от страна на външни акредитирани лаборатории. Измерванията се извършват съгласно изискванията на Наредба № 6 от 26.06.2006 г. за показателите за шум в околната среда, отчитащи степента на дискомфорт през различните части на денонощието, граничните стойности на показателите за шум в околната среда, методите за оценка на стойностите на показателите за шум и на вредните ефекти от шума върху здравето на населението. Съгласно утвърдената програма за мониторинг на шум в околната среда периодично се измерва еквивалентно ниво на шум (L_{aeq}) в три основни точки:

- Т.1 – село Челопеч, улица „Мургана“ – последна населена къща в близост до шахта „Изток“;
 - Т. 2 - село Челопеч, улица „Миньорска“;
 - Т. 3 - село Челопеч, улица „Владимир Заимов“;
- Непрекъснато се измерва еквивалентно ниво на шум (L_{aeq}) в две точки:
- Т. 4 - Североизточен край на северна производствена площадка на „Дънди Прешъс Металс Челопеч“ ЕАД;
 - Т. 1' - село Челопеч, улица „Мургана“, 180 м от вентилационна шахта „Изток“;

Получените резултати се съпоставят с нормите за нива на шум съгласно Приложение 2, таблица 2 на Наредба № 6;

Описаните по-горе мониторингови точки попадат в четири типа гранични стойности на показателите за шум за територии и устройствени зони в урбанизираните територии и извън тях. Съгласно тези гранични стойности три от точките

имат различни лимити за трите времеви зони в денонощието – дневна, вечерна и нощна с времеви интервали от 07 до 19 ч., от 19 – 23 ч. и 23 – 07 ч. съответно (таблица 1).

таблица 1

Територии и устройствени зони в урбанизираните територии и извън тях	Гранични стойности по Наредба. 6/2006 (dBA)		
	Ден	Вечер	Нощ
Жилищни зони и територии: т.1 - периодичен мониторинг т.1' - непрекъснат мониторинг	55	50	45
Територии, подложени на въздействието на релсов железопътен и трамваен транспорт: т.2 - периодичен мониторинг	65	60	55
Територии, подложени на въздействието на интензивен автомобилен трафик: т.3 - периодичен мониторинг	60	55	50
Производствено-складови територии и зони: т.4 - непрекъснат мониторинг	70	70	70

Собственият периодичен мониторинг се извършва с преносим ръчен шумомер-анализатор или с техника на външна акредитирана лаборатория по заявка на „Дънди Прешъс Металс Челопеч“ ЕАД. Резултатите се представят на компетентния орган съгласно изискванията на приложимото законодателство.

Собственият непрекъснат мониторинг се извършва посредством интегрирана система за непрекъснат мониторинг на параметри на околната среда, която бе пусната в действие през 2013 г.

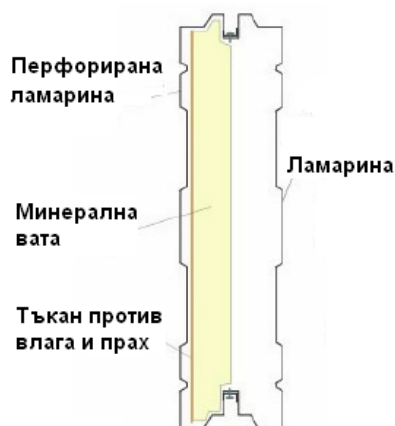
Системата за измерване на шум се състои от два преносими терминала за външни измервания, тип 3655 А, разположени на съответните точки, които измерват в непрекъснат режим и изпращат даните в сървър. Интернет връзката се осъществява през мобилен оператор. Терминалите са осигурени срещу неблагоприятни атмосферни условия с подходящи защитни куфари, пропадане на електрозахранването - с UPS или на интернет връзката – с вътрешен дейта логер, който съхранява записи и ги предава при възстановяване на връзката. Получените данни могат да се наблюдават в реално време, както и да се извличат справки посредством уеб базиран портал www.chelopech.webnoise.eu, от всяка точка с достъп до интернет, като за целта е необходимо да се въведат потребителско име и парола.

4. Обезшумяване на Вентилационна шахта „Изток“.

Реализираният проект за „Обезшумяване на вентилационна шахта Изток“, свързан с подобряване на звукопоглъщането, чрез използване на подходящи материали и конструкции, включително и ново изпълнение на изградените съществуващи средства за шумоизолация, доведе до осезаемо намаление на шума при мястото на въздействие. Той беше извършен на няколко етапа – след 2007 стартираха

мероприятия за възстановяване на вътрешния екран (минерална вата) по вътрешните стени на шумозаглушаващото помещение, а в периода 2008 – 2012 г. се изгради и допълнителна шумопреградна конструкция на външните части на вентилатора. Беше въведена и система за планова подмяна на амортизираните вътрешни екрани. Проведените измервания показаха, че с изброение по-горе мерки се постигна значителен, но недостатъчен ефект и показаха необходимостта от допълнително намаляване на шума с около 3 до 5 dBA.

В последния етап беше изградена нова шумозащитна конструкция от специализирани шумопоглъщащи панели за едностранно шумоизолиране. Всеки един панел представлява плоска кутия / касета изработена от профилиран алуминий с дебелина 1,5 – 2 мм, едностранно перфорирана с дебелина 125 мм и ширина 500 мм в която е поставен екран от вата с дебелина 50 мм, защитен откъм перфорациите срещу влага и прах с подходяща тъкан (стъклоено було). Панелите се произвеждат с дължина до пет метра, като дължината се определя в зависимост от приложението.



фигура 1: Напречен профил на шумопоглъщащия панел

Преди монтажа на шумопоглъщащите панели беше завършена външната изолация на сградата, в която се намира електрозадвижването на вентилатора. Това доведе до допълнително намаляване на шума.

5. Обезшумяване на вентилационна шахта „Север“

Във връзка с модернизацията на производството и инфраструктурата и постигане на добив от 2 милиона тона руда годишно се наложи подмяна на съществуващия вентилатор ВОД-21 с производителност 154 m³/s и депресия 950 Pa с нов вентилатор AFSB 2800/1500 с производителност 265 m³ /s 3200. Дифузьорът беше обърнат в обратна посока, поради ограниченото пространство на площадката на фона на по-големите размери на новия вентилатор. Посоката на въздушната струя, излизаша от вентилационната шахта след подмяната на вентилатора, е юг-югозапад.

В тази посока се намират селата Челопеч и Карлиево. Беше установено, че работата на

съоръжението създава известен дискомфорт у жителите на двете населени места в малките часове на денонощието – вечер и нощ. От една страна това се дължи на по-мощния вентилатор, но от друга страна местоположението на площадката също оказва влияние върху разпространението на шума. Вентилационна шахта „Север“ се намира на 890 м надморска височина, обградена е с по-високи върхове откъм северната страна, но не и откъм населените места. Съществуващата долчина допълнително допринася за разпространението на звука в посока към населените места.

След подмяната на вентилатора бяха извършвани няколко измервания в населените места Челопеч и Карлиево. Резултатите не показаха отклонения от нормите за нива на шум съгласно Приложение 2 на Наредба № 6. Въпреки това, в обществен интерес беше инициран проект за „Обезшумяване на шахта Север“.

В първия етап бяха извършени измервания от „Спектри“ ЕООД, които бяха представени под формата на доклад, включващ резултати от измервания, звукови карти, симулации и предложения за бъдещи мерки за намаляване на шума. Една от предложените мерки беше инсталирането на специален шумозаглушител, като ръководството на „Дънди Прешъс Металс Челопеч“ се спря на нея като най-подходяща и ефективна.

Вторият етап на проекта беше осъществен в периода 2012-2014 година и включваше изготвяне на проект, изработка, доставка и монтаж на специалния шумозаглушител. Той е проектиран така, че да е в пълно съответствие с параметрите на новия вентилатор. Произведен е от HOWDEN Australia и има следните характеристики:

- i. Тип – разпръсквач,
- ii. Проектен дебит (m³/s): 265
- iii. Площ на свободно преминаване (m²): 17.76
- iv. Скорост на свободно преминаване (m/s) 14.92
- v. Обща ширина на газохода на заглушителя (mm): 6000
- vi. Обща височина на газохода на заглушителя (mm): 6000
- vii. Обща дължина на газохода на заглушителя (mm): 3300 (1 ва степен), 3300 (2 ра степен), 6603 (общо)

Състои се от следните части:

- a. Компенсатор - свързва изхода на вентилатора с входа на заглушителя. Позволява термичните разширения на конструкцията и компенсира неответствията в размерите на газоходите;
- b. Преходен газоход – трансформира кръглото сечение на изхода на вентилатора в квадратно – на корпуса на заглушителя. В тази част има и люк за достъп за профилактика на съоръжението;
- c. Корпус – обвива и крепи разделителите, проектиран е да издържи масата им. Състои се от две части за улеснение при монтажа;
- d. Разделители – целта им е да осигурят максимално затихване на шума в канала.

Изработени да от праховобоядисана ламарина и изолационен материал (минерална вата). Разделени са вертикално на три нива;

- е. Предпазител на изхода – представлява метална мрежа, чието предназначение е да предотврати достъпа на хора и животни в заглушителя;

Липсата на движещи се части, компоненти и контроли прави шумозаглушителя високоефективен и намалява необходимостта от поддръжка.

6. Резултати и дискусия

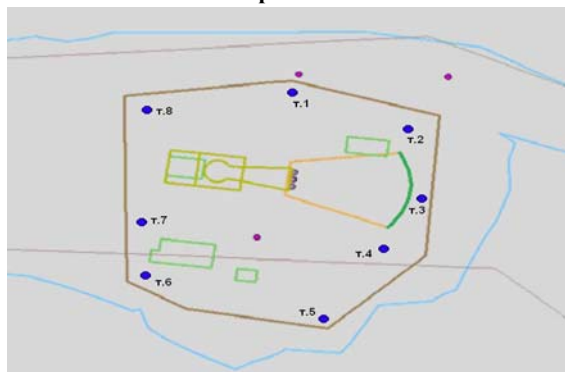
Измерванията на площадката на съоръжението се извършиха в осем точки, преди и след инсталиране на шумозаглушителя. Резултатите са показани в Таблица 2

№ на точка	Преди шумозаглушител L _{aeq} (dB)	След шумозаглушител L _{aeq} (dB)	Затихване
1	97.1	74.6	22.5
2	100.8	78.6	22.2
3	85.2	65.5	19.7
4	101.3	78.6	22.7
5	86.8	72.6	14.2
6	75.6	69.0	6.6
7	86.8	83.9	2.9
8	93.8	84.4	9.4

Измерванията показват намаляване на нивото на шум средно с 21,5 dB в непосредствена близост до дифузора в посока юг-югозапад (точки 2, 3 и 4).

Точките 2, 3 и 4 са критични доколкото се намират от двата края на преградата, и непосредствено зад нея (т. 3). В точки 2 и 4 са отчетени най-високите стойности преди инсталиране на заглушителя, също така това са точките, които са по посока на населените места и оказват най-силно влияние върху тях. Като изключим т. 1, която влияе в значително по-малка степен, при останалите точки, ефектът от заглушителя не е толкова осезаем, поради излъчения шум от електрозадвижването на вентилатора. В общия случай тези точки имат пренебрежимо влияние върху населените места.

Схема на измерванията – т. 1-8:



Бяха извършени измервания и в населените места на с. Челопеч и с. Карлиево, като резултатите

от тях са представени в Таблица 3.

Регистриран шум преди шумозаглушител (дневно измерване)				
Място на въздействие	31.10./16.02.12 г. (dBA)	01.03.13 г. (dBA)	26.07.13 г. (dBA)	Норма (dBA)
ул. Владимир Заимов, с. Челопеч	47.8	44.0	49.8	60
ул. Миньорска, с. Челопеч	48.4	44.3	51.7	65
с. Карлиево	45.93	-	-	55
Регистриран шум след шумозаглушител (дневно измерване)				
Място на въздействие	22.10.14 г. (dBA)			Норма (dBA)
ул. Владимир Заимов, с. Челопеч	42.2			60
ул. Миньорска, с. Челопеч	44.5			65
с. Карлиево	35.7			55

7. Заключение

Въпреки постигнатите резултати, контролът и ограничаването на шума в околната среда е един непрекъснат процес. Предстоят още измервания, които могат да доведат до необходимостта от допълнителни мерки, както за подобряване на мониторинга, като процес, така и за органичване на шума. Взема се под внимание мнението на жителите дори в случаите когато след провеждане на измервания се установи, че няма превишение в нормите или шумът се дължи на фоновото натоварване. Такъв е случаят с вентилаторна уредба на шахта „Изток“ – трудно се идентифицира източникът на шум – дали е вентилаторът, реката или вятърът от долчината през нощта.

8. Използвана литература

8.1. НАРЕДБА № 6 от 26.06.2006 г. за показателите за шум в околната среда, отчитащи степента на дискомфорт през различните части на денонощието, граничните стойности на показателите за шум в околната среда, методите за оценка на стойностите на показателите за шум и на вредните ефекти от шума върху здравето на населението

8.2. Доклад – Обезшумяване на Шахта Север в Челопеч Майнинг ЕАД, ЕТАП 1, от 23.01.2012 г.;

8.3. FUNDAMENTAL OF ACOUSTICS - Professor Colin H Hansen, Department of Mechanical Engineering, University of Adelaide

9. Използвана апаратура

- Преносим ръчен Шумомер “Bruel&Kjaer” модел 2250L – за периодичните измервания;
- Преносими терминали тип 3655 А, включващи шумомер 2250L, микрофон за външни измервания, Дейта логер, UPS, атмосферно защитен куфар и GPRS модем;

Dundee Precious Metals Chelopech EAD is a company engaged in the mining and processing of copper-gold ores from the Chelopech Deposit.

There are several primary sources of noise from the operations of Dundee Precious Metals Chelopech EAD, as the most important ones impacting the acoustic environment in the area are: the ventilation systems of Iztok and Sever shafts, the process plant, the heavy plant and construction machines.

The implemented Noise Attenuation Project of Iztok Shaft, related to noise absorption improvement by using suitable materials and structures, including upgrade of the existing noise insulation devices, was performed in several stages during the period 2007 - 2014. During the first stages a number of activities were performed that considerably reduced the sound power level at the point of impact. A permanent difference is identified between the background noise and the fan's work load, considering that the background noise level exceed the norms under Regulation 6/26.06.2006 on the Environmental Noise Indicators. In 2014 additional activities were performed for permanent noise attenuation coming from the Iztok Shaft fan by installing special noise attenuation panels at the exhaust line of the shaft. The exterior of the building where the fan engine is located, was renovated. All these activities led to noise attenuation of almost 20 dBA.

The implemented Noise Attenuation Project for the other noise source - the Sever Shaft fan, which was completed in two stages during the period 2011 - 2014, led to noise attenuation of about 22 dBA, close to the fan diffuser.

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2014”	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

УЛТРАЗВУКОВА СРАВНИТЕЛНА ОЦЕНКА НА ВЪТРЕШНИ НЕЦЯЛОСТИ В НАВАРЕНИ НАНОМОДИФИЦИРАНИ СЛОЕВЕ

Иван Коларов¹, Пламен Ташев²

ВТУ „Тодор Каблешков”¹, ул. „Гео Милев” № 158, София,
ИМСТЦХ – БАН “Акад. А. Балевски”², ул. “Шипченски проход” 67, София

1. Въведение

Наваряването е широко приложима технология за възстановяване на работоспособността на тежко натоварени машинни елементи. Качеството на готовото изделие зависи както от технологични фактори (в т.ч. електродите и режима), така и от субективния фактор (квалификацията и общото психо-физическо състояние на персонала).

В рамките на проект по „Разработване на технология за електродръгово наваряване на износоустойчиви слоеве с използване на наноматериали” са създадени опитни образци от стомана S 235JR с размери, съответстващи на стандарта за наваряване ISO/DIS 15614-7, (именно 250x400 mm) и дебелина 20 mm чрез наваряване с електроди с наномодификатори – собствено производство. Проведени са предварителни експериментални изследвания с първа серия наварени проби при неизвестно състояние на наварения слой (без обработка на слоя) и след шлифване визуално са установени значителни нецялостности в слоя. Причината за тези нецялостности е отдадена на технологични отклонения при производство на електродите и при наваряване на слоевете. След внимателна проверка на етапите за наваряване експерименталните изследвания са повторени с оглед за практическо приложение на ултразвуковия метод за оценка наличието на нецялостности в реални изделия. Обикновено в

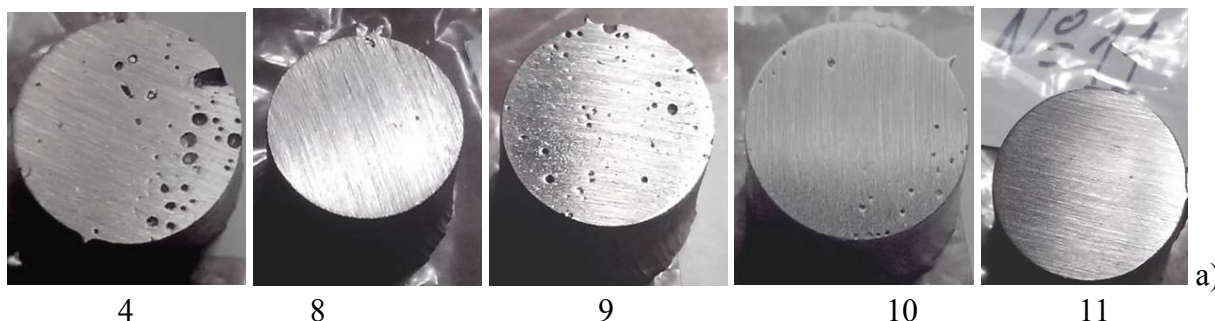
практиката се използват стандартизирани технологии за определяне на разсейването/отражението на енергията на вълната от нецялостностите. За подобряване на откриваемостта на нецялостности, измерванията се провеждат при нива на дефектоскопа + 6 dB в сравнение с амплитудата на контролен отражател. Налице са и отклонения от тези препоръки, при които се изследват отразени сигнали при нива на амплитудата 10 и 20 dB в зависимост от търсените нецялостности [1].

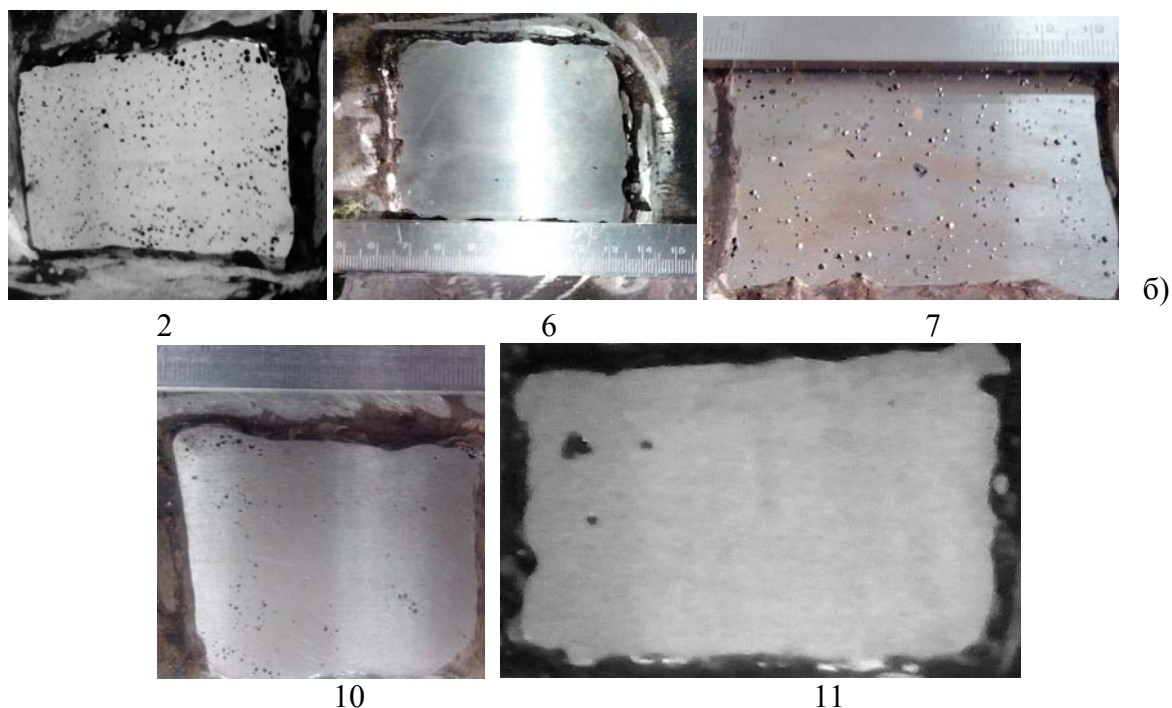
За контрол на участъци с големи размери с успех се използват повърхностните вълни. Като основни информативни параметри се използват коефициентът на затихване на вълната, а в последните години и след честотен анализ на получения сигнал [2].

Цел на настоящата работа е да направи ултразвукова сравнителна оценка на вътрешни нецялостности в наварени наномодифицирани слоеве с оглед разработване на технологии за контрол на възстановени машинни елементи.

2. Постановка на изследването

В настоящата работа са представени експериментални резултати от безразрушително изследване на ръчно електродръгово наварени слоеве чрез електроди с наномодификатори в обмската. Класификация на използваните електроди е показана в табл. 1.





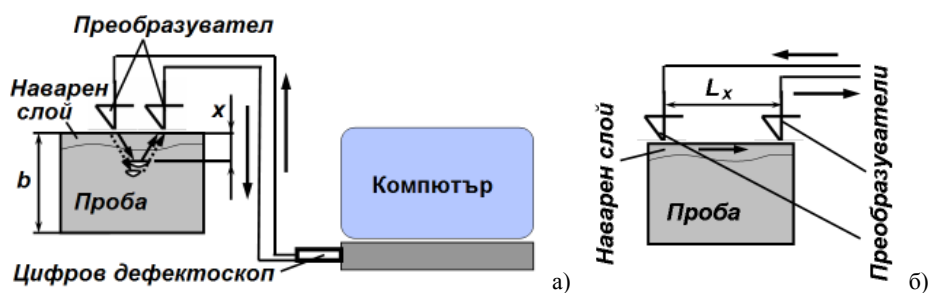
Фиг. 1. Фотоизображения на някои изследвани проби, а) от първо изследване, б) – за изследване чрез повърхностна вълна

Табл. 1. Класификация на използваните електроди.

Проба №	Наномодификатор	Количество, %
1	Базов електрод (ИЗА-Е300)	-
2	TiN	A
3	Al ₂ O ₃	A
4	SiC	A
5	TiCN+C (покрит с въглерод)	A
6	TiN+Cr (покрит с хром)	A
7	TiN	A/2
8	TiCN	A/2
9	Al ₂ O ₃	A/2
10	SiC	A/2
11	TiN+Cr (покрит с хром)	A/2

където: А – избрано базово количество наномодификатор, %.

На фиг. 1 са показани шлифовани участъци от двете партии проби с дебелина на наварения слой в рамките на 2.3 mm за предварително изследване (а) и за проверка на уточнената технология за производство на електродите и за наваряване. Пробите от фиг. 1 а) са с диаметър 20 mm, а тези от фиг. 1 б) – с ориентировъчни размери 40x60 mm. За втората серия, проба 10 около 0.4 - 0.55 mm средна големина на нецялостите, проба 6 – 0.52 mm неравномерно разпределение в изследваното лице от пробите в т.ч. проба 11, за проба 7 диаметра на нецялостите е 1.07 – 1.4 mm, за пробите 7 и 2 са разпределени по-равномерно, те са с по-големи размери. Наблюдаваното неравномерно разпределение на нецялостите се свързва с известни отклонения в параметрите на режима на наваряване и количеството наварен метал. Равномерното разпределение на нецялостите се обяснява преди всичко със структурни промени и изменение на обема на наварения слой в процеса на изстиване.



Фиг. 2. Схема на експериментално изследване на наварения слой.

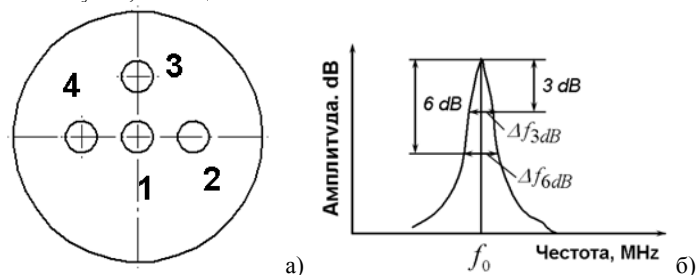
На фиг. 2 а) е показана схема за провеждане на експериментите при изследване чрез надлъжни вълни. За експерименталните изследвания е използван двоен преобразувател MSEB 5c работна честота 5 MHz за възбуждане и регистриране на надлъжни вълни. За всички експерименти е използван USB цифров дефектоскоп на фирмата LECOEUR ELECTRONIQUE SARL, работещ съвместно с подходящ софтуер и с помощта на компютър. В теорията на ултразвуковия метод търсените единични нецялостности са с

препоръчителна големина не по-малка от дължината на вълната. За използваната честота на надлъжната вълна тази препоръка определя минимална големина на единични нецялостности е 1.192 mm, стойност по-голяма от визуално определените повърхностни дефекти в наварения слой. Налице са и трудности от технологичен характер за изработване на контролни отражатели за прецизна настройка на скалата на дефектоскопа. За провеждане на настоящето изследване настройката на дефектоскопа е направено с помощта на нецялостности в

стоманата S 235JR, получени в процеса на изтегляне на дебелостенната ламарина. Направено е проучване на големината на нецялостите, получени при изтегляне на стоманата и е установен голям диапазон на отклонение (например, от 0.024 до 0.140 mm) в зависимост от технологията, химическия състав, големината на пластичната деформация и др. В етапа на предварителна подготовка на експериментите са изследвани отраженията от нецялости както в стоманата, така и в наварения слой. След обобщаване на резултатите е установена настройка на екрана на дефектоскопа, при която е налице рязка граница между амплитудите на отразените сигнали от вътрешните нецялости и шум, а именно: увеличение с 25 dB на усилването в сравнение с нивото на отразения дънен сигнал. Определени са местоположенията x на отражателите чрез измерване на времената x' на разпространение на надлъжната вълна в пробата по зависимостта:

$$x = \frac{x' \cdot b}{b'} \cdot c_1, \quad (1)$$

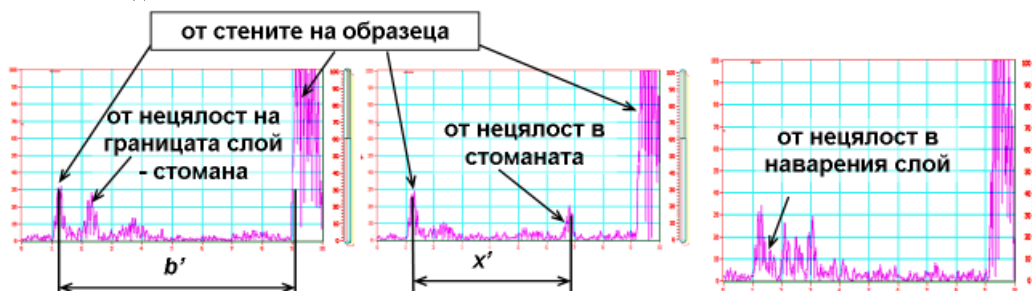
където b е дебелина на пробата, b' - време за разпространение на дънния сигнал, c_1 - скорост на надлъжната вълна в стоманата. В случай, че нецялостите



Фиг. 3. Схема за провеждане на експериментите при изследване чрез надлъжни вълни (а) и отчитане на широчината на спектъра на сигнала от повърхностната вълна (б).

Спектърът на сигнала от повърхностната вълна е определен чрез вградена функция в софтуера към цифровия дефектоскоп на фирмата LECOEUR. Отчитана е централната централната (резонансната) честота на сигнала f_0 и широчината на спектъра на сигнала Δf_{3dB} и Δf_{6dB} на нива 3 и 6 dB от максималната стойност (фиг. 3 б). Те са измерени при начално базово разстояние ($\Delta L_x = 0mm$) и при изместване с 15 mm ($\Delta L_x = 15mm$). За подобряване на точността при измерването регистрираният сигнал от повърхностната вълна е изолиран от шумове на екрана на дефектоскопа.

3. Резултати от изследването



Фиг. 4. Типични резултати от изследване на образците с нормален преобразувател.

Налице са отражатели в наварения слой и на границата слой-наварена стомана с размери от порядъка на нецялостите в стомана S 235JR. Забелязват се и амплитуди със значително по-малка големина (в рамките до 5 – 8 dB). Причината за тяхното възникване се

се намират близо разстояние един до друг, то е възможно те да не бъдат амплитудно разграничени чрез дефектоскопа, а така също и да предизвикат отразен сигнал с увеличена амплитуда.

Нецялостите са изследвани в четири точки от пробите, показани на фиг. 3 а). Като индикатор за коректността на измерването е използвана амплитудата на отразената от границата преобразувател-проба сигнал.

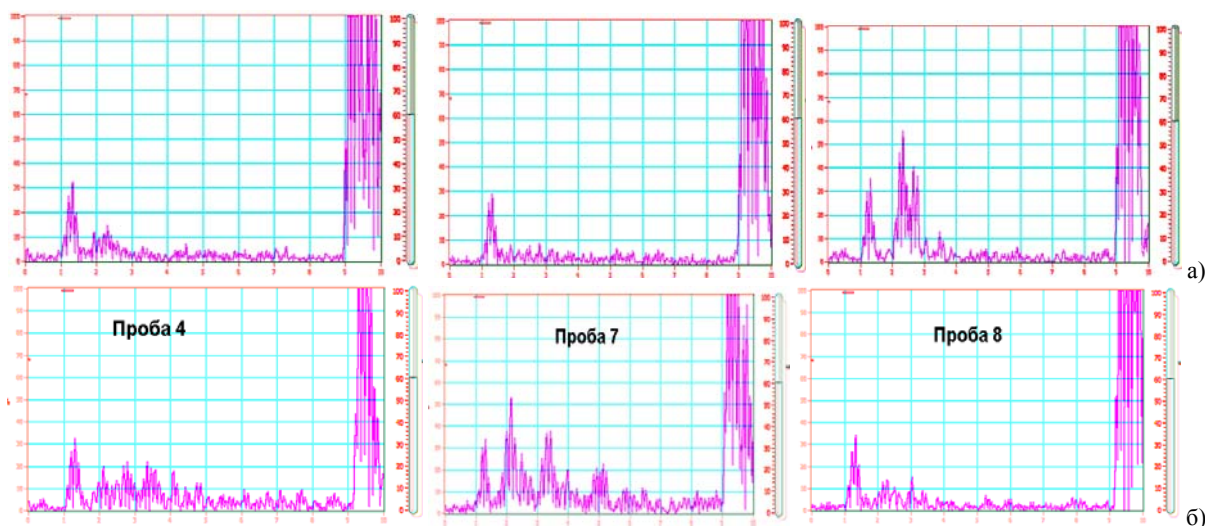
Определени са коефициент на затихване α и спектъра на регистрирания сигнал за образците от фиг. 1 б) и изменение ΔL_x на базовото разстояние L_x между преобразувателите (фиг. 2. б) от 15 mm. Коефициентът на затихване α е изчислен след измерване на разликата в амплитудата на вълната при изместване на разстоянието между преобразувателите с ΔL_x по зависимостта:

$$A = A_0 \cdot e^{-\alpha \cdot \Delta L_x}, \quad (2)$$

където A_0 и A са амплитуди на сигнала преди и след изместване на преобразувателите на разстояние ΔL_x . Често пъти в научните изследвания коефициентът α се дава за единица дължина на вълната [3].

На фиг. 4 са показани типични резултати от изследване на вътрешните нецялости в пробите. Установени са различни по големина отразени амплитуди, а именно от: стените на пробите, нецялости в наварения слой, наваряваната стомана и от границата между тях. В част от изследванията липсва отразен сигнал от границата между наварения слой и основния материал. Това се обяснява с отсъствие на рязка граница между тях и с отсъствие на значителен по размер нецялости. Дебелината на наварения слой е оценена средно в рамките на 2.1 – 2.8 mm по разстоянието между пиковите при постоянна настройка на мащаба на дефектоскопа.

свързва преди всичко с акустически шум и те не са взети предвид при отчитане на резултатите. Направена е проверка на така получената настройка чрез изследване на нецялости в плосък образец от качествена стомана и не са установени вътрешни отражатели, а само шум.



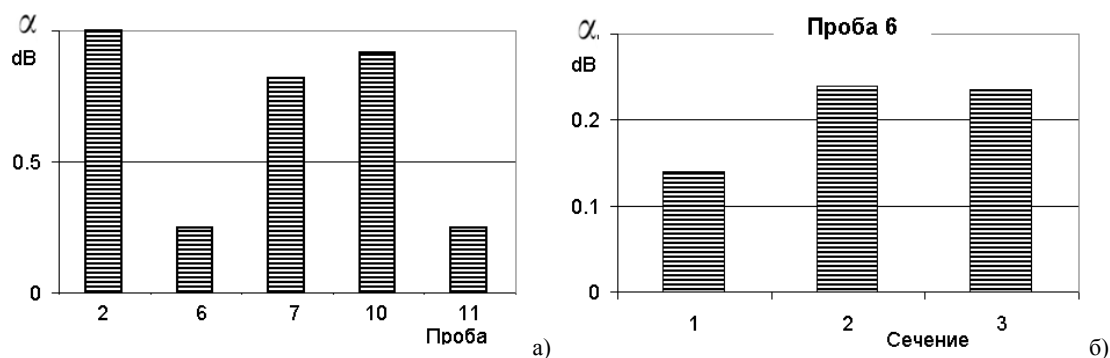
Фиг. 5. Експериментални резултати от изследване на наварени образци с надлъжни вълни, а) – от проба 3; б) от проби 4, 7 и 8.

На фиг. 5 а) са показани резултати от изследване на нецялости в различни точки от проба 3, а на фиг. 5 б) – на резултати от проби 4, 7 и 8. Налице са нецялости с различна големина в зоните от пробите, в т.ч. и за различни точки на изследване на една проба. Отражателите от границата слой-основен материал са по-големи или са равни по големина на тези в основния метал. Това е индикатор, че за настоящето сравнително

изследване на големината на нецялостите резултатите имат обективен характер. Резултатите за измерените дълбочини на нецялостите x , mm и отразена амплитуда A , dB във всички проби са показани в табл. 2. Максимални размери в наварения слой са регистрирани в пробите 2 и 8, а в границата слой-основен метал – в проби 3, 4, и 7.

Табл. 2. Измерени дълбочина x , mm и отразена амплитуда A , dB от нецялостите в пробите, измерени чрез надлъжна вълна.

Проба №	x/A , mm/dB	Проба №	x/A , mm/dB
1	2.3/14; 2.8/11; 5.52/11	7	2.7/52; 6.7/37; 8.4/20; 11.4/20
	2.23/15; 2.65/19; 4/20		
	3 /15; 3.8/10		
2	1.3/10; 2.9/32; 4.2/32; 8.3/14	8	3/12; 5.4/15
	2.9/20; 4.1/19; 8.3/15		1.5/12; 2.7/28; 4.1/20; 5.4/30
3	3.14/28; 10.3/12		3.2/25
	2.6/12; 3.3/15	9	2.4/20; 3.2/60; 4.1/27; 5.4/20
	не е регистриран отражател		2.6/22; 3.6/23; 5.4/20; 7.8/31
4	2.7/20; 4.6/20; 6.3/20	10	4.1/24; 4.9/16
	4/30; 7/35; 9/20		2.6/20; 3.7/20; 6.9/18; 7.8/19
5	2.6/10; 3.2; 5/10	11	1.6/10; 15.3/16
	не е регистриран отражател		7.3/42
	2.6/11; 3.6/12		
6	2.8/14; 3.5/10; 16.1/10		5.5/20; 6.9/20; 8.9/10; 11.3/10
	3.3/10; 16/20		
	2.5/20; 6.9/25 8.8/10		

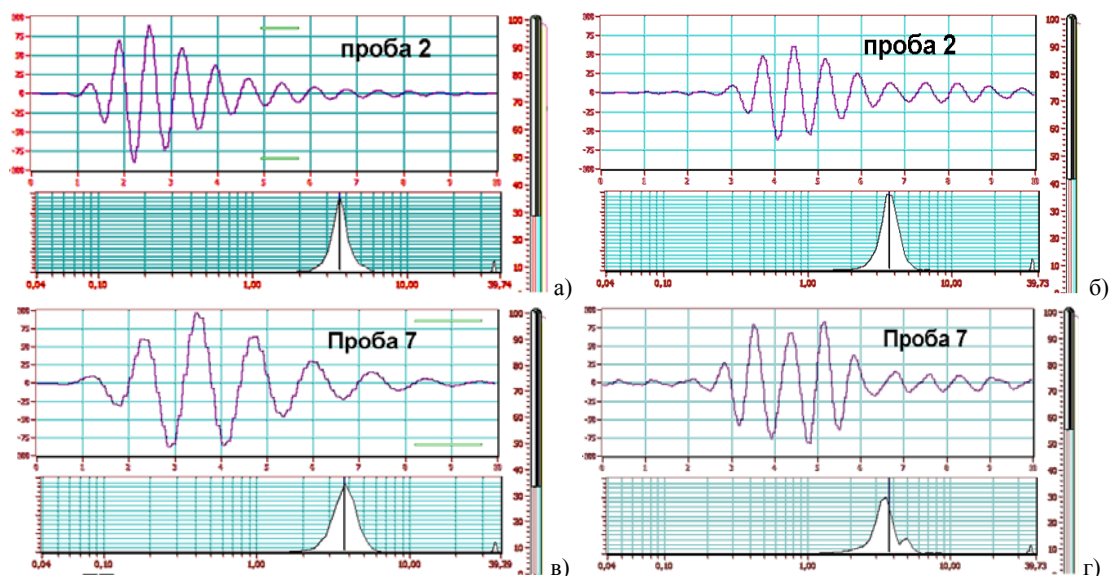


Фиг. 6. Резултати за коефициента на α затихването за единица дължина на повърхностната вълна, измерен при изменение на базовото разстояние ΔL_x с 15 mm.

Експериментални резултати за коефициента на затихване α на повърхностната вълна, определен за единица дължина на вълната, получен при изследване на различни проби на фиг. 6 а). По-големи стойности за α (в рамките на 0.82 – 1) са получени за пробите 2, 7 и 10, за които забележимо е отчетено по-голям брой на повърхностни нецялостности на единица площ. За пробите 6 и 11, които са с неравномерно разположени

малък брой нецялостности са получени стойности за α в рамките на 0.25.

Пробата 6 е изследвана в успоредни сечения, разположени на дистанция от 10 mm. Резултатите за коефициента на затихване α за различните сечения са показани на фиг. 6 б). Установено е, че изследвания параметър в рамките на пробата се променя между стойностите 0.14 и 0.24. Установеният факт се обяснява чрез различна интензивност на нецялостите в пробата и дисперсия на вълната от тях.



Фиг. 7. Типични резултати от изследване на спектъра на регистрираните сигнали за проби 2 (а и б) и 7 (в и г) при базово разстояние $\Delta L_x = 0mm$ (а и в) и при $\Delta L_x = 15mm$ (б и г).

Табл. 3. Резултати за f_0 , Δf_{3dB} и Δf_{6dB} , MHz.

Проба №	Начално базово разстояние ($\Delta L_x = 0mm$)			За базово разстояние $\Delta L_x = 15mm$		
	f_0 , MHz	Δf_{3dB} , MHz	Δf_{6dB} , MHz	f_0 , MHz	Δf_{3dB} , MHz	Δf_{6dB} , MHz
2	3.63	0.54	0.83	3.67	0.75	1.15
7	3.73	0.96	1.44	3.5	0.69	1.01
10	3.66	0.97	1.4	3.72	0.96	1.41
11	3.75	1.03	1.5	3.75	0.97	1.39

На фиг. 7. са показани типични резултати от изследване на спектъра на регистрираните сигнали, а в табл. 3 – числени стойности за f_0 , Δf_{3dB} и Δf_{6dB} , определени при начално базово разстояние ($\Delta L_x = 0mm$) и при неговото изменение с $\Delta L_x = 15mm$. Наличието на нецялостности в повърхностния слой е причина за промяна на

централната честота f_0 на спектъра на повърхностната вълна. Така например, за проба 11 $f_0 = 3.75$ MHz и за двете базисни разстояния, докато за другите проби - f_0 е различна при тях, тя варира от 3.5 до 3.73 MHz. Едновременно с това се променя непоследователно широчината на сигнала за изследваните нива -3 и -6 dB. При увеличаване на базовото разстояние L_x с 15 mm за

проба 2 параметърът Δf нараства с около 50%, а този за проба 7 значително намалява. Това се обяснява с наслагването на две вълни, за които в точката на регистриране имат различие на фазата. Момент от наслагването (сумирането) на две вълни се вижда на фиг. 7 г), където ясно личи, че спектърът на сигнала се формира от две амплитуди с честотна разлика около 1.5 MHz. Тези резултати дават основание да се предположи, че в резултат на нецялостите в наварения слой значителна част от енергията на повърхностната вълна се трансформира в друг вид вълна.

4. Основни изводи от изследването

В работата е направено сравнително изследване на нецялостите в ръчно електродъгово наварени наномодифицирани слоеве върху пробни тела (изработени от стомана S 235JR с размери, съответстващи на стандарта за наваряване ISO/DIS 15614-7). Предварително визуално е установена неравномерност в разпределението на нецялостите в част от пробите, например с наномодифициран с TiN слой. Този факт се отдава на влияние на субективния фактор при наваряване. В значителна част от пробите са налице равномерно разпределени нецялостите. Вероятно за нецялостите са структурни промени, водещи до значителна промяна на обема на материала при истиване след наваряване.

На базата на получените експериментални резултати може да се направят следните основни изводи:

- Чрез ултразвуковият метод се регистрират успешно нецялостности в наварен слой (в т.ч. наномодифицирани слоеве) и на границата слой – стомана с големина, съпоставими с нецялостностите в основния метал стомана S 235JR.

- Не е установена ясна граница (слой) между наварения и основния материал. Този факт се обяснява чрез близки акустически свойства на наварения с основния материал, плавно смесване между тях, отсъствие на рязко изразена акустическа граница.

- Налице е зависимост между броя на дефектите в наварения слой и затихването на повърхностната вълна, коефициентът на затихване може да се използва за оценка на нецялостности в т.ч. в подповърхностния слой. Налице са факти, които дават основание да се смята, че основна част от енергията на повърхностната вълна се трансформира в друг вид вълна.

Литература

1. Ермолов И.Н., Ю. В. Ланге. Неразрушающий контроль. Справочник т.3. Ультразвуковой контроль. Под редакцией Ключева. Машиностроение, М. 2004.
2. Hildyard M.W. , R.P. Young†, D.S. Collins‡, and W. Pettitt. Seismic wave propagation to diagnose the state of fracturing. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, VOLUME 105, 2005.
3. Викторов И.А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. М. Наука, 1981.

Благодарности. Разработката е финансирана от ИАНМСП чрез Националния иновационен фонд чрез Дог. № 6ИФ 02-35/15.12.2012.

	АКУСТИКА Национална конференция "Акустика 2014"	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

ВИБРОАКУСТИЧЕСКО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОСЪПРОТИВИТЕЛНО ЗАВАРЕНИ КРЪСТОВИ СЪЕДИНЕНИЯ ОТ АРМИРАНИ АРМАТУРНИ МРЕЖИ ЗА ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Иван Коларов¹, Пламен Ташев², Марина Манилова³

ВТУ „Тодор Каблешков”¹, ул. „Гео Милев” № 158, София,
ИМСТЦХ – БАН „Акад. А. Балевски”², ул. “Шипченски проход” 67, София

1. Въведение

Електросъпротивителното заваряване е широко приложима технология за неразглобяемо съединяване на листови и прътови материали с неголяма дебелина/диаметър са създаване на метални конструкции. Електросъпротивителното заваряване (ЕСЗ) е най-често използвания процес при производството на мрежи от стоманени телове и арматурна стомана. Последните намират приложение в бита, комуналните услуги, селското стопанство, строителството и много други отрасли на промишлеността. Кръстосаното заваряване на телове и арматурна стомана е вид релефно електросъпротивително заваряване [1]. Якостта на металната конструкция до голяма степен зависи от качеството на завареното съединение и за това в практиката се въвеждат технологии за безразрушителна оценка на готовото изделие. Най-често се използва ултразвуковия метод за оценка на големината на заварения участък, налице са данни и за контрол на метални конструкции в автомобилната промишленост чрез ехография [2, 3]. Тези методи са приложими за контрол на листови материали, поради необходимост от спазване на изисквания за реализиране на технологиите и по принцип са трудно приложими за прътови конструкции със сложна форма на външната повърхнина (каквато е конструкцията на армираната арматурна мрежа за железобетон и отчасти на оградна мрежа).

Виброакустическият метод е един от първите прилагани методи за безразрушителен контрол и се отличава с простота и ефективност при контрола на машинни елементи. Основана се на тясната връзка между еластичните свойства на една трептяща система и собствената честота на трептении (резонанса) на системата. Методът с успех се използва за ускорено изпитване на отговорни конструкции от транспортното машиностроене, като спирачни дискове, зъбни колела, алуминиеви отливки [по данни от Blum-Novotest GmbH, RTE Akustik + Prüftechnik GmbH, 4, 5]. Чрез него се контролират отклонения в конструктивните форми, наличие на вътрешни и повърхностни нецялостности, дава се комплексна оценка на свойствата на материала. Направеното проучване не установи провеждането на научни изследвания на конструкции, създадени чрез електросъпротивително заваряване чрез акустико-резонансния метод.

Основно изискване от армираната арматурна мрежа за бетон е да притежават достатъчна механична якост на телта и на съединенията за образуване на мрежата. Стоманата на армировката се изработва по стандартите

ASTM и DIN-488 под марките, съответно, AISI1010 и BSt500M, а телта е студено изтеглена с диаметър от 4 (3) до 10 мм и оребена чрез пластична деформация (срещат се и др. варианти). По данни на «Стомана индустри», стоманата е с висока якост и има перлит-феритна структура в сърцевината и мартензитна структура на повърхността. Телта е съединена в мрежова конструкция чрез точково заваряване в заводски условия, а качеството се гарантира от завода-производител чрез разрушителни изследвания в лабораторни условия. Състоянието на готовото изделие след заваряване зависи от редица фактори, като режим на заваряване и състоянието (в т.ч. чистота) на заваряваните повърхнини и са възможни видими и незабележими дефекти. Удачно е разработването на технологии за бърза оценка на качеството на арматурните мрежи за производство на железобетон, в т.ч. от потребителя преди заливане на мрежата с бетон.

Цел на настоящата работа е да обоснове приложението на виброакустическия метод за оценка на състоянието на електросъпротивително заварените кръстови съединения от състава на армирани арматурни конструкции за железобетон.

2. Постановка на изследването

На фиг. 1 а) е показана схема и динамичното поведение на система с една степен на свобода на. Уравнението за движение на тялото е [4]:

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = f(t)$$

(1)

където m е масата, c - коефициентът на затихване и k - коравината. Съгласно това уравнение сумата от всички сили (инерционните - $m\ddot{x}(t)$, на вътрешното триене - $c\dot{x}(t)$ и на силите за продължаване на движението), действащи върху масата m е равна на външно приложената сила $f(t)$ (фиг. 1 а). Динамичното поведение на системата се определя от функцията:

$$H(\omega) = \frac{1}{-m\omega^2 + ic\omega + k}$$

(2)

където ω е кръговата честота. От тази зависимост при $c=0$ следва и често използваната зависимост в

машиностроенето за определяне на критична ъглова скорост на пръв вал $\omega_n = \sqrt{k/m}$.

Динамичното поведение на система с приложени сили $f_i(t)$ (фиг. 1 б). е сложно и се определя във вида:

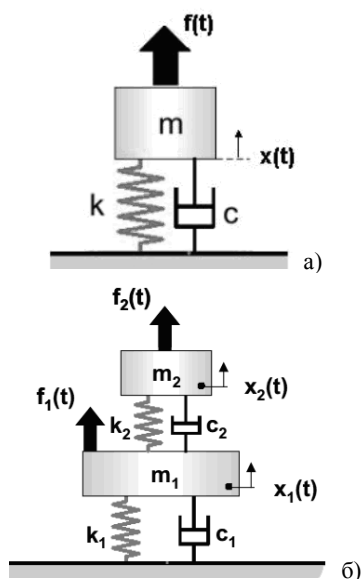
$$H(\omega) = \sum_{n=1}^N \frac{\mathbf{R}_n}{\omega - \lambda_n} + \frac{\mathbf{R}'_n}{\omega - \lambda'_n}$$

(3)

Тук λ_n и λ'_n са комплексни корени при моди n , като $n = 1 \div N$, $\mathbf{R}_n$ са матрици, които се дефинират чрез:

$$\mathbf{R}_n = \lim_{\omega \rightarrow \lambda_n} \mathbf{H}(\omega)(\omega - \lambda_n)$$

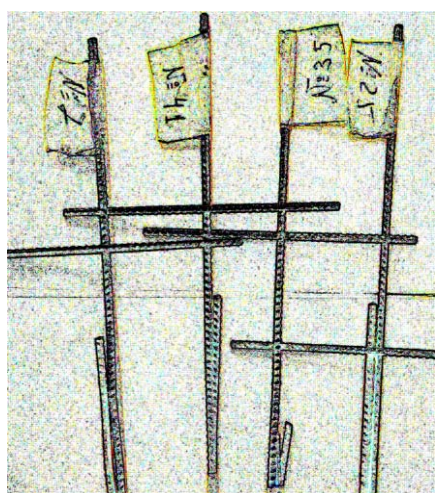
(4)



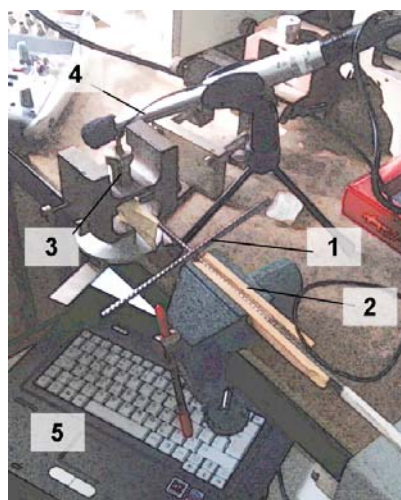
Фиг. 1. Схема за представяне на системи с една (а) и с повече от една (б) степени на свобода.

Както се вижда от (3-4) големината на точката от контактната област на завареното съединение е в пряка връзка с конструкцията на армираната мрежа. От гледна точка на получаването на по-ясни признаци за дешифриране на текущо състояние в практиката е за предпочитане опростяване на конструкцията, респективно, намаляване на факторите, оказващи влияние върху резонансните честоти. Тази препоръка обосновава кръстовидната форма, част от арматурната мрежа, да бъде избрана като основен образец за изследване.

В настоящето изследване влиянието на контактното петно се оценява теоретично чрез компютърна симулация на собствени честоти в участък от мрежа и чрез експериментално изследване на реални образци. Образците са конструирани от цилиндрични тела с форма, подобна на съществуващи образци, като са променени големината на завареното петно, вида на материала, грешки в застопоряването. На фиг. 2 а) са показани експериментални образци-свидетели от изследване на режима на заваряване върху якостта на завареното съединение, при което е търсена оптимална (максимална) якост на заварените участъци. Образците са изработени от армирана стомана със диаметър на тела 4 mm и са избрани с различна големина на точката в контактната област на заварените съединения, оценена визуално. На фиг. 2 б) е показана опитната уредба за експериментално изследване. Изследваните образци 1 са застопорявани към фундамент с помощта на стяги и специализирани виброизолиращи подложки от дървесни частици. В образците са възбуждани вибрации чрез магнитен преобразувател 3, захранван от генератор с плавно изменение на честотата и с помощта на стабилизатор електрически усилвател. Регистрира се звуковото налягане, причинено от вибрациите на повърхнините на изследвания образец чрез измервателен микрофон с линейна скала в диапазона 30 Hz – 18 kHz и чрез USB интерфейс се записва в компютър 5. Записания сигнал се анализира по Фурие, а резонансните честоти се определят по максимумите на амплитудата. Получените данни се използват за сравнителна оценка на теоретичните резултати.



а)



б)

Фиг. 2. Изображение на изследваните образци (а) и на опитната уредба (б).

Теоретичното изследване на собствените честоти на трептене на образците е извършено при следните предпоставки:

- образците, в т.ч. и в областта на заваряването, са изработени от еднороден материал;

- физико-механичните свойства на материала са определени по литературни данни (от базата данни на фирма SolidWorks);

- образците са изработени абсолютно точно, не са взети в предвид геометрични грешки вследствие от

промяна на формата при отрезни операции, не е отчетена деформацията от армирането по повърхността на телата;

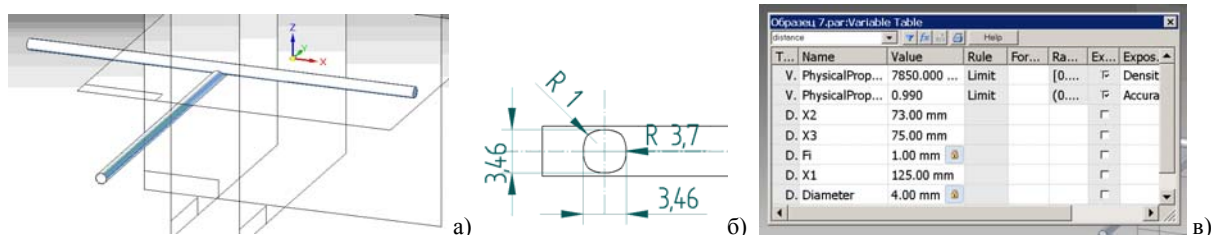
- застопоряването на образците е абсолютно твърдо, не са взети предвид възможни деформации в закрепването, в т.ч. и във фундамента.

Моделирането на изследваните образци е извършено в средата 3D моделиера на пакета SolidEdge, като за опростяване на модела телта е представена като цилиндрично тяло (фиг. 2 а). Моделирани са два вида образци: 1) - за предварително оценка на големината на точката на заваряване чрез виброакустическия метод и 2) – моделиране на съществуващи образци и експериментално потвърждение на получените теоретични резултати. Големината на точката в контактната област на кръстовите заварени съединения се дефинира чрез:

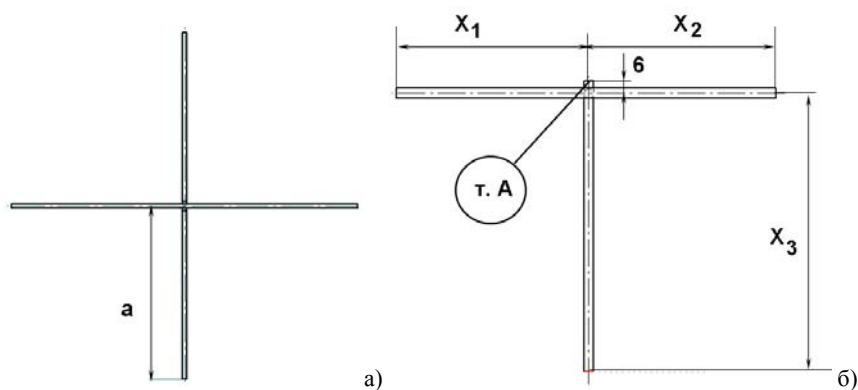
- геометрично формиране на контактни повърхнини като окръжности при провеждане на предварителните изследвания и

- задаване на сближаване между виртуално заварените участъци, подобно на заваряването на реално съединение; в този случай големината на контактното петно е със сложна форма и се определя в средата на CAD (фиг. 3 б).

Размерите на образците са управлявани с помощта на параметрично задаване в менюто Variable на SolidEdge (фиг. 3 в) с което е постигната гъвкавост и ефективност на изследването. Моделите са разпознати в 3D среда на софтуерния пакет SolidWoks, зададен е



Фиг. 3. Характерни етапи за създаване на моделите; а) – създаване на модел, б) – оценка на контактното петно, в) – автоматизирано построяване на модел.



Фиг. 4. Схеми за теоретично изследване на опитните образци; а) за провеждане на предварителни изследвания, б) за моделиране на съществуващи образци.

На фиг. 4 б) е показана схема на опитни образци, изработени по размер на съществуващи кръстовидни образци, част от изследване на оптимизация на режима на заваряване. Размерите на образците и силата на разрушаване $F_{раз}$ в заварения участък са показани в табл. 2. Те са изработени от стомана BSt500S с параметри: модул на линейна деформация $E = 2.10^{11}$ Pa, модул на ъглова деформация $G = 8.10^{10}$ Pa, коефициент на Поасон $\nu = 0.29$ и плътност $\rho = 7870$

материал с неговите физикомеханични параметри и са приложени идеализирани опорни реакции (запъване) в целеви зони.

Изображения на използваните модели са показани на фиг. 4. Предварителните изследвания са проведени на симетричен кръстовиден образец (фиг. 4 а), запънат по единия профил. Образецът е с размер $a = 77$ mm, модул на линейна деформация $E = 2.1.10^{11}$ Pa, модул на ъглова деформация $G = 7.9.10^{10}$ Pa, коефициент на Поасон $\nu = 0.28$ и плътност $\rho = 7800$ kg/m³. Изследвани са образци с различна големина на диаметъра на точковата заварка, те са показани в табл. 1. В този случай собствените честоти на трептящата система ще зависи от дължината на другото тяло и големината на точковата заварка.

Табл. 1. Размери на изследваните образци за направа на предварителни изследвания.

Образец №	Диаметър d на точковата заварка, mm
1	3.36
2	2
3	1
4	0.5

kg/m³. Големината на напречното сечение на областта на заваряване е $S = 13.32, 10.15, 5.69$ и 1.32 mm² и е получено чрез сближаване между центрите на цилиндричните тела. Те са получени при сближаване между осите, съответно, 1.5, 1, 0.5 и 0.1 mm. В първо приближение е пренебрегнато пластифицирането на цилиндричните сечения. Собствените честоти са определени при запъване на образците в т. А, аналогично на проведените експерименти. Като се има предвид, че за стомана BSt500 след повърхностна пластична деформация границата на якост при нормално

натоварване е в рамките на $\sigma_B = 700$ МПа, съответно, при срязване $\tau_B = 490$ МПа, то по елементарни зависимости за минималното и максималното лице S на контактното петно на изпитваните образци се получава $S_{\max} = 13 \text{ mm}^2$ и $S_{\min} = 16 \text{ mm}^2$. Следователно налице е изменение (намаляване) на контактната S площ около 12 %.

3. Резултати от изследването.

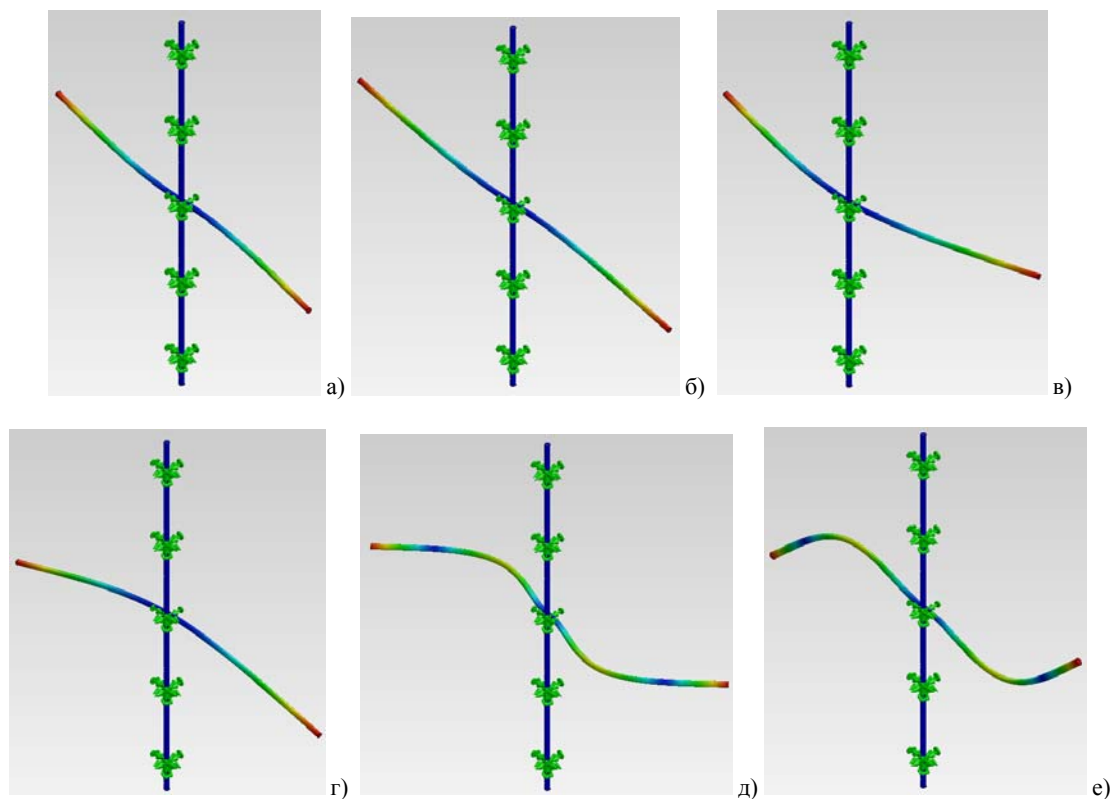
На фиг. 5 са показани за честотите f на първите 6 моди за предварителна проверка приложението на виброакустическия метод за оценка на точковите заварки. За по-добра оценка на влиянието на големината на контактното петно е определена изменението на честотата Δf_i на мода i при намаляване на максималната заварена площ S при $d = 3,36 \text{ mm}$, $\Delta f_i = f_{d=3,36 \text{ mm}} - f_i$. Тук f_i е собствената честота образците с № 2, 3, 4. На фиг. 6 а) и б) са показани резултати за честотата f на първите шест моди и честотното изменение Δf_i на модите i от предварителното изследване при намаляване на диаметъра на точката на контакт на завареното съединение от 2 до 0.5 mm. Резултатите са получени при запъване на единия профил на образеца. При оценка на параметъра Δf_i като основни са приети честотите на образеца 1 (с диаметър на точката 2 mm). Резултатите показват, че деформациите по двойки на близките по честота моди се групират и са в две взаимно перпендикулярни равнини. Намаляването на диаметъра на точката на заварка предизвиква съществено изменение на собствените честоти на кръстовидния образец. Това

Табл. 2. Размери на изследваните образци.

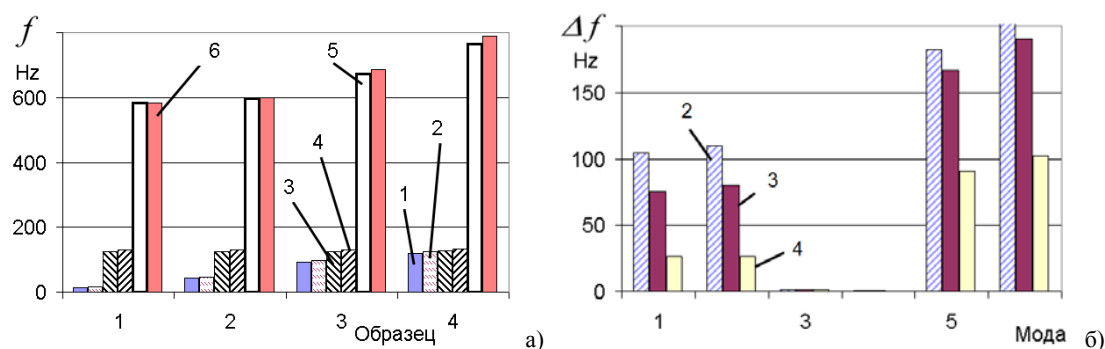
Образец №	X_1	X_2	X_3	$F_{\text{раз.}}, \text{ N}$
7	111	75	77	7800
35	110	75	73	7800
41	103	72	78	6800

изменение е пропорционално на отклонението на размера на точката. Така например, изменението на диаметъра d от 3,36 до 2 mm предизвиква изменение около 25 Hz за първа и втора мода и около 90 – 100 Hz – за пета и шеста мода. За стойност на диаметъра 1 mm това изменение е, съответно, 45 Hz и 160 Hz. Получените резултати доказват, че е налице пряка зависимост между собствените честоти и големината и големината на заварения участък при съединяване на кръстовидни образци чрез електросъпротивително заваряване. Получената разлика в собствените честоти от предварителното изследване е значителна и е удачно да се използва при оценка на състоянието в реални конструкции.

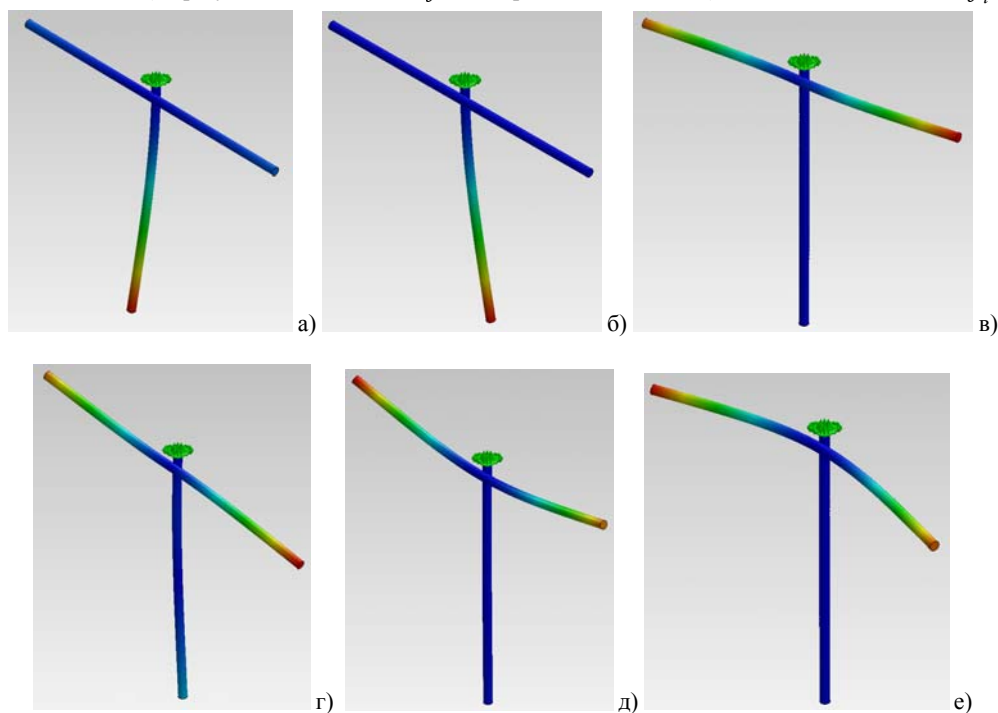
На фиг. 7 са показани деформация на първите шест моди на образците от табл. 2. Аналогично на предишното изследване, деформациите по двойки на близките по честота моди се групират и са в две взаимно перпендикулярни равнини, а техните честоти са близки по стойност. Честотите на модите са сравнени с експериментални данни, получени чрез изследване на реалните образци и при идентични при моделните изчисления условия. Типични резултати от експерименталните резултати са показани на фиг. 8. Точността за определяне на резонансните честоти е в рамките на $\pm 2 \div 4$ Hz.



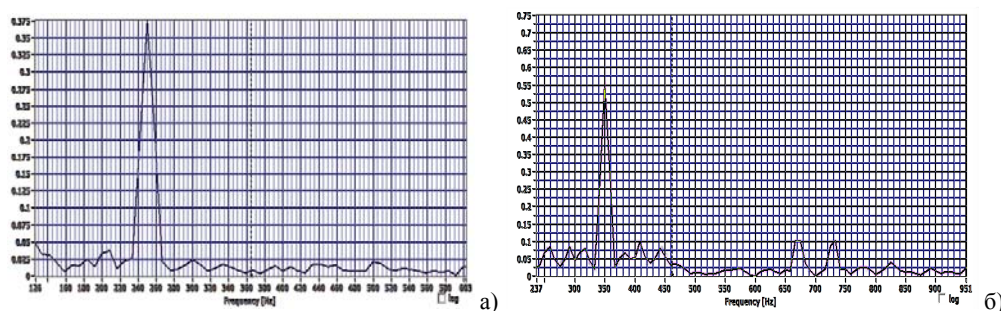
Фиг. 5. Деформация при моди 1 (а), 2 (б), 3 (в), 4 (г), 5 (д) и 6 (е) .



Фиг. 6. Резултати от предварителното изследване на възможността за оценка на големината на завареното петно чрез виброакустическия метод; а) – резултати за честотата f на първите шест моди, б) - честотно изменение Δf_i на модите n .



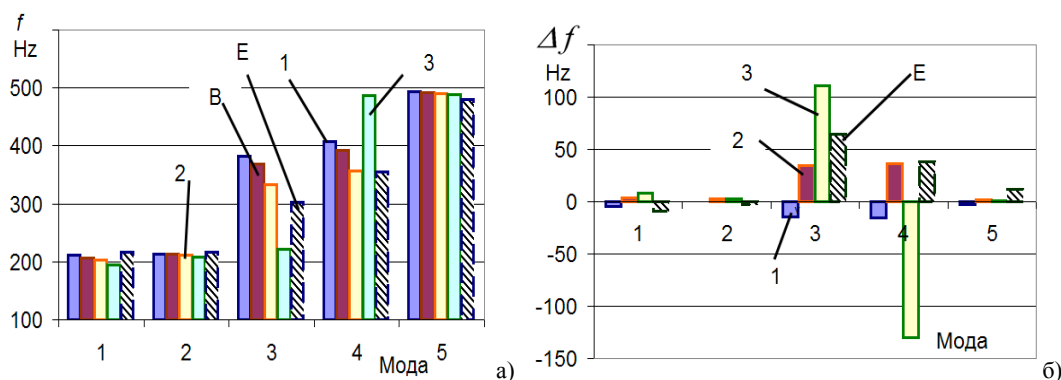
Фиг. 7. Деформация при моди 1 (а), 2 (б), 3 (в), 4 (г), 5 (д) и 6 (е) на модели на опитни образци.



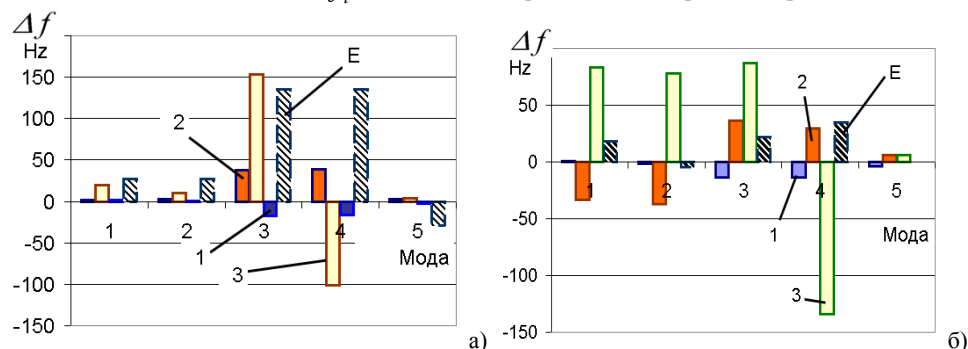
Фиг. 8. Типични резултати при изследване на образец № 41 за моди първа (а) и пета (б).

Резултати за честотите f_i за първите пет моди, определени за образец 7 са показани на фиг. 9 а). Тук 1, 2. и 3 са означени модите за контактна площ, съответно, $S = 13.32, 5.69$ и 1.32 mm^2 , с В – за контактна площ $S = 10.15 \text{ mm}^2$ (която е приета като образец с базова и достатъчно голяма площ) и с Е – експериментални резултати. При оценка на експерименталните данни са филтрирани честоти, оценени като хармоници на вече установени резонансни трептения. Налице е групиране на честотите за моди 1, 2 и 5 и значителна разлика в

честотите за модите 3 и 4. Честотната разлика Δf_i между модите за образците от 1 до 3 и експерименталните резултати от една страна и за образца с базова площ се вижда по-ясно на фиг. 9 б); $\Delta f_i = f_i - f_{S=10.15 \text{ mm}^2}$. По стойността на честотната разлика Δf_E може да се определи, че контактната площ на образца 7 се намира между 5.69 и 1.32 mm^2 , като е налице разлика с действителната стойност около два пъти.



Фиг. 9. Резултати от изследване на изменението на модите в резултат на резонансните честоти за образец 7; а) - честоти на модите от 1 до 5; б) - честотно изменение Δf_i на модите n спрямо тези на образца с приета базова площ на контакта.



Фиг. 10. Резултати за честотно изменение Δf_i на модите n за образци 35 (а) и 41 (б).

На фиг. 10 са показани резултати за Δf_i на модите n за образци 35 и 41. Подобно изследването за образец 7, големината на контактното петно в областта на електросъпротивителната заварка е в рамките 5.69 и 1.32 mm^2 . Въпреки, че е налице сравнително добро групиране на експериментални и теоретични резултати, то с проведеното изследване трудно може да се направи разлика в якостта за образец 41. Причините се отдават на особености в запъването на реалните образци, отклонения между еластични свойства на материала, в т.ч. и наличие на анизотропия на материала в резултат на пластифициране на заготовката при изтегляне на телта, термична обработка, а така също и геометрични отклонения при създаване на теоретичните модели.

4. Основни изводи от изследването

На базата на направените симулационни и експериментални резултати може да се направят следните основни изводи:

- Налице пряка зависимост между собствените честоти и големината и големината на заварения участък при съединяване на кръстовидни образци чрез електросъпротивително заваряване.

- Получената разлика в собствените честоти е значителна и е удачно да се използва при оценка на състоянието в реални конструкции. При провеждане на експериментални изследвания е необходимо да се избере начин на закрепване на опитните образци с оглед получаването на максимална чувствителност при изследване на големината на областта на заварка.

- За подобряване на точността на изследването е необходимо отчитане на особености в запъването на реалните образци, отклонения между еластични свойства на материала, в т.ч. и наличие на анизотропия на материала в резултат на пластифициране на заготовката при изтегляне на телта, термична обработка, а така също

- За подобряване на точността на изследването е необходимо отчитане на особености в запъването на реалните образци, отклонения между еластични свойства на материала, в т.ч. и наличие на анизотропия на материала в резултат на пластифициране на заготовката при изтегляне на телта, термична обработка, а така също и геометрични отклонения при създаване на теоретичните модели.

Литература

1. Tashev P., A. Tasev, M. Manilova, Y. Lukarski "Methodology to determine the technological parameters of the process of electro-resistance welding of cross wires", VIth International Metallurgical Congress: Metallurgy, materials and environment, Ohrid 29.05-01.06.2014, Republic of Macedonia, W1 pp1-6, ISBN 978-9989-9571-5-4.
2. Leonid C. Lev. Hybrid NDE Method for Spot Weld Quality Evaluation. Presenter: Martin H. Jones. General Motors Company LLC. DOE Vehicle Technologies. 2012
3. Vural M., A. Akkuş. The ultrasonic testing of the spot welded different steel sheets. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, VOLUME 18, ISSUE 1-2, 2006.
4. E 2001 – 98. Standard Guide for Resonant Ultrasound Spectroscopy for Defect Detection in Both Metallic and Non-metallic Parts. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.
5. Guillaume P. MODAL ANALYSIS. Department of Mechanical Engineering, Vrije Universiteit Brussel, Brussel, Belgium.

	АКУСТИКА Национална конференция "Акустика 2014"	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

NON-STATIONARY RANDOM WIENER SIGNAL DETECTION RULE FOR CASE OF MONOSTATIC RECEPTION

Ph.D. V.V. Kudriashov; Assoc. Prof., Ph.D. K.M. Alexiev

Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Information and Communication Technologies - Sofia, Bulgaria
kudriashovvladimir@gmail.com; alexiev@bas.bg

ОТКРИВАНЕ НА НЕСТАЦИОНАРЕН ВИНЕРОВ СИГНАЛ ОТ ЕДНОПОЗИЦИОНЕН ПРИЕМНИК

д-р В.В. Кудряшов; доцент д-р К.М. Алексиев

Българска академия на науките, Институт по информационни и комуникационни технологии - София, България
kudriashovvladimir@gmail.com; alexiev@bas.bg

Abstract: The generation of acoustic images is an important task in area of acoustic monitoring. A wide range of applications is associated to the task of detection and processing of non-stationary random acoustic signal. In order to reduce the computational cost in processing of the received signals it is proposed to use a simple, technically feasible rule to their detection/estimation which takes into account the threshold level. This rule was obtained according to the maximum likelihood method. The paper reveals how to obtain detection rule for estimation of non-stationary random Wiener signal in case of non-stationary interferences.

Keywords: Non-stationary random Wiener signal, detection rule, maximum likelihood method, detector/estimator.

Introduction

In the last years a new technology in acoustic signal processing and visualization was introduced [1]. This technology uses simultaneously acoustic sensors with image sensor. The idea is to present spatial localization of sound sources. The resulting acoustic image visualizes parameters of sources of received signals in angular coordinates azimuth-elevation. The resulting high-quality acoustic image depends on careful choice of suitable detection rule, especially in the case of non-stationary signals. The signals detection/estimation block diagram is formed based on corresponding detection rule. Such a diagram should be as simple as possible and technically feasible and plays an essential role in acoustic signal processing algorithms [2-8]. The block diagram for non-stationary signal detector which operates with respect to the corresponding threshold level has not been found [3-8]. The work is aimed to design of detection rule for monostatic non-stationary signals reception as well as to design of corresponding block diagram.

Problem statement and solution

Let us consider emission of an object as a realization of narrowband random non-stationary signal with zero mean value [2, 9]. Next, let us assume that the signal spectrum is not limited in the antenna system as well as in the receiver, moreover the instantaneous values of the signal are Wiener distributed.

Let us define $x(t)$ as a non-stationary Wiener signal. We will take into account unwanted interferences $n(t)$ which are non-stationary Wiener noise. The received signal $y(t)$ can be expressed as follows [5]:

$$(1) \quad y(t) = A x(t) + n(t),$$

where $x(t)$, $n(t)$ - are independent realizations of signal and interference which are non-stationary Wiener processes with zero mean values; A is random Boolean value which equals to 0 in case of absence of signal $x(t)$ and equals to 1 in case of presence of this signal; time t is limited by the observation time T , namely $0 < t < T$. The samples of both signal $x(t)$ and interference $n(t)$ are obtained during observation time.

The increments $y(t+\tau) - y(t)$ of Wiener process $y(t)$ are independent and their values are normally distributed [9]. The first two central moments of these increments [2, 3] are:

$$(2) \quad \begin{aligned} m[y(t+\tau) - y(t)] &= 0, \\ m\{[y(t+\tau) - y(t)]^2\} &= \sigma_n^2 |\tau|, \end{aligned}$$

where σ_n^2 , $[V^2/s]$ is the variation of velocity of increments of Wiener signal and symbol m denotes statistical averaging of realizations.

The assumption on digital signal processing enables one to present the received signal (1) as Kotelnikov series with constant interval of temporal sampling $\Delta t = 1/(2B)$, where B is the bandwidth of antenna system and receiver, thus:

$$(3) \quad y(t) = \sum_{i=1}^N y_i \frac{\sin[\pi(t-i\Delta t)B]}{\pi(t-i\Delta t)B}$$

where $y_i = y(i\Delta t)$, $N = T/\Delta t = 2BT$.

Let us associate the process $y(t)$ with vector $Y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$ of coefficients y_i of series (3). The N -dimensional probability density of vector Y is defined as [2]:

$$(4) \quad p_N(Y) = \prod_{i=1}^N \left[\frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi \Delta t}} \exp \left(-\frac{\Delta y_i^2}{2\sigma_n^2 \Delta t} \right) \right],$$

where Δy_i is an increment of input signal for temporal samples i ; σ_n - obeys expression (2).

The likelihood ratio is determined by using the classical approach to procedure of detection [4, 5]. In order to determine the ratio let us find probability density function for vector Y in case when signal $x(t)$ is present, $A = 1$. Since the elements of vector $Y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$ are independent and Wiener distributed, the N -dimensional probability density function of the vector Y in case when $A = 1$ is expressed as:

$$(5) \quad p_N(Y / A = 1) = \prod_{i=1}^N \left\{ \frac{1}{(\sigma_n + \sigma_s) \sqrt{2\pi \Delta t}} \times \exp \left[-\frac{\Delta y_i^2}{2(\sigma_n^2 + \sigma_s^2) \Delta t} \right] \right\},$$

where σ_s^2 is variation of velocity of increments of signal $x(t)$.

The quotient from division of (5) and (4) gives us the likelihood ratio:

$$(6) \quad L(Y) = \prod_{i=1}^N \left\{ \frac{\sigma_n}{(\sigma_n + \sigma_s)} \times \exp \left[\frac{\Delta y_i^2}{2\Delta t} \frac{\sigma_s^2}{\sigma_n^2 (\sigma_s^2 + \sigma_n^2)} \right] \right\}$$

The natural logarithm of the latest expression is more appropriate for the technical implementation. Let denote the square root of the ratio of variations of velocities of increments of signal and interfering background by q , namely $q = \sigma_s / \sigma_n$. Thus we obtain:

$$(7) \quad \ln L = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\Delta y_i^2}{2\sigma_n^2 \Delta t} \right) \left(\frac{q^2}{1+q^2} \right) - \sum_{i=1}^N \ln(1+q).$$

For the case of large ratio when $q \gg 1$, the likelihood ratio from (7) is estimated through summation of squares of all increments Δy_i^2 of the received signals, normalized on the square of increments of interfering background $2\sigma_n^2 \Delta t$. The second addend of the latest expression essentially acts as the detection threshold. This addend grows with grow up of q . It significantly reduces for q close to one. The decision on the presence of the signal is adopted if the first term (7) is greater than its second term. Otherwise, a decision about the absence of a signal is adopted.

For the case of small ratio $q \ll 1$, the algorithm is modified

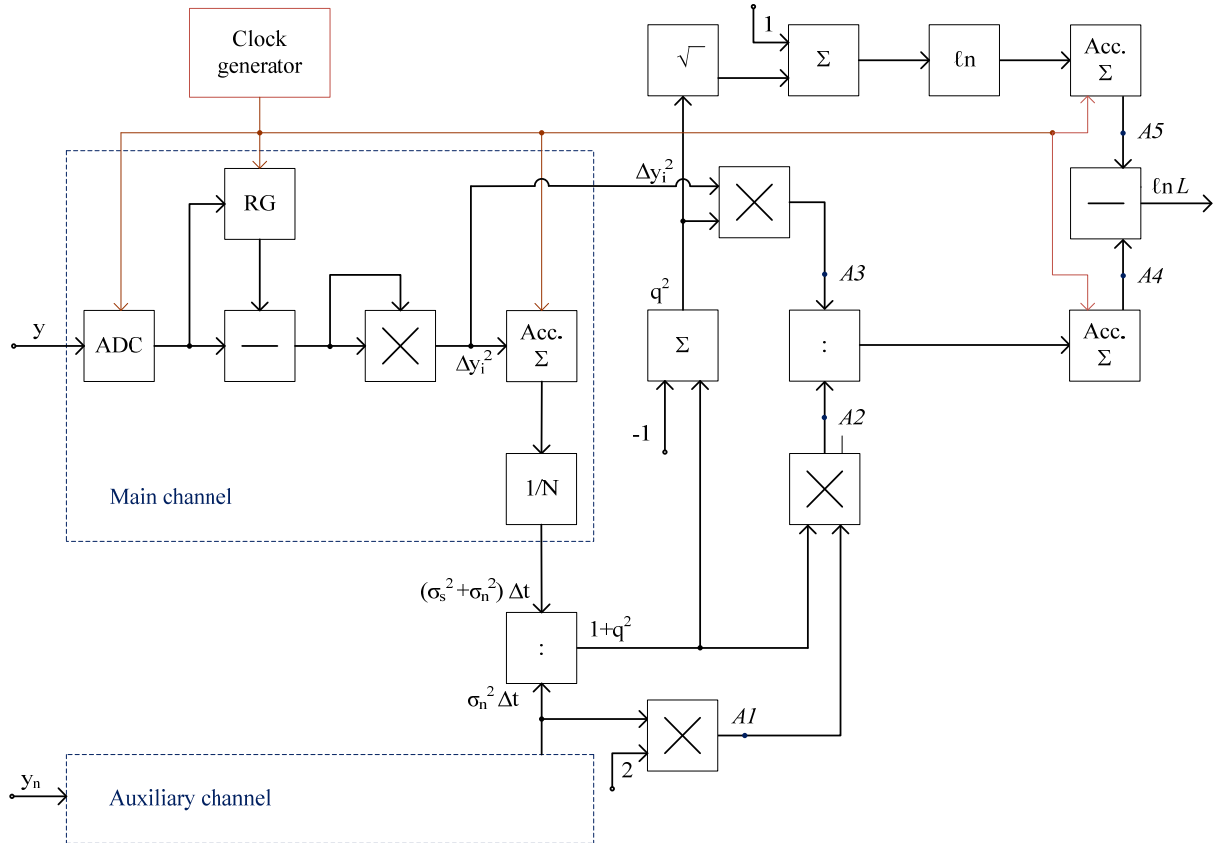


Fig. 1 – Block diagram for non-stationary random Wiener signal detector/estimator of angular coordinate

to weighted summation with respect to weights q^2 . The detection threshold for the latest case becomes close to zero.

The procedure of signal detection often involves estimation of direction of arrival of the signal. Typically the signal direction of arrival does not coincide to the direction of arrival of interferences. Thus an auxiliary channel with antenna can be used in order to extract the interfering background. The auxiliary channel has a zero gain in direction of main lobe of the main channel antenna pattern. The means of sidelobe levels in antenna patterns of the both channels are the same. In this case the block diagram of the detector/estimator (7) of direction of arrival of non-stationary Wiener signal takes the form shown in Fig. 1. The auxiliary channel is similar to the main channel. The clock generator signal provides synchronization of the blocks of this scheme.

Let consider processing of $y(t)$ according to the block diagram (Fig. 1). The input signal of the main channel is y . The output of the analog-to-digital converter (block "ADC" in Fig. 1) gives the coefficients y_i of series (3). The output of the subtraction block of the main channel gives the values Δy_i . Then follows the multiplier of this channel which gives Δy_i^2 . The latest is the numerator of the first factor of the first term of expression (7). Similarly, the output of auxiliary channel is equal to $\sigma_n^2 \Delta t$. In the point A1 of this block diagram we re-

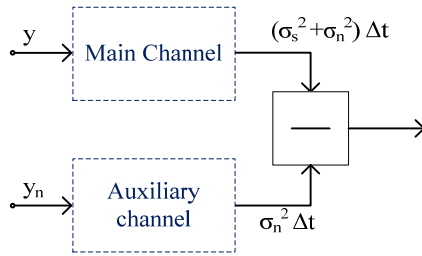


Fig. 2 – A simplified block diagram for non-stationary random Wiener signal detector/estimator of angular coordinate in case of spatial difference between valuable signal and unwanted interference

ceive the denominator of the first factor of (7) (the duplicate output of auxiliary channel). The denominator of the first term of this expression we obtain in the point A2. The numerator of this term we get in the point A3. The first term is obtained in the point A4. The second addend of the latest expression which can act as the detection threshold is obtained in the point A5. In the output of the subtractor we obtain the logarithm of likelihood ratio (7).

The block diagram in Fig. 1 can be used for hardware/software implementation. Decision on the presence of non-stationary Wiener signal is taken after comparison with the threshold. Decision on the presence of the signal in particular angular coordinate is taken using the maximum of the output signals.

It is complicated to ensure the closeness of the means of sidelobe levels of main channel and antenna pattern of auxiliary channel in practical conditions. Let us simplify the block diagram. The new block diagram enables only subtraction (comparison) of output signals of main and auxiliary channels (Fig. 2).

Signal processing must ensure best use of differences between valuable signal and interferences. In some practical conditions, the auxiliary channel frequency range may not coincide such of main channel. The latest enables to estimate the level of unwanted non-stationary Wiener noise on the output of the system. Adaptive reception techniques [5] can use such difference between valuable signal and interferences (σ_n^2) in order to suppress the latest [5]. Temporal and combined differences between valuable signal and interferences can be used as well as frequency range differences.

Conclusions

In the paper the problem of estimation of non-stationary random Wiener signal in case of non-stationary interferences is considered. A detection rule is proposed for monostatic case. The detection threshold for this rule is defined as well as weight in the summation. Technically feasible block diagrams are proposed for implementation of this detection rule.

Acknowledgment

The research work reported in the paper was partly supported by the Project AComIn "Advanced Computing for Innovation", grant 316087, funded by the FP7 Capacity Programme (Research Potential of Convergence Regions)

References:

1. J. Billingsley, R. Kinns, *The acoustic telescope*, Journal of Sound and Vibration, 48, (1976), pp. 485-510.974.
2. Levin, B.R. *Theoretical bases of statistical radio engineering, Vol. 1. Moscow, Soviet Radio 1969, 752 p. (In Russian).*
3. Rozov, A.K. *Detection of signals in non-stationary hydroacoustic conditions. Leningrad, Shipbuilding, 1987, 132 p. (In Russian).*
4. Gusev, V.G. *Systems for space-time processing of hydroacoustic information. Leningrad, Shipbuilding, 1988, 264 p. (In Russian).*
5. Shirman, Ya.D. ed. *Radio Electronic Systems: Fundamentals of Theory and Design, 2nd ed. Moscow, Soviet Radio, 2007, 512 p. (In Russian).*
6. Brüel & Kjær (Sound and Vibration Measurement A/S. *PULSE Array-based Noise Source Identification Solutions: Beamforming - Type 8608, Acoustic Holography - Type 8607, Spherical Beamforming - Type 8606 - Brüel & Kjær Product data 2009, 12 p.*
7. Christensen, J.J. *Beamforming - Brüel & Kjær Technical Review No. 1, 2004, pp. 1-48 (Christensen, J.J., J. Hald).*
8. Hald, J. *High-resolution Fly-over Beamforming Using a Small Practical Array - Brüel & Kjær Technical Review No. 1, 2012, pp. 1-28. (Hald, J., Y. Ishii, T. Ishii, H. Oinuma, K. Nagai, Y. Yokoyama and K. Yamamoto).*
9. Wentzell, A.D. *Course of the theory of random processes. Moscow, Science, 1996, 400 p. (In Russian).*

	АКУСТИКА Национална конференция "Акустика 2014"	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

ACOUSTIC CAMERA – HOW TO SEE THE SOUNDS

Ph.D. V.V. Kudriashov; Assoc. Prof., Ph.D. K.M. Alexiev

Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Information and Communication Technologies - Sofia, Bulgaria

kudriashovvladimir@gmail.com; alexiev@bas.bg

АКУСТИЧНА КАМЕРА – КАК ДА ВИДИМ ЗВУКА

д-р В.В. Кудряшов; доцент д-р К.М. Алексиев

Българска академия на науките, Институт по информационни и комуникационни технологии - София, България

kudriashovvladimir@gmail.com; alexiev@bas.bg

Abstract: The acoustic camera provides fusion of optical camera image and acoustic map. It is aimed to locate and characterize sound sources in wide frequency range. The acoustic maps quality is limited by the system performance. The paper describes basic performance of such complex system manufactured by Brüel & Kjær (Sound and Vibration Measurement A/S). The system consists of non uniform microphone array, input modules and software. The non uniform slice wheel array type WA-1558-W-021 is used. The input modules 3053-B-120 and 3050-B-060 performance is given. Experimental results have been obtained with Pulse LabShop software. Beamforming and other calculations were done by the especially designed software. The paper shows experimental results on phase stability of the system as well a description of its grating lobes. These results define the limitations of equipment for estimation of acoustic signal location and identification.

Keywords: acoustic camera, beamforming, grating lobes.

Introduction

The first acoustic camera system was described in the early 80-th when Billingsley proposed an acoustic telescope [1]. Two years latter a full scale system has been developed for real-time sound source location on full-size jet engines [2] by Billingsley and Kinns. This first system consisted of an array of microphones connected to a small digital computer, via a sequence of preamplifiers, analog filters and analog to digital converters and multiplexer. The computer processed in real time microphone signals and visualized on a color display source distributions with respect to acoustic source position and frequency. The system was designed as mobile and easily transported.

Since that time the architecture of acoustic camera system remains approximately the same. The enhancements mostly consider quality of sensors (microphones), ADC frequency, antenna design and processing software.

The next chapter consists of some preliminary information about algorithms for sensor data processing in acoustic camera systems. Then follows description of tested equipment purchased from Brüel & Kjaer. The received results are provided in the next chapter and lastly some conclusions are summarized.

How to See the Sounds

Acoustic camera system uses two different type of sensors - camera and microphones. As a measurement unit acoustic camera system has to fuse image, received by the camera with the data by microphones in a complex image. This image consists of camera image as a background and contour lines describing sound field as a foreground. To joint these very different data a complicated processing has to be applied over raw signal data received by microphone array. An information for source location and source spectral characteristics has to be determined.

Two different techniques are applied to measure sound field parameters.

The first one - Near-field Acoustical Holography (NAH), proposed by E. G. Williams and J. D. Maynard in 1980 [3], follows the principle of optical holography, invented by Dennis Gabor in 1948. The 2D recording of sound waves (phase and

amplitude), called hologram, is used to reconstruct the 3D sound field. NAH may be used for generation of calibrated images of sound intensity, sound pressure and particle velocity. The main requirements to the NAH acoustic array are to be placed close to the observed source and to be larger than the target of interest. At high frequencies and for the case of large objects the number of measurement points becomes enormous. This can create a number of problems regarding the design of such multi-channel system or regarding validity of assumption concerning stationarity of prolong measurement process when a scanning of the object by smaller antenna is used.

The second technique is realized through beamforming (BF). BF is a spatial filtering of signals from/to sensor array in order to carry out directional signal reception/transmission. BF is closely related with development of phased array transmission in 1905 by Karl Ferdinand Braun, who described in his Nobel lecture a 3 element antenna with directed emission [4]. The wider practical use in radar system BF received during World War II.

In acoustic BF is used to locate sound sources on medium to long measurement distances. The angular resolution depends mainly from antenna size and wave frequency. At low frequency the antenna size has to be bigger to assure good angular resolution. The sound map is estimated focusing the antenna onto the pixels in a plane, parallel to the antenna plane on a given distance. For each point a weighted sum of individual microphone delayed signals is received (so called Delay and Sum Beamforming). The time delay for each microphone depend on the 3D positions of the estimated point and the microphone under consideration and it is calculated in correspondence with the distance from estimated point to the microphone. The quality of BF depends on resolution and maximum sidelobe levels. The resolution is determined by the smallest angular separation of two point sources allowing to be seen as two points. The maximum sidelobe levels will be described by antenna direction pattern. The direction pattern characterizes with one or more main beam/beams (or lobe/lobes) with maximum signal amplification and many others side beams with lower signal amplification. The side beams produce false peaks/sources. The maximum

sidelobe levels, measured relatively to the main lobe define the probability of appearing of ghost sources.

The BF technique characterizes with a good quality images for objects on middle and far distance. In spite of NAH its quality enhances for higher frequencies, but diminishes for lower ones, when the NAH works well. The BF allows implementation of irregular antenna arrays, that generally outperform regular arrays reducing aliasing problem.

Acoustic Camera Equipment

The Brüel & Kjaer acoustic camera features comply with specification in [5-6]. A non-uniform slice wheel microphone array type WA-1558-W-021 is used. Its diameter is ≈ 0.33 cm. The number of microphones is 18.

The microphones have built-in CCLD preamplifier with transducer electronic datasheet (TEDS - IEEE 1451.4 V.1.0). Their dimensions are: 34 mm long, 7 mm diameter. Their sensitivity is 11.2 mV/Pa. The operating temperature range is from 10°C to +55°C. The microphone dynamic range is from 28 dB to 140 dB.

The 6-channel input module delivers Dyn-X technology which expands its dynamic range. The exact dynamic range value depends on the signal quantization and bandwidth. The 12-channel input module has no Dyn-X technology. Both input modules support TEDS transducers; they deliver REq-X technology which flattens the result by “mirroring” the frequency responses. These input modules are mounted in 5 slot Main-frame LAN-XI type 3660-C-000 with battery module type 2831.

Amplitude calibration can be provided in order to make precise power estimation. The pistonphone calibrator type 4228 satisfies IEC 942 (1988) Class 1L or Class 0L (with external barometer) and ANSI S1.40-1984. Adaptor DP-0775 is suitable to perform sequential calibration of all these microphones. It can be performed a fast calibration of 6-microphones using adaptor WA-0728-W-003. The calibration frequency is 251.2 Hz. The calibrator is battery operated. The calibrator delivers high frequency and level stability. It can be used in the field over a wide range of temperature, humidity and pressure while still maintaining high accuracy.

The spatial separation of equipment blocks is limited by their data transfer cables. The acoustic camera consists of 3 main blocks: a microphone array with optic camera, input modules in a frame and a laptop with software. Microphone array data is transferred to input modules with the cable harness WL1297-W-004 2013W21 which length is ≈ 4.5 m. The acquired data is transferred to the laptop with LAN cable AO1450-D-020 2013W13 which length is ≈ 2 m. The optic camera data is transferred to the laptop with USB cable which length is ≈ 6.3 m. Optic camera resolution is 640 points $\times$ 480 points. The main features of the laptop type 7201-E-GB2 (Dell Latitude E6430) are listed below: E6430 CPU, 6 GB RAM, 1 TB HDD, Wi-Fi, Ethernet 1 Gb, DVD-RW.

The both microphone array and optic camera are mounted on tripod Manfrotto 058B and 3D tripod head Manfrotto 229. The load capacity of both tripod and head is 12 kg (safety payload).

The acoustic camera is supplied with full documentation (instruction manual, specifications) to hardware and software modules. Measurement data can be collected with Pulse LabShop (Customized Solution Version 17.1.2). Acoustic maps can be formed with Array Acoustics Post-processing (Version 17.1.2.308). Other existing software and drivers are not listed in this work.

The frequency characteristics given by the acoustic camera manufacturer Brüel & Kjaer (Sound and Vibration Measurement A/S) are given in the table 1.

The quantization rate is 65536 Hz. The acoustic camera upper frequency is 25.6 kHz. The sampling ratio is 2.56.

Table 1 – Frequency characteristics for modules of the acoustic camera.

Module			
Name	Type	Frequency range, kHz	Features
Microphones	4958	0.01 – 20	-
Input Modules	3053 -B- 120	0 – 25.6	1. Sampling rate: 65.5 k samples/s 2. Number of input channels: 12
	3050 -B- 060	0 – 51.2	1. Sampling rate: 131 k samples/s 2. Number of input channels: 6

Synchronization of samples of input modules is provided by using IEEE 1588 Precision Time Protocol.

Some Results from Indoor Tests

The generation of acoustic maps requires accumulation of incoming signals with respect to their delays caused by propagation paths to different transducers. The delay and sum algorithm (Delay and Sum, DAS BF) uses to be performed in time domain. The exact implementation can be performed using analog phase shifters and electronic analog integrator. Thus the integrator output defines signal amplitude in a several angular direction. Multiple input systems enable simultaneous (in parallel regime) estimation of such amplitudes by virtue of increasing complexity of apparatus. The analog electronic circuits' temperature drift and other factors limit apparatus performance. The digital systems alleviate most of these drawbacks. Digital multiple input system enable software implementation of shifts and integration of output signals received from analog-to-digital The converter. The latest decreases apparatus complexity thus improves the system parameters. The especially designed software is applied to estimate antenna performance in indoor conditions.

Experimental investigation of microphone array pattern in presence of multipath propagation of acoustic waves is provided. The experiment includes point-like source of the noise-waveform signal. The narrowband signal central frequencies are from 0.5 kHz to 20 kHz. The signal bandwidth equals to 10 % of central frequency. The input signal power is chosen larger enough in comparison with acoustic camera intrinsic noise power. The integration time was not less than 250 ms. Distance from signal emitter to microphone array (about 0.7 m) is comparable to the array dimensions. Indoor conditions include multiple sound reflectors like room floor, ceiling, walls, office furniture and equipment. Experimental investigations were provided with beam scanning discrete 1 deg. along both azimuth and elevation directions. Experiments with scanning discrete enhanced to 0.1 deg. delivered no qualitative results. The numbers from experimental results were rounded. It is worth to be mentioned that some of Side Lobe level values in tables below were obtained from Grating Lobes.

Side Lobes of antenna pattern are unwanted as well as its Grating Lobes (if exist). Known position of Grating Lobes enables to limit the field of view (opening angles). Applying the reduction of field of view avoids visualization of unwanted peaks at angular positions which correspond to Grating Lobes. Meanwhile the Side Lobes describe level of reception of unwanted signals. The Side Lobes will produce ghosts on acoustic map even in limited field of view. In our experiments the field of view was widened to angular coordinates ± 90 deg. in both azimuth and elevation directions.

The developed software enabled to obtain realizations of antenna pattern. It uses a matrix-form implementation of the mentioned DAS BF and Improved BF algorithms [7]. The obtained results of DAS BF algorithm are given in the table 2. These re-

sults are time dependent: they had variation during measurement time affected by several phase deviation of equipment channels.

The Side Lobes level shows the attenuation of received unwanted interference at a angular direction. The obtained Side Lobe level is not worse than -3 dB (table 2).

The developed software enables to implement Improved BF algorithm as well. It is mentioned that intrinsic (thermal) noises of different receiving channels within transducers are independent. The Improved BF algorithm is based on exclusion of main part of autocorrelation noise concentrated in region of zero mutual delay. This algorithm implementation is in frequency domain. The received signals spectra are used to generate a cross-spectral matrix. The specified above noise is concentrated in region of main diagonal of such matrix. It is proposed to replace the diagonal elements by zeros which enables to improve the

Table 2 – The antenna pattern obtained using DAS Beamforming algorithm.

Center Frequency, kHz	Beamwidth, deg.		Side Lobe Level, dB.
	Azimuth	Elevation	
0.5	140		3
1	62	59	8
3	18	20	8
6	9	10	5
10	7	8	5
18	3	3	8

noise level of the generated map via suppression of Side Lobe level of antenna pattern up to 0.6 dB [7]. The carried out numerical simulations confirmed this statement and the experimentally obtained antenna pattern parameters are given in table 3. Moreover the experimental investigation showed a Main Lobe improvement in case of multipath wave propagation.

Table 3 – The antenna pattern obtained using Improved BF algorithm.

Center Frequency, kHz	Beamwidth, deg.		Side Lobe Level, dB
	Azimuth	Elevation	
0.5	128	152	3
1	57	58	11
3	17	19	10
6	8	9	7
10	6	5	6
18	3	3	7

Grating Lobes of antenna patterns of the non-uniform microphone array were estimated as well. For center frequency 7 kHz, its azimuth position is 40 deg. and its elevation position is 60 deg. For frequencies 8 kHz, 9 kHz, 11 kHz, 13 kHz, 17 kHz, 18 kHz, 19 kHz, their azimuth positions are 36 deg., 31 deg., 24 deg., 20 deg., 18 deg., 17 deg., 16 deg. For the listed frequencies, their elevation positions are 50 deg., 43 deg., 34 deg., 29 deg., 28 deg., 20 deg., 19 deg. These position values may slightly varied. It can be seen from table 4 that temporal variation is 1 deg for frequency 13 kHz.

Table 4 – Estimated positions of Grating Lobes.

Center Frequency, kHz	DAS Beamforming, deg.		Improved Beamforming, deg.	
	Azimuth	Elevation	Azimuth	Elevation
10	27	38	27	26
13	21	28	20	28
15	19	24	20	25
19	14	12	18	19

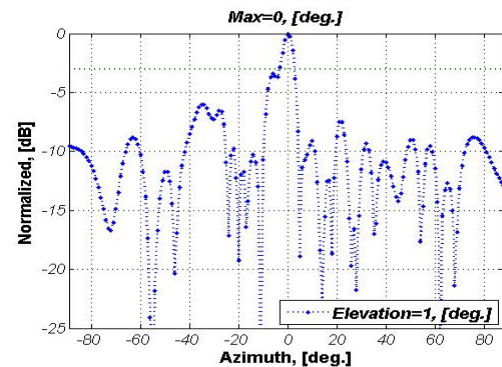
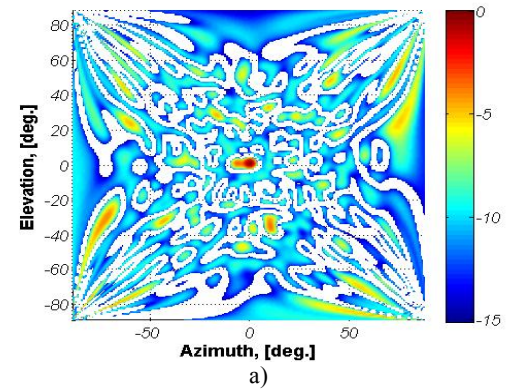
In the next experiment the positions of Side Lobe peaks, closest to the Main Lobe, and with level higher than -10 dB are

estimated (table 5). Some of these peaks are results of multipath propagation of acoustic waves in indoor conditions.

Table 5 – Positions of Side Lobes peaks which are higher -10 dB.

Center Frequency, kHz	DAS Beamforming, deg.		Improved Beamforming, deg.	
	Azimuth	Elevation	Azimuth	Elevation
1	>85	>85	>85	>85
3	>85	>85	>85	>85
6	28	46	9	10
8	20	44	6	10
10	18	35	27	26
12	20	17	17	35
14	16	16	16	16
16	11	22	15	55
18	13	24	14	67
20	12	13	11	26

Let us consider the generated acoustic map sample displayed on Fig. 1. The post-processing raw data was recorded with the acoustic camera. The Improved BF was applied to two point-like emission sources, placed at distance 0.75 m to the microphone array. Cross-range distance between these sources was established on 0.085 m. Center frequency of these noise wave-form sources was chosen 10 kHz. The bandwidth was 10 % of center frequency. Beam steering discrete was 1 deg. Field of view equals to above one (± 90 deg.). Color bar shows correspondence of normalized values (dB) to color scheme. Acoustic map pixels which level is lower than -15 dB are not displayed. Red dots in the center of the map (elevation 1 deg.; azimuth about 0 deg.) correspond to the angular positions of these sources. The normalized acoustic map has peaks on the level



b)

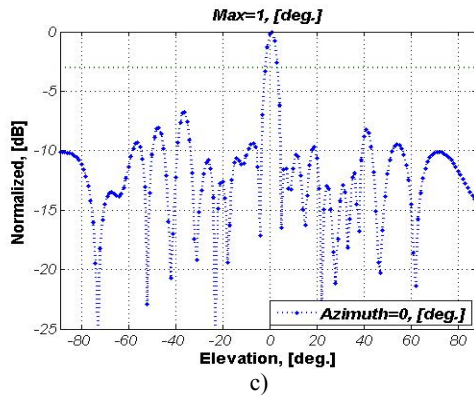


Fig. 1 – Sample of generated acoustic map of two point-like sources of narrowband noise waveform with center frequency 10 kHz: a) acoustic map; b) and c) are elevation and azimuth slices of the acoustic map, correspondingly.

-6 dB (Side Lobe level described in table 3). These peaks in azimuth of 20 deg. and elevation 40 deg. are connected with Grating Lobes (Table 4). Side Lobes exceed -10 dB level in angular range narrower than shown in Table 5.

The obtained experimental results approve the correctness of system technical description. Some small differences may be observed due to indoor test scenario. The experiments show the importance of monitoring of angular directions where high level of the unwanted signals appears. In order to minimize the number of ghost images the field of view of the system has to be reduced to angular coordinates given in table 4. By the reduction some of the interferences will not be displayed on acoustic maps as unwanted peaks but nevertheless will affect these maps via Side Lobes of their own responses.

Conclusions

Beamforming is a valuable method for noise source estimation and localization. In this paper a short overview of acoustic camera systems is given. The technical performance of purchased acoustic camera equipment is estimated. The specialized software for generation of Acoustic Maps is developed. This software implements two beamforming methods: Delay and Sum Beamforming and Improved Beamforming in frequency domain. This software was tested in indoor conditions. The acoustic camera equipment was able to provide consistent results in presence of multipath propagation of acoustic waves. The concordance of the equipment to its specification was checked as well. Specific angular directions have to be accounted via monitoring during experimental investigations.

Acknowledgment

The research work reported in the paper was partly supported by the Project AComIn "Advanced Computing for Innovation", grant 316087, funded by the FP7 Capacity Programme (Research Potential of Convergence Regions).

References:

1. J. Billingsley, *An acoustic telescope*, Aeronautical Research Council ARC 35/364, 1974.
2. J. Billingsley, R. Kinns, *The acoustic telescope*, Journal of Sound and Vibration, 48, (1976), pp. 485-510.
3. J. D. Maynard, E. G. Williams, and Y. Lee, *Nearfield acoustic holography: I. Theory of generalized holography and the development of NAH*. The Journal of the Acoustical Society of America Vol. 78, Iss. 4, October 1985, pp. 1395–1413.
4. Karl Ferdinand Braun - Nobel Lecture: *Electrical Oscillations and Wireless Telegraphy*, p. 239. Nobelprize.org. Nobel Media AB 2013. Web. 28 Sep 2013.
5. Web-based information: See.: <http://www.bksv.com/>
6. Web-based information: See.: <http://www.spectri.net/>
7. Christensen, J.J. *Beamforming – Brüel & Kjaer Technical Review No. 1, 2004*, pp. 1-48 (Christensen, J.J., J. Hald).

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2014”	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

ВИБРОДИАГНОСТИКА НА ТРАНСМИСИЯТА НА ВЕРТОЛЕТА

VIBRATION ANALYSIS OF HELICOPTER TRANSMISSION

маг. инж. А. Чожгова

angelinachozhgova@gmail.com

Технически университет – София, Филиал Пловдив, България

Abstract: Failure of helicopter transmission components can have catastrophic results and, therefore, it is vital to detect incipient failure very early. Early failure detection can lead to the scheduling of repairs with minimum disruption to the normal operations of the aircraft, bringing a saving in both cost and utility value, as well as improving the safety of the aircraft. Vibration analysis is one method which is playing an increasingly important role in early failure detection in helicopter transmissions.

Key words: aircraft, helicopter transmission, vibration analysis, diagnostic systems

1. Увод

Към въздухоплавателните средства (ВС), техните системи и агрегати се предявяват високи изисквания за надеждност и осигуряване безопасност на полетите. Това се отнася особено към жизнено важните елементи, осигуряващи нормалното функциониране на ВС, за които при възникване на неизправности могат да настъпят катастрофални последици. Надеждността за много ВС се определя от надеждността на роторните динамични системи. За самолетите това са елементите от силовата група - двигатели, приводи, агрегати, редуктори и витлата на самолети с турбовитлови двигатели и др. Към вертолетите, освен тези, се отнасят и агрегатите от носещата система – главният редуктор, носещото витло и трансмисията. Роторните агрегати са уязвими от гледна точка на осигуряване безопасността на полетите, тъй като те се отнасят към нерезервираните и не притежават дублиращи системи [4].

2. Предпоставки и начини за разрешаване на проблема

Опитът от експлоатацията на ВС и други механизми и машини показва, че първата поява на дефектите и тяхното развитие до определена величина не водят до незабавни катастрофални последици. Поради това е необходимо да се разработят и предложат методи и средства за откриване на дефектите още в началния им стадий. Важно е да се открият неизправностите в момент, максимално близък до зараждането им, за да се предприемат мерки за предотвратяване на възможността от аварии, чрез извършване на ремонт или смяна на неизправните възли. Един от основните проблеми при ненавременното откриване на неизправностите на агрегатите е, че при появата на тези неизправности, практически във всеки един от тези възли почти неизбежно може да се стигне до сериозни авиационни инциденти (аварии и катастрофи) [1, 4, 7].

Диагностичните системи се използват за оценка на състоянието, откриване и локализиране на дефектните

възли и агрегати или оценка вероятността от възникване на неизправности преди провеждане на съответните работи по техническото обслужване, което гарантира надеждността и безопасността. При контрола на състоянието се подразбира, че се извършва прогресивна деградация на системата или нейните компоненти, за това е необходимо да се провежда текуща оценка на състоянието им. В експлоатацията все повече се използват системи за диагностика, особено за критичните възли и агрегати, срокът на работа на които повече зависи от остатъчния ресурс, отколкото от времето на експлоатацията, каквито са приводите - редуктори, трансмисии и др.

3. Решение на проучения проблем

Контролът на агрегатите от роторната група на самолетите и вертолетите в настоящия момент се осъществява със следните методи:

- оптико визуален метод;
- измерване температурата на маслото;
- измерване налягането на маслото;
- индикация за наличие на стружки в маслото;
- анализ на вибрационните сигнали.

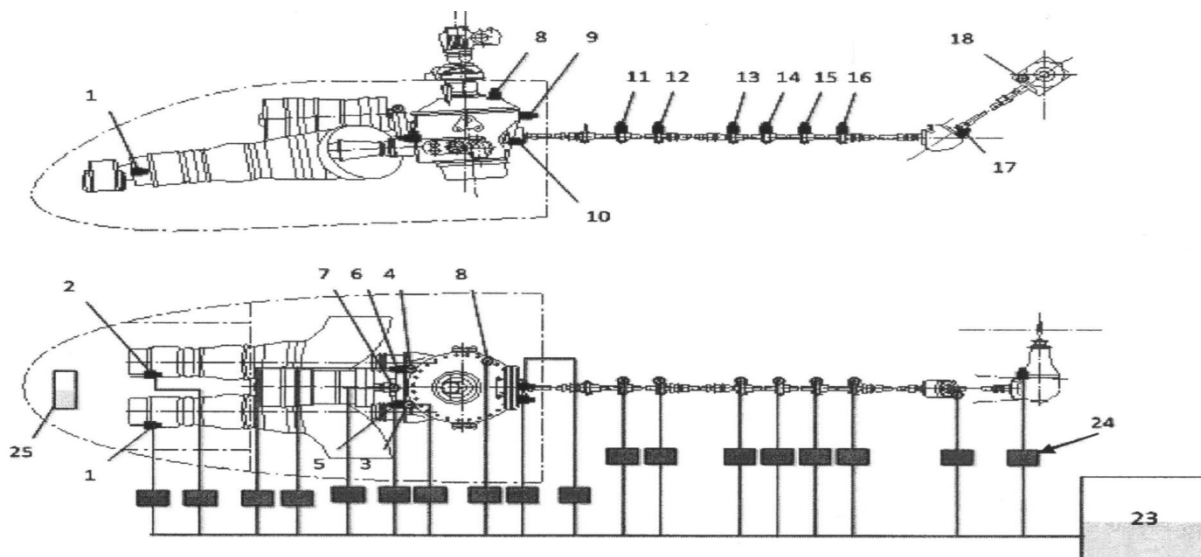
Опитът е показал, че най-универсален и перспективен метод за диагностика на роторните групи на ВС е вибрационната диагностика. Особено важно значение има внедряването на методите и средствата за вибродиагностика на главните редуктори на вертолета, редукторите на турбовитловите двигатели на самолетите и техните трансмисии.

В някои научни публикации [3, 5] са предложени, в разработените системи за събиране на данни, контрол и диагностика на техническото състояние на агрегатите от приводите на витлата на вертолета да се използват пиезоелектрически датчици, които да се монтират върху отделните елементи от конструкцията и да подават сигналите в бордови електронен блок. Датчиците са

Диагностичната система измерва и събира данните, контролира и диагностира техническото състояние на агрегатите на привода на витлата на вертолета по съществуващите вибрации в детайлите, възлите и агрегатите при работещ вертолет (виброконтрол и вибродиагностика). Разработването на система за мониторинг на вибрациите в конструкцията на вертолета

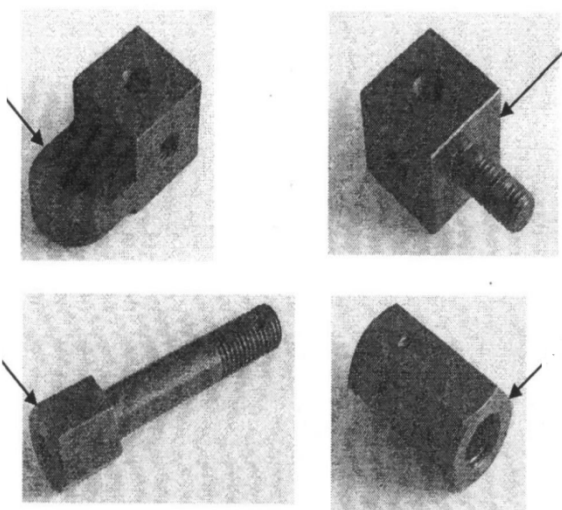
Целесъобразно е монтирането на датчиците за вибрации върху корпуса на агрегатите да се извършва със закрепващи елементи, които значително да улесняват бързата им смяна или демонтаж. Добре е от технологична гледна точка, тези закрепвания да се извършват в места, като - отвори, легла и подложки за полагане на датчиците.

Конкретно за вертолетите от модификациите на Ми-8, контролно-диагностичната система трябва да включва множество датчици на вибрациите, които са показани на фиг. 1.



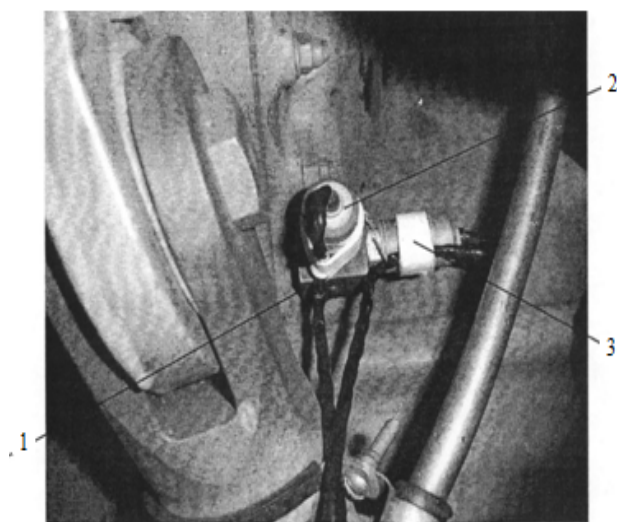
На фиг. 2 съгласно [2] е представено разполагането на точките за измерване на вибрациите на главния редуктор ВР-14, който е монтиран на редица модификации на вертолет Ми-8.

Фиг. 2 Схема на разположението на точките за измерване на вибрациите на главен редуктор



Фиг. 3 Конзоли за закрепване на датчиците за вибрации

Извършените проучвания и оценки на зоните за технологично монтиране на еднокомпонентните пиезоелектрически датчици за измерване на вибрациите показват, че най-целесъобразно е закрепването да се осъществи върху конзолата на предния капак на главния редуктор на вертолета Ми-8 (фиг. 4).



Фиг. 5 Датчици за вибрации на предния капак на главен редуктор

4. Заключение

Разработването на системи за диагностиране на неизправностите на вертолетните трансмисии още в началния им стадий на възникване е актуален в момента проблем. За решаване на тези проблеми авиационната наука от десетилетия е насочила своите усилия в разработването на диагностични системи, позволяващи да се извършва ранно откриване на неизправностите във възлите и агрегатите. При това се вижда, че е целесъобразно да се оцени фактическото (летателно) техническо състояние, а не оценка на техническото състояние, пресметнато по събраните статистически данни на агрегатите от приводелите на витлата на вертолета след изпълнените полети. Наличието на диагностични системи е необходима предпоставка за реализиране на техническо обслужване на ВС "по състояние".

5. Литература

1. Владов М., Д. Добров, Д. Украинцев, Система измерения и индикации амплитуд напряжений на валу несущего винта вертолета «Ансат», труды 9-й научной конференции с международным участием „Космос, экология, нанотехнологии, безопасность” SES2011, 29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria.
2. Войтов А., М. Орловски, В. Чернявский. Переход к эксплуатации по техническому состоянию главного редуктора с контролем вибрационных характеристик. Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии, №2, 2009.
3. Войтов А., М. Орловски, В. Чернявский. Обоснование мест установки датчиков при диагностировании технического состояния главного редуктора вертолета. Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии, №46, 2010.
4. Володко А., Автоматизированный мониторинг работоспособности и применения зарубежных вертолетов. Проблемы безопасности полетов. М. ВИНТИ. 2003 №4.
5. Калинин Д., В. Ананиев, Е. Кожаринов. Обосновании выбора параметров продольной модификации косозубых передач в трансмиссиях вертолетов. Вестник двигателестроения, 2/2013.
6. Ключев В., Неразрушающий контроль: Справочник: том 2, Вихревой контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. 688 с.
7. Hayashi K. Load. Distribution on the Contact Line of Helical Gear Teeth, Part 1, JSME Bulletin, Vol. 6, No. 22, 1963, pp. 336 - 343.
8. Ramalingam G., S. Subramaniam, Engineering Mechanics, 2011, Vol. 18, p. 65-78.

	АКУСТИКА Национална конференция "Акустика 2014"	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

NONDESTRUCTIVE MONITORING CORROSION CONDITION GAS PIPELINE: MAIN TYPES OF CORROSION DAMAGES AND SURVEY METHODS

S. Kovalenko¹. Eng.Ph.D. A. Klymenko¹. Prof. Dr.Sci.Tech. Yu. Gerasimenko². Prof. Dr.Sci.Tech. M. Mihovski³

¹Ye.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, Aklimenko@meta.ua

²National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

³Bulgarian academy of sciences, Institute of metal science, equipment and technologies, Sofia, Bulgaria, nttd@imbm.bas.bg

Abstract. Corrosion damage and the destruction of a main gas pipeline can lead not only to a stop adjacent line but also to a significant reduction in the volume of gas transportation. Stress - corrosion cracking (SCC) and local corrosion of the gas pipeline invokes damages of metal of the pipeline during exploitation, it is often occurs is unpredictable and in the most dangerous cases results in emergencies.

Therefore, primary goal corrosion monitoring of operating gas pipelines have reduced to the early detection of potentially dangerous sections in the field conditions from the point of view of the development of corrosion processes. The basic methods of monitoring, that have passed approbation at the facilities of the gas transportation system of Ukraine and the results of the study of the causes of the destruction of the main gas pipelines are presented in the article.

Keywords: nondestructive corrosion monitoring, gas pipeline, local corrosion, stress - corrosion cracking.

1. INTRODUCTION

Main gas pipelines (MG) is a strategic line structures with high demands on reliability and safety, providing transportation and transit of gas, the full functioning of the whole agricultural and military complex. Term of operation of the entire system of gas pipelines postSoviet area over 15-35 years. Pipeline "Dashava-Kiev" (Ukraine) - a half-century. According to "Naftogaz of Ukraine" on share corrosion accounts for 70% of the total amount of failures and failure. The growth of technical failures and accidents due to the development of corrosion processes necessitated the improvement, development, and implementation of modern achievements in the field of non-destructive testing (NDT) and track monitoring corrosion condition of objects [1-4]. The main goal - the timely detection of potentially dangerous areas, defects and damage; diagnosis of corrosion processes in the early stages of development; determination a residual resource in corrosive wear [2-5].

2. CORROSION DAMAGES AND THEIR CLASSIFICATION

The destruction of MG caused by production technology (quality of steel and pipe welding) and operating (during transportation and installation of pipes, corrosion damage, etc.) defects. In field conditions MG exposed the aggressive action of the transported medium. In a gas containing hydrocarbons, oxygen, carbon dioxide, nitrogen, hydrogen sulfide, formation water with a total salinity of 50 g/l or more, and the chlorine content, calcium and magnesium carbonates, bicarbonates, sulfates, sodium, potassium [2,6]. Influenced by cyclic effect of temperature of the pumped gas loading MG in 24 hours is changed about 6 times that for 20 years is 43800 cycles [3,7,8]. Origin and development of corrosion processes may be due to the presence of defects in the first and second groups, and exacerbated by the concentration of stresses and deformations in the area of the defect, the aging and wear of both the pipe and

the protective coating [3,9]. The most common corrosion damage MG have a local character. Stress corrosion cracking (SCC) occupies a special place. The problem of its prevention, diagnosis and determination emerged in the early 60s and today remains actual [2-6,10-13]. Local corrosion processes lead to a gas leak, depressurization untracked the occurrence of the emergencies [14,15]. Further exacerbates the corrosive problem of transported gas rising damp. Total specific frequency of pipeline ruptures within the same region can reach 0.19 to 0.8 breaks/(km·yr) [16].

Classification of defects is carried out according to the degree of danger [2,9,17]. When supercritical defect operation MG unacceptable. Critical – operation have allowed only when creating certain conditions. Subcritical – acceptable during periodic monitoring of external and internal inspection methods. Minor – operation is in the working mode defect is recorded for the comparative analysis of subsequent surveys. The danger degree when internal diagnostics determined by the total ballroom data evaluation ranking of defects on the bearing capacity (dangerous, potentially dangerous, non-dangerous) and depending on the field conditions [9,17]. Also for corrosion defects into account: the loading pipe internal pressure and the surface defects geometry, the stress-strain state in the damage area, limit states, prediction of the defect evolution, the estimated time before the formation of a maximum allowable defect and the possible consequences of breaking the pipe wall in the defect area – residual resource. The defect is considered critical if the residual resource less than a year. Subcritical – when it exceeds the year, but less than 5 years, and there is a danger of unstable dissemination after the wall breaking. Minor – if more than 5 years, and defects after the wall breaking is remain in a stable state [17].

2.1 Corrosion of the inner pipe wall of the pipeline

Local corrosion damages of the pipeline caused the accident pipeline Ø720 mm [14]. They also led to a depressurization tube Ø114.30 mm the category X60 in the area from the field to the collection point [15].

Damage had ulcerative character (Fig. 1) with irregular ellipse shaped geometry of the corrosion foci formation (depth 2 ... 6.5 mm) are capable of enlarging conglomerations. Given the period, operating conditions, the electrochemical mechanism of corrosion process, presumably the average corrosion rate was 0.2 mm/yr. This indicates the high corrosiveness of the medium. Increased the hydration degree to 30% increases the corrosion rate from 0.001 mm/yr to 0.15 mm/yr, and contributed to the local corrosion foci formation in the ulcers form [14].

In another case, the through fistula formation from pitting was due to thinning of the pipe wall. In its lower part found numerous ulcers, including through. Their character and geometry indicating a predominant flow of pitting corrosion (Fig. 2).



Fig. 1. Internal corrosion damages fragment pipeline pipes (steel grade 19Г)



Fig. 2. Internal corrosion damages fragment pipeline pipes category X60

Aeration of the water falling from the hole in the pipeline and mineralization affects the rate of corrosion. Increase of salt concentration from 3% to 10% increased the rate of dissolution from 0.13 A/sm² to 1.48 A/sm². Aeration groundwater extraction and 3% NaCl increased the corrosion rate accordingly from 0.001 mm/yr and 0.24 mm/yr (deaeration) to 1.44 mm/yr and 2.66 mm/yr. This was due to the occurrence of total corrosion by the mechanism with oxygen depolarization. To a solution of 10% NaCl + 0.1% HCl corrosion rate was 12.97 mm/yr (aeration) and 15.1 mm/yr (deaeration). Corrosion process was characterized by a mixed mechanism with hydrogen - oxygen depolarization [15].

Metallographic examination revealed that corrosion damage ferrite-bainite metal structure characterized by selective longitudinal direction of development (along the rows of bainite or ferrite grain boundary). This provoked the development of local corrosion processes with pitting, ulcers, bundles, fragile internal structural cracks (Fig. 3).

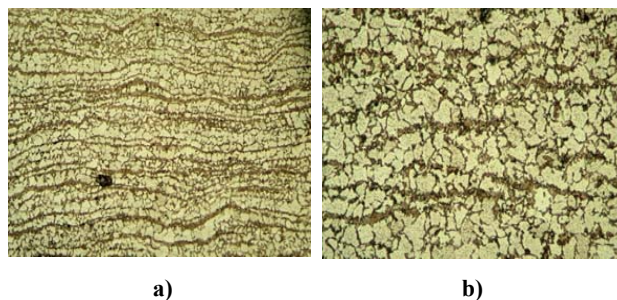


Fig. 3. Metal microstructure steel pipe wall thickness at 200^x (a) and 500^x (b) magnification (after etching)

Erosion due to mechanical entrainment flow of the gas transported corrosion products solid abrasive particles from the well (sand, gravel) pointed out: lack of deposits formation of corrosion products on the internal wall of the damaged fragments (weak adhesiveness); the residual thickness of the pipe wall at the fault location (1.5 ... 3.5 mm [14]); straight length and direction of the corrosion damage (parallel to the gas flow direction) with the reduce the thickness of the pipe wall [15]. Control of the external surface of the pipeline sections did not reveal breach the coating protective properties and the presence of corrosion products or moisture under the coating [14,15].

The data on the influence of the medium parameters on the corrosion processes rate are consistent with the general ideas presented by the author in [6].

2.2 The trace electrochemical NDT when determining areas that are prone to SCC

The urgency of solving the problem of timely identification of pipe sections MG that are prone to SCC, caused by increasing the number of accidents. On the territory of the CIS countries from the 70 until the end of the 90s. the number of the gas pipelines failures due to SCC exceeded the 200 cases [3]. From 2003 to 2007, on the gas pipeline "Urengoy-Pomar-Uzhgorod" "Ukrtransgaz" there were three serious accidents (controlled rolling pipes of strength class X70, Ø1420 mm, wall thickness 15.7 mm) with a gas explosion. At the emergency section appeared funnel depth up to 10 m and long up to 50 m. Causes of accidents - formation of external cracks: the origin of the mechanism identified by the SCC; trans crystalline character of destruction, length 0.6 ... 3.0 m, depth 6.0 ... 12.0 mm; parallel to the longitudinal factory weld seam at a distance of 20 ... 50 mm from it [3,18]. On the crack faces, corrosion products were practically absent. Brittle fracture zone characterized by elevated hardness (Fig. 4, 5).

Conventionally, factors, that contribute to the development of the SCC process, may be divided into three main groups: the negative condition of the protective coating, the stress-strain state, highly corrosive soil. Only at presence of three groups of factors, the process SCC is possible [3].

When studying the method of electrochemical noise, have found that SCC processes accompanied potential fluctuations with an amplitude of up to 30 mV and occur in a frequency range of 10 ... 100 Hz [4]. The most likely SCC step process of a pipe steel flowing sequentially on the mixed mechanism - hydrogen embrittlement combined with the local anodic dissolution [3]. The accuracy of determining the prone to SCC areas and the possibility of further exploitation MG determines the main factors. Firstly, the ability of the inspection method and evaluation system to take into account all flowing process in pipelines under actual conditions.



Fig. 4. Destroyed pipe with crack (a) and net stress-corrosion cracking (b) along the factory weld seam



a)



b)



c)

Fig. 5. Stress- corrosion cracks (a, b) of the fragments pipe and on the X70 steel at 100^x magnification (c)

Secondly, the reliability of the initial calculation data underlying [5]. At the core SCC processes is an electrochemical mechanism. This causes the efficiency of the electrochemical monitoring methods for investigation. Determination of residual life of the pipeline in terms of corrosion wear should be based on an assessment of the corrosion rate process [3,5]. Therefore, one of the perspective directions is the development and improvement of an electrochemical NDT for studies, assessment and prediction of SCC.

The System Corrosion Monitoring of Pipelines (SCMP) developed in PWI. EO Paton NAS used in the technical operation of the existing and construction of new pipelines (Fig. 6). SCMP allows determining the intensity of the flow of corrosion processes in the initial stages, when damage does not reach the critical size. It is meant for NDT, fault location of the protective coating on the electrochemical parameters. The basis of monitoring - the procedure regulated ДСТУ 4219:2003 [3,5,19,20].



Fig. 6. The System Corrosion Monitoring of Pipelines

When monitoring a control the corrosion, polarization, protective, transverse and longitudinal gradients potential

pipeline. During the measurements are fixed positive anomalies measuring potential - the potential difference of less than 0.85 V

in absolute value at the reference electrode. Intervals of such areas are detailed with consequent reduction step measurements to determine the point of with the maximum positive potential. This point - the epicenter of the protective coating fault location. Criterion damage the protective coating when measuring protective and polarization potential - potential deviation by more than 100 mV. In the measurement of the longitudinal and transverse potential - the potential difference between the two reference electrodes, which exceeds 10 mV [3,5].

Evaluation of corrosiveness of the soil (corrosion rate of a metal pipe at different levels of its arrangement) carried out by polarization resistance method (1) in protective coating damaging places:

$$i_k = \frac{2B}{S} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta E}, \quad (1)$$

where B – constant for the pipe steel,

S – electrode sensor area, cm^2 ; ΔI – corrosion current increment, A; ΔE – potential difference, 0.01 V.

The residual metal corrosion rate in coating defects under of cathodic protection (2) is performed according to the formula proposed by Dr.Sci.Tech. Yu. Gerasimenko et al.[21]:

(2)

where – residual metal corrosion rate in coating defects, mm/yr; i_k – soil corrosion rate,

$$E_p, E_k$$

mm/yr; – polarization and the corrosion potentials, V; b_a – anodic Tafel slope, V.

MG ranking areas on the propensity to SCC carried scoring estimation of each parameter (0 to 2.5) in three steps: analysis of technical documentation, the trace monitoring for determine the electrochemical characteristics, laboratory tests (if necessary). Propensity determined by the ratio of the total score for this section to the maximum possible (the sum of the maximum score for all parameters): areas with scoring ratio of more than 71% - "Very high", 71 ... 36% - "Increase", less than 36% - "Low" [3].

SCMT and technique of forecasting SCC tested on objects "Ukrtransgaz" NAK "Naftogaz of Ukraine" in the most stress-corrosion-dangerous areas MG "Urengoy-Pomar-Uzhgorod", "Progress", "Union". Marked by the convergence of SCMT data with the results of diagnostic ultrasound shell company "Diascan" AK "Transneft". According to the results found 21 sites with protective coating damage and allocated among them 11 of the most corrosion-dangerous. One year after testing on a section with "Very high" propensity accident occurred with a gas explosion. Hearth destruction - stress corrosion crack at a distance of 25 mm from the factory seam length 470 mm and a depth of 6.8 mm (Fig. 4 a, 5 ab).

3. THE ACOUSTIC TRACE NDT CONTROL

For the control of characteristics responsible for the operational reliability of the MG, in field conditions the greatest

introduction received the following NDT [2-6,9-13,18-23]: Internal Diagnostics (ITD) of ultrasound and magnetic shells flaw detection; Acoustic (pulsed ultrasonic, Lamb waves, acoustic emission, etc.); Electrochemical.

The ITD application is associated with a number of limitations: the financial expensiveness; the need to stop, taking the pipeline out operation; very low sensitivity to the SCC cracks identify; the disparity of the technological settings to the defect detection, quality of construction and properties of the our pipeline matter (sensitivity to technological defects, inhomogeneous structures, irregularly rolled metal, weld quality). This leads to obtaining the volumetric dataset with areas that are mistakenly identified by the presence of corrosion defects [3,24].

The advantages acoustic MNCs due to the following factors [6,22-26]:

- informative features of the defect - change the parameters of the elastic pulses propagating in the material, which ensures the accuracy, reproducibility, increases application area of the possibilities to determine the physical and mechanical characteristics of the material;

- maximum efficiency of the method (152 points) on detection of defects (radiation - 124, eddy-current - 106 magnetic - 58, capillary - 85, heat - 52 optical - 112 radiowave - 55) ferromagnetic, non-ferromagnetic materials and dielectrics;

- identification of various defects (depth, intergranular corrosion, with a small opening characteristic of a deformable metal, internal cracks, cavities, nonmetallic inclusions, scratches, gas pores, sink marks with equivalent minimum area from 3 mm² and other);

- control of geometrical parameters with unilateral admission to the product;

- high technology process, improving performance monitoring and simple, reliable, relatively inexpensive hardware implementation.

In the physical basis of the acoustic emission method (AE) analysis of destruction of materials in three areas. Temporary - determines the maximum amplitude, energy and duration. Frequency - defined amplitude and phase spectra of AE signal (based on the discrete Fourier transform). Cepstral - AE source signal released from the reflected signals. The most important parameters of the method - AE activity (pulse repetition frequency) and total accumulation of pulses. Assessment of the quality of materials based on the correlation between the acoustic parameters and test characteristics of materials. The intensity of the acoustic radiation is proportional to the movement rate of noisy object in the sixth degree (Doppler Effect). The intensity of the sound perceived by the receiver AE from developing defects grows together with the intensity of the pulses and noise. The degree of overstatement fixed by the registrar result proportional to the defect growth rate or an intensity of the AE. The number of pulses per unit of time indicates the rate of development of damage [23].

A perspective direction of the development of the acoustic NDT MG monitoring is the remote telecommunications ultrasonic nondestructive testing technique and diagnostics corrosion condition. It allows assessing the pipeline during operation in continuous and pulsed modes: control of physical and mechanical properties and corrosion resistance of the tube (coating), identify a corrosion areas on integral loss and decrease the speed extending of elastic impulse - a running elastic wave.

The effectiveness of corrosion control depends on the frequency, shape and nature of the excited ultrasound signals. A considerable reduction in the speed of ultrasonic longitudinal and flexural oscillations with the degree of metal corrosion in the pipeline established. This opens the perspective of application of low-frequency piezoelectric transducers with degenerate oscillation modes. Also allows to carry out the optimization of electrical impulse excitation spectrum for elastic

pulses small duration (eg, 10 μ s at the frequency converter 105 Hz), equal to one, two, three, etc. periods of the piezoelectric element oscillations. Thus, it is possible to control the duration of the elastic signals in radiation flaw regime, significantly reducing the value of the dead zone under the pulse-echo defectoscopy at low ultrasonic frequencies.

The concept total essence - the definition in the pipeline parameters of propagation of elastic low-frequency ultrasound (20 ... 200 kHz) Lamb wave type S_0 , S_1 , S_2 ... - symmetric and a_0 , a_1 , a_2 - antisymmetric oscillation modes. Their speed of propagation directly related to the pipeline wall thickness and its corrosion state.

Possibility of application of low-frequency ultrasonic flaw detection method of long objects directed waves (resonant frequency of 36 kHz and 16.3 kHz) allows in operation quickly identify critical areas with corrosive wear of the pipe diameter 330 ... 630 mm [26]. The process of passing the low-frequency acoustic waves is sensitive to changes of pipe walls thickness, nature of deposits on its surface, corrosion and other discontinuities. The thus obtained echo signal contains information about defects and distance to them (3):

$$L = \frac{vt}{2}, \quad (3)$$

where L – distance from the weld and defect; t – time of the reflected echo signal passage on the oscillogram; – ultrasound velocity for torsional wave excitation.

Interpretation of the pipelines monitoring results with a high degree of corrosion damages in this case is relatively simple - a signal on the area strong destruction almost completely attenuated.

On today, the tools required for the efficient simulation of ultrasonic array data from real corrosion crack shapes have been developed. The finite element method (FE) concerning its ability and efficiency to correctly simulate the ultrasonic scattering from branched crack shapes was selected. The FE method was incorporated into efficient hybrid model, which simulates the ultrasonic response from cracks. The hybrid model results showed good agreement to experimental results of branched crack shapes. A repeatable way of extracting real crack geometry from X-ray CT images in a form that can be inputted into the hybrid model was established. The ultrasonic array response from a real crack shapes was successfully simulated. The methodology simulation of ultrasonic array data outlined by the authors is not only applicable to SCC problems but to any straight or branched cracking issues. The methodology is applicable to industrial scenarios where a reliable and bespoke ultrasonic array is required for the cracking issue [27].

In the practice of studies of corrosion cracks and pipe corrosion knife widely used ultrasonic flaw detectors and angle sensors. Controlled parameter - reducing the penetration of the ultrasonic waves beam. Classification of the degree of development of the corrosion process is evaluated by amplitude of the transmitted signal (I class - IV class) [6].

In the case of hydrogen sulfide corrosion, applying ultrasonic thickness gauge is limited to the assessment of the distance from the control surface to damage and conditional defect size at a certain decrease of the device signal. In the case of intergranular corrosion (IGC) on the opposite side of the tested material, detection of corrosion is difficult. The acoustic effect is associated with the gradual change (decrease) of the ultrasonic wave velocity in the damaged area due to the presence of heterogeneity of grain boundaries of the base metal. Well-defined signal reflection from the surface dose not formed. Does not change and the material thickness. For the registration of changes in propagation velocity, which leads to increase the indicating thickness matter necessary to use ultrasonic thickness

with high accuracy representation and the A-scan images. Information quality parameter identifying IGC may serve and the amplitude of the reflected signal grounds.

In the case of total corrosion the reflection from corroding uneven surface accompanied by significant dissipation waves, which leads to a weakening of the information signal data. Because of the different depth of corrosion on the material surface (within the ultrasound beam) reflected signal is strongly deformed. Reflected signals from various sections are moved along a different path to the receiver. Typically, the maximum signal does not correspond to the smallest thickness of the object in the control area.

To measure the remaining thickness is preferable to use a highly sensitive equipment for low threshold activation of the starting device for measuring the time interval. If you select the wrong thickness gauge universal reporting time interval is carried out not in the first, and one of the following periods of the reflected signal. This leads to substantial uncertainty. When wrong combination of indistinct precision thickness gauges and sensors, and a certain degree of corrosion can obtain the thickness is greater from the initial thickness non-corrosive material. It is recommended to evaluate the device sensitivity to a slightly noticeable surface damage. For example, in the case of the sample with different depth frasered grooves. Getting sample thickness greater than on the original, the criteria of an inadequate suitability of an instrument for measuring the total corrosion. Eliminating these disadvantages possibly via replace the converter or an operating frequency. Preferred and additional verification on the sensitivity of the comparative sample with cylindrical side holes.

In the study of the formation of point pitting ulcers apply normal, binary sensors and with focusing operating at high frequencies. Them use for obtain high definition in the beam direction of the ultrasonic wave. This allows to determine the precise localization of defects and to evaluate the geometry parameters.

4. CONCLUSION

According to the results of published data, investigate the causes of accidents and technical failures, the main types of corrosion damage MG for today are: Stress Corrosion Cracking; Local Corrosion damage to the inner wall; Metal erosion and corrosion at the waterline.

Development of corrosion processes in field conditions caused the operating conditions of pipelines and aggressive corrosive environmental on defects. To date, among NDT method none are provides 100% accuracy and completeness of the MG corrosion state picture. Basic specifications, continuous improvement and modernization, the positive results of testing in field conditions allow us be concluded about effectiveness on the main gas transmission objects of the complex acoustic and electrochemical NDT methods. It opens the big prospects and potential improving the process of corrosion monitoring and ensuring safe operation of the MG.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the support of the European Commission, Marie Curie program, contract no. PIRSES-GA-2012-318874, project FRAMEWORK7: INNOPIPES (Innovative Non-Destructive Testing and Advanced Composite Repair of Pipelines with Volumetric Surface Defects).

REFERENCES

- [1] S Kovalenko, A Klymenko, A Rybacov, V Rassovskiy and Yu Dubyskiy, 'Requirement definition of corrosion

- protection of steel constructions object of the Ukraine hydrogenating complex', Special issue of Journal Physicochemical Mechanics of Materials, Vol 2, No 10, pp 613-618, Lvov, UA, 2014.
- [2] V Kanaikin, 'Intratube magnetic particle inspection of pipelines', Ed. by A Matvienko, 308 p, UrO Press, Yekaterinburg, RU, 2009.
- [3] A Klymenko, 'Creation of scientific bases and technical means of research, evaluation and prediction of stress-corrosion destruction of the gas mains', IEW by E.O. Paton, Kiev, UA, Eng Ph D thesis, 169 p, 2012.
- [4] A Klymenko, S Poliakov, S Kovalenko and L Nurkova, 'Monitoring the pipelines corrosion condition by using electrochemical noise method', Special issue of Journal Physicochemical Mechanics of Materials, Vol 1, No 5, pp 273-278, Lvov, UA, 2006.
- [5] A Klymenko, S Poliakov, S Kovalenko, 'System Corrosion Monitoring of Pipelines', Science & Innovation, Journal of the NAS of Ukraine, Vol 6, No 5, pp 25-28, Kiev, UA, 2010.
- [6] M Mihovski, 'Ultrasonic thickness gauge: Ed. handbook', 54 p, Skordev Ltd Press, Sofia, BG, 2005.
- [7] A Filatova, 'Analysis and comparison the heat transfer of the two main large diameter pipelines with the environment', Interval. Advanced Oil and Gas Technologies, No 10 (21), pp 13-14, 2001.
- [8] Harris N. et al., 'Stress corrosion cracking (SCC) - a synergistic effect', Applied Synergetics – II, International work tech. conference dedicated to the memory of Ilya Prigogine, Vol 2, pp 130-133, UGNTU Press, Ufa, RU, 2004.
- [9] БПД 9-1.10-001-99, 'Guide to analysis of the results of in-line inspection and hazard evaluation of defects', 10 p, Gazprom, Moscow, RU, 1999.
- [10] A Yakovlev, A Kolotovskiy, 'Stress corrosion destruction of main gas pipelines in Severgasprom enterprises', Workshop on stress corrosion cracking of gas pipelines, pp 29-44, IRC Gazprom, Moscow, RU, 1999.
- [11] Y Teplinsky, Yu Gubanok, 'Methods for detection and monitoring of corrosion damage of main gas pipelines', SCC pipe steels: Problem, Solutions, Proceedings of the Workshop on SCC, pp 83-88, Ukhta, RU, 1996.
- [12] A Savenya, S Savenya and A Ushakov, 'Methods of diagnosis of stress-corrosion damage of steel pipe', Internet messenger VolgASU, Vol 2(3), RU, 2011. Available: www.vestnik.vgasu.ru
- [13] A Klymenko and Yu Gerasimenko, 'Methods and means of monitoring stress-corrosion destruction of the pipeline', Special issue of Journal Physicochemical Mechanics of Materials, Vol 2, No 9, pp 647-652, Lvov, UA, 2012.
- [14] S Polyakov, A Klimenko, S Kovalenko, L Nyrkova and A. Rybakov, 'Corrosion of the inner surface of gas pipeline and protection's methods', Special issue of Journal Physicochemical Mechanics of Materials, Vol 1, No 5, pp 300-304, Lvov, UA, 2006.
- Materials Science, Vol 48, No 2, pp 225-230, September, 2012.
- [16] S Zdolnik et al., 'An integrated approach to solving the problems of corrosion flowlines in "Rosneft-Yuganskneftegaz" using a corrosion inhibitor-bactericide SNPH-1004', Protection of Metals, No 6, pp 62 – 65, Moscow, RU, 2007.
- [17] БПД 39-1.10-004-99, 'Methodical recommendations by quantitative assessment of the main gas pipelines with corrosion defects, their ranking according to the degree of danger and determining the residual resource', 36 p, Gazprom, Moscow, RU, 2000.
- [18] A Klimenko et al., 'Electrochemical monitoring of the pipeline on corrosion-dangerous section of route', Special issue of Journal Physicochemical Mechanics of Materials, No 7, pp 761-766, Lvov, UA, 2008.
- [19] A Klimenko, S Polyakov, S Kovalenko, G Yakovenko, Pat. 96346 UA, MPK (2011.01) F17D 5/06, G01N 17/02, G01R 29/24, H04Q 9/00, G06F 15/00, G06N 7/00. System Corrosion Monitoring of Pipelines.
- [20] ДСТУ 4219-2003, 'Pipelines steel main. General requirements for corrosion protection' Kiev, UA, 2003.
- [21] Yu Gerasimenko and V Sorokin, 'On the ratio between the polarization resistance at the corrosion potential and corrosion rate at the cathodic protection', Protection of Metals, Vol 19, No 4, pp 565 – 569, Moscow, RU, 1983.
- [22] Non-Destructive Testing, Handbook: I Yermolov, Y Lange, Ultrasonic testing, 2nd ed., Rev., Engineering Press, Vol 3, 864 p, Moscow, RU, 2006.
- [23] I Potapov, 'Acoustic methods and means of nondestructive testing and pipeline remote diagnostics', ANO of HProEduc «NWTU» St.Petersburg, RU, Eng Ph D thesis, 229 p, 2007.
- [24] I Kanevskiy and E Sal'nikova, 'Non-destructive testing: Ed. handbook', 243 p, FESU Press, Vladivostok, RU, 2007.
- [25] N Aleshin et al, 'The radiation, ultrasound and magnetic flaw detection metalware', Higher school Press, 271 p, Moscow, RU, 1991.
- [26] M Karmanov and V Gorbik, 'The possibility of practical application of low-frequency ultrasonic flaw detection of long objects directed waves', Non- Destructive Testing and Evaluation, Conference proceedings, pp 112-117, Kiev, UA, 2012.
- [27] M Felice, A Velichko, P Wilcox, T Barden and T Dunhill, 'Obtaining geometries of real cracks and using an efficient finite element method to simulate their ultrasonic array response', Insight: NDT and Condition Monitoring, Journal of the British Institute of NDT, Vol 56, No 9, pp 492-498, Northampton, UK 2014.
- [15] S Kovalenko, A. Rybakov, A Klymenko and L Shytova, 'Corrosion of the internal wall of a field gas pipeline',

	АКУСТИКА Национална конференция "Акустика 2014"	Варна 10 - 11.10.2014 г. София 28 - 29.11.2014 г.
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

FINITE ELEMENT MODELING OF LONG-RANGE ULTRASONIC TORSIONAL GUIDED WAVE PROPAGATION FOR PIPES WITH DEFECTS

Anna A. Nasedkina¹, Alexander Alexiev², Jerzy Malachowski³, Yordan Mirchev²

¹ Southern Federal University, 9a Milchakova str., 344090 Rostov-on-Don, Russia
E-mail: nasedkina@math.sfedu.ru

² Institute of Mechanics - BAS, Acad. G. Bonchev Str., block 4, 1113 Sofia, Bulgaria
E-mail, URL: alexiev@imbm.bas.bg; mirchev@imbm.bas.bg

³ Military University of Technology, 2 Gen. Sylwester Kallinski str., 00-908 Warsaw, Poland
E-mail: jerzy.malachowski@wat.edu.pl, URL: <http://kmiis.wme.wat.edu.pl>

Abstract: Numerical simulation was done to study an application of the long-range ultrasonic technique for an accurate characterization of damage founded in the long distance pipeline. Finite element modeling of long-range ultrasonic guided wave propagation was carried out for a sample pipe without defect and two sample pipes with two different kinds of defect, a notch and a notch with a hole. Numerical experiments were performed for the torsional wave mode $T(0,1)$ using ANSYS finite element software. The results include the investigation of the influence of the length and the depth of the notch on the von Mises stresses distribution.

Key words: long-range ultrasonic guided waves, nondestructive testing, defect detection, flexural waves, finite element method

1. INTRODUCTION

The inspection process of pipeline is necessary in the oil-chemical industry where the pipelines used to transport oil and chemical products are subjected to corrosion. Inner surface and even outer surface corrosion is especially difficult to detect when the pipelines are located underground. Ultrasonic methods of inspection are considered to be effective non-destructive testing methods. Conventional non-destructive testing method consists of a series of point to point tests from the outside surface of the pipe. The major disadvantage of this technique is that it can be expensive and time-consuming when a coating covers the pipe, because an access to the outside surface requires removal of the coating to perform the test, and further re-installation of the coating when the testing is complete. Besides, this method becomes difficult and inefficient for hundreds or thousands meters of pipes.

In the recent years, the use of guided waves for a long-range inspection of pipes has attracted considerable attention. Ultrasonic guided wave method largely reduces inspection time and costs compared to the ordinary point-by-point testing in large pipelines. This technique enables to scan the pipelines for a long distance from a single position and facilitates the defect detection. Equipments with guided waves are installed at one location of a pipe and reflection echoes indicate the presence of corrosion or other defects [1].

Ultrasonic guided waves are defined by the geometry of the object in which they propagate. Due to decreased attenuation loss, these waves transmit along the whole circumferential section of the pipe while propagating in the axial direction. These waves travel across the straight stretches of pipe to several meters from a single point using a pulse-echo transducer bracelet wrapped around a pipe.

The use of guided-waves and their interaction with geometrical discontinuities located in structures have been investigated in several works. Three possible modes of guided waves that can propagate along the pipe are the longitudinal, torsional and flexural modes. The modes for the detection of defects in

pipes are axisymmetric ones. A number of studies examined efficiency of the defect detection using longitudinal and torsional modes [2–5]. The benefits of using longitudinal mode $L(0,2)$ include its sensitivity to defects, its speed and non-dispersivity from cut-off frequency. The torsional waves $T(0,1)$ also have attractive advantages in defect detection as they have constant speed and propagate through the pipes filled with liquid without much leakage [6].

The present study considers an experimental pipe with and without defects. The description of the experimental pipe is given in Section 2. Two sample pipes with different types of defect are considered, and both are subjected to the propagation of the torsional mode $T(0,1)$ of the guided wave. Section 3 is devoted to the mathematical and finite element models of the problem. The desired guided wave is simulated by a special excitation function applied to one end of the pipe. Section 4 describes the computational results. For the torsional guided wave the main results of interest are the von Mises stresses. Additional analysis is carried out to study an influence of the defect on the von Mises stresses for various values of the depth and length of the defect. Section 5 presents a conclusion on the results of the study.

2. PROBLEM STATEMENT AND INITIAL DATA

The experimental pipe was constructed in Paton Electric Welding Institute. It is made of steel and has the length of 48 m. The pipe consists of 8 number butt welding pipes. The diameter of the pipe is $D=114$ mm and the thickness of its walls is $a=6$ mm. Several types of defects have been made on the pipe for experimental purposes. Two types of defects are considered for numerical simulation. The first type of defect is a notch with a length of $s=180$ mm, depth of $d=2$ mm and width of $w=2$ mm (Fig. 1). The second type of defect is a notch with a round hole, where the length of the notch is

$s=200$ mm, depth of the notch is $d=2$ mm and width of the notch is $w=2$ mm. The radius of the round hole is $r_h=5$ mm (Fig. 2). The first type of the defect will be further referred to as defect I, and the second type of the defect will be referred to as defect II.

Torsional mode $T(0,1)$ of the guided wave propagates with the speed of $c=3200$ m/sec. The working frequencies of the ultrasonic wave in the pipeline are 16.3 KHz and 36 KHz. The guided wave reflects from the defect and from the end of the pipe. Numerical simulation of the ultrasonic guided wave propagation in the pipe with a defect should give information on the amplitude and the transit time of the impulse reflected from the defect and from the end of the pipe.



Fig. 1 Sample pipe, defect I: notch



Fig. 2 Sample pipe, defect II: notch with a hole

3. MATHEMATICAL MODELING AND FINITE ELEMENT SIMULATION

For numerical simulation of ultrasonic guided wave propagation through the pipe it is enough to consider a part of the pipe in the vicinity of the defect. Solid and finite element modeling was done with the help of ANSYS finite element software.

Three-dimensional solid models were constructed for a pipe without defect, a pipe with defect I, and a pipe with defect II. The solid model of the part of the pipe under consideration is represented by a hollow cylinder of the length l and the distance l_{def} from the defect to end of the pipe where the waves are excited (further referred to as left end). The monitoring plane will then be placed halfway from the left end to the defect location (see Fig. 3).

An auxiliary volume was built at the left end of the pipe for the purpose of boundary condition setting, and auxiliary volumes around the defects were built for the meshing purposes.

Solid models were meshed with 3-D 8-node brick elements. For finite elements models of the pipe, the number of elements along the wall thickness direction is 6, and the aspect ratio of the elements in the longitudinal direction is 5 to 1,

which will ensure good accuracy. Finite element meshes of defect I and defect II are shown in Fig. 4.

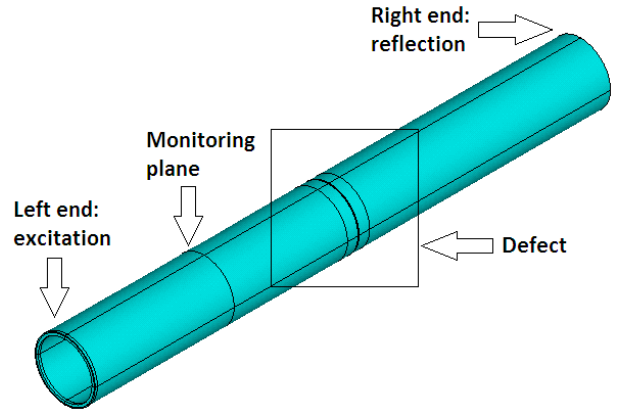


Fig. 3 Solid model of the pipe

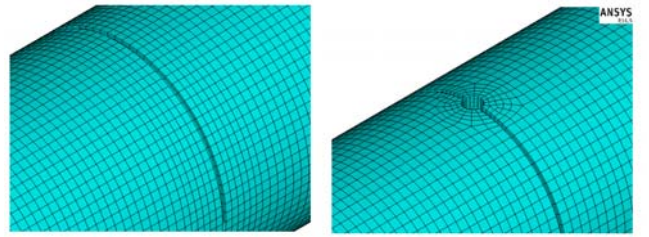


Fig. 4 Finite element meshes of defect I (left) and defect II (right)

In order to simulate the emission of the desired guided wave into the pipe, a special excitation function was applied at the left end of the pipe. The form of this excitation function was taken from [7]:

$$F(t) = \begin{cases} 0.5 \cdot \left(1 - \cos \frac{2\pi f t}{n}\right) \sin(2\pi f t), & 0 < t \leq \tau; \\ 0, & t > \tau \end{cases}$$

where n is the number of pulse cycles, f is the central frequency, $\tau = n/f$ is the signal impulse time. According to [7], with such a signal, the energy of the force function can be effectively concentrated within a finite interval in both time domain and frequency domain. As torsional guided waves $T(0,1)$ are spread via shearing motion parallel to the circumferential direction, the orientation of the load is around the circumference of the left end of the pipe. For simulation in ANSYS, a pressure function $P(t) = F_0 \cdot F(t)/S$ was applied to the outer surface the first row of elements at the left end of the pipe, where S is the area of the outer surface with applied load, F_0 is the value of the force. Special surface finite elements were used to apply tangential pressure around the circumferential area. The right end of the pipe is set to be rigidly fixed.

4. RESULTS OF COMPUTATION

Full transient analysis was performed to simulate ultrasonic guided wave propagation through the pipe with and without defect. The time period for the computations is $t_{end} = 3 \cdot l/c$, where l is the length of the pipe, c is the wave speed. During this time period the guided waves would travel till the right end of the pipe, reflect from it, then go back and reflect from the left end of the pipe.

The computations were performed for the central frequency $f=36000$ Hz, number of pulse cycles $n=5$, force value $F_0=100$ N, and wave speed $c=3200$ m/sec. The calculated signal impulse time was $\tau=138$ μ s, and the time period for the

computations was $t_{end}=937 \mu s$. The time step during the signal impulse time period was set to be $2 \mu s$. The material (steel) was modelled as a linear isotropic material with Elastic modulus $E=205 \text{ GPa}$, Poisson's ratio $\nu=0.28$ and density $\rho=7800 \text{ kg/m}^3$.

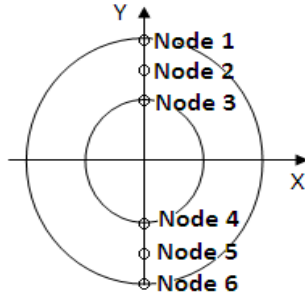


Fig. 5 Location of nodes at the monitoring plane

The length of the pipe was set to be $l=1 \text{ m}$ and the defect is located at $l_{def}=0.5 \text{ m}$ from the left end of the pipe. The monitoring plane was considered to be located at the distance of 0.25 m from the left end halfway to the defect location. The monitoring plane is characterized by six nodes (Fig. 5). Nodes 1, 2 and 3 are situated in the upper part of the pipe where the defect is located, and nodes 4, 5 and 6 are situated in the lower part of the pipe. The results for these nodes can be extracted and compared for the pipe without defect and the pipe with defect I and defect II. The results for the nodes in this location give opportunity to verify the excitation signal and to investigate its reflection from the defect.

The distribution of the von Misses stresses can be qualitative characteristic of the computation results as the torsional guided wave is excited by the load pressure function.

It is clear that in general the graphs of the von Mises stresses versus time will have similar shape for all nodes at the monitoring plane with slight difference for upper and lower nodes.

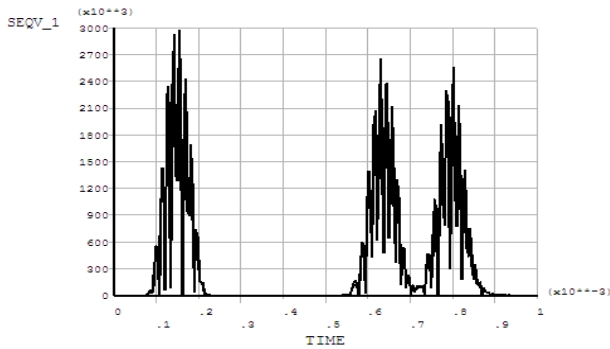


Fig. 6.1 Von Mises stresses for the pipe without defect in node 1 versus time for the period of $937 \mu s$

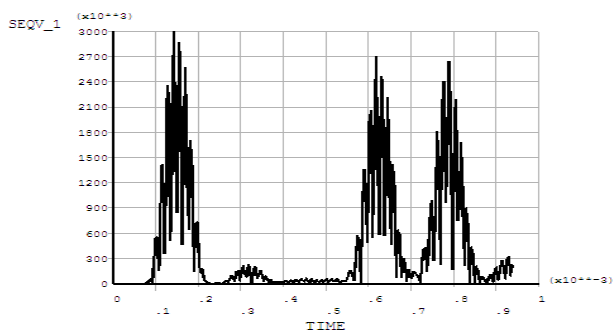


Fig. 6.2 Von Mises stresses for the pipe with defect I in node 1 versus time for the period of $937 \mu s$

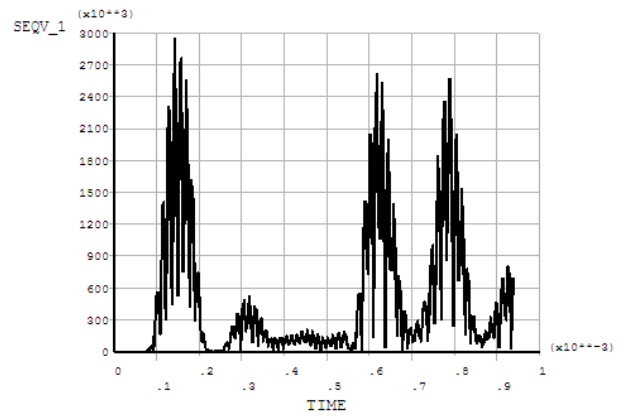


Fig. 6.3 Von Mises stresses for the pipe with defect II in node 1 versus time for the period of $937 \mu s$

Fig. 6.1–6.3 shows the graphs of the von Mises stresses for the pipe without defect in Node 1 for the period of $937 \mu s$. It can be seen that the incident wave was reflected first from the left end of the pipe and then from the right end of the pipe. The presence of defects causes the incident wave to reflect from it that can be seen from Fig. 6.2–6.3. The comparison of Fig. 6.2 and Fig. 6.3 shows that the wave reflected from defect II (notch with a hole) has larger amplitudes of the von Mises stresses.

Fig. 7 compares the graphs of the von Mises stresses in nodes 1 and 6 for the period of $381 \mu s$ for the pipe with defect II. For both nodes the incident wave and the wave reflected from the damage are clearly seen. The graph of the von Mises stresses in Node 6 shows smaller amplitude of the reflected wave for the lower part of the pipe, where the defect is not present.

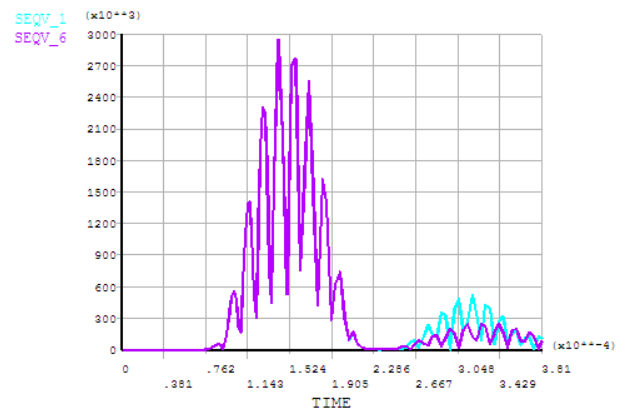


Fig. 7 Von Mises stresses in nodes 1 and 6 versus time for the period of $381 \mu s$ for the pipe with defect II

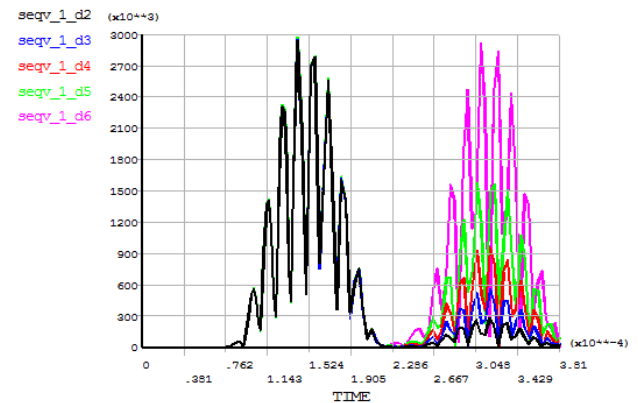


Fig. 8 Von Mises stresses in node1 versus time for the period of $381 \mu s$ for the pipe with various depths of defect I

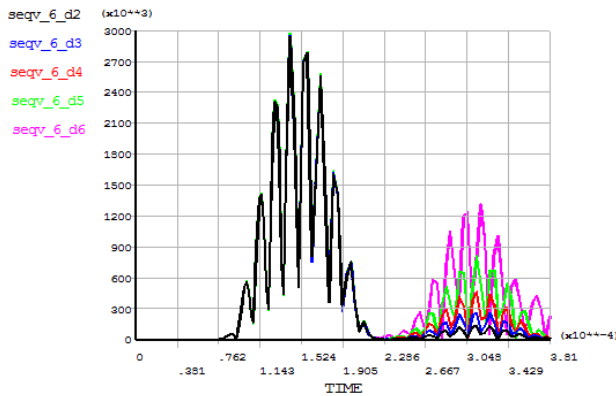


Fig. 9 Von Mises stresses in node 6 versus time for the period of 381 μ s for the pipe with various depths of defect I

The influence of the depth and length of the defect on the magnitude of the von Mises stresses has been analyzed for the pipe with defect I (notch).

The depth d of defect I has been varied from 2 mm to 6 mm (equal to the thickness of the pipe) with the step of 1 mm. The length of the defect was set to be equal to $s = 180$ mm for all cases. The comparison of the different cases of the defect depth for the nodes 1 and 6 can be seen in Fig. 8 and Fig. 9. Note that the amplitude of the reflected wave increases with the increase of the defect depth. This amplitude is considerably larger for the node 1 (see Fig. 8), where it equals to the amplitude of the incident wave for the case of $d = 6$ mm.

For the wave reflected from defect I we can estimate the maximal value of the von Mises stress for various values of the defect depth and length. The reflected wave considered here corresponds to the time period from 228 to 381 μ s.

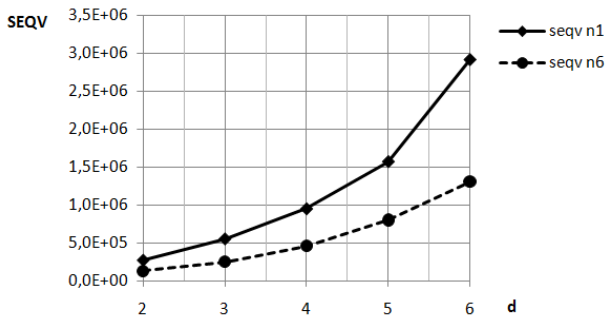


Fig. 10 Maximal von Mises stresses in nodes 1 and 6 versus depth of defect I for the reflected wave

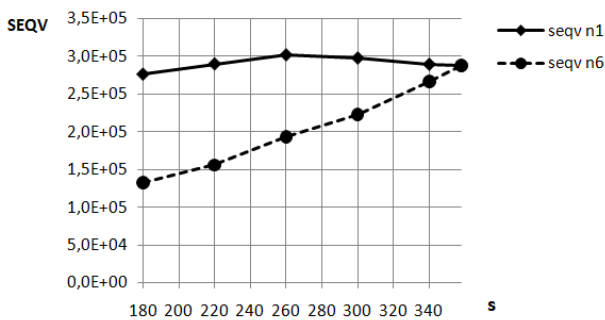


Fig. 11 Maximal von Mises stresses in nodes 1 and 6 versus length of defect I for the reflected wave

Fig. 10 shows the dependence of the maximal von Mises stress on the depth of the defect for nodes 1 and 6. From Fig. 10 it can be seen that for node 1 the von Mises stresses increase faster than for node 6.

Fig. 11 shows the dependence of the maximal von Mises stress on the length of the defect for nodes 1 and 6 for the reflected wave. The length s of defect II has been varied from 180 mm to 358 mm (equal to the length of circumference of the pipe) with the step of 40 mm. The depth $d = 2$ mm of defect II remained constant for all cases. The graph for node 6 in Fig. 11 shows that an increase of the defect length leads to the increases of the von Mises stresses. The von Mises stresses in node 1 do not change considerably. Their values slightly increase at first when the length of the defect changes from 180 to 260 mm and then slightly decrease with the further increase of the defect length. For the case of the full notch all over the perimeter of the pipe ($s = 358$ mm) the values of the von Mises stress are almost equal for nodes 1 and 6.

5. CONCLUSION

Numerical simulation of ultrasonic torsional guided waves propagation was performed for a sample pipe without defect and two sample pipes with two different kinds of defect. Finite element software ANSYS was used to build solid and finite element models of the pipe, simulate the applied pressure function for generating the desired $T(0,1)$ guided waves and to perform transient analysis. The results of the simulation allow obtaining information on the amplitude and the transit time of the impulse reflected from the defect and from the end of the pipe. The influence of the defect on the von Mises stresses in different nodes was analyzed for various values of the depth and length of the defect.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors gratefully acknowledge the support of the European Commission, Marie Curie programme, contract no. PIRSES-GA-2012-318874, project "Innovative nondestructive testing and advanced composite repair of pipelines with volumetric surface defects (INNOPIPES)".

REFERENCES

- [1] М.Н.Карманов, В.М. Горбик Возможности практического применения методов низкочастотной ультразвуковой дефектоскопии длинномерных объектов направленными волнами. 7-ма Національна науково-технічна конференція і виставка. Киев, 2013. С. 112-117.
- [2] M. J. S. Lowe, D. N. Alleyne, and P. Cawley, "Defect detection in pipes using guided waves," *Ultrasonics*, vol. 36, no. 1-5, pp. 147-154, Feb. 1998.
- [3] Jian Li, "On circumferential disposition of pipe defects by Long-Range ultrasonic guided waves," *Journal of Pressure Vessel Technology*, vol. 127, no. 4, pp. 530, 2005.
- [4] Wenhao Zhu, "An FEM simulation for guided elastic wave generation and reflection in hollow cylinders with corrosion defects," *Journal of Pressure Vessel Technology*, vol. 124, no. 1, pp. 108, 2002.
- [5] A Demma, "The reflection of guided waves from notches in pipes: a guide for interpreting corrosion measurements," *NDT & E International*, vol. 37, no. 3, pp. 167-180, 2004.
- [6] M. Kharrat, W. Zhou, O. Bareille, M. Ichchou "Defect detection in pipes by torsional guided-waves: a tool of recognition and decision-making for the inspection of pipelines" Proceedings of the 8th International Conference on Structural Dynamics, EUROdyn 2011. Leuven, Belgium, 4-6 July 2011. G. De Roeck, G. Degrande, G. Lombaert, G. Müller (eds.) ISBN 978-90-760-1931-4
- [7] Ming-fang Zheng, Chao Lua, Guo-zhu Chen, Ping Men, "Modeling Three-dimensional Ultrasonic Guided Wave Propagation and Scattering in Circular Cylindrical Structures using Finite Element Approach" *Physics Procedia* 22 (2011), pp. 112 - 118.

	АКУСТИКА Национална конференция "Акустика 2014"	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

АСИМТОТИЧНА ТЕОРИЯ НА ЕКСТРЕМАЛНИТЕ СТАТИСТИКИ И УЛТРАЗВУКОВА ДЕБЕЛОМЕТРИЯ НА РЕЗЕРВОАРИ

Доц. д-р Александър Попов

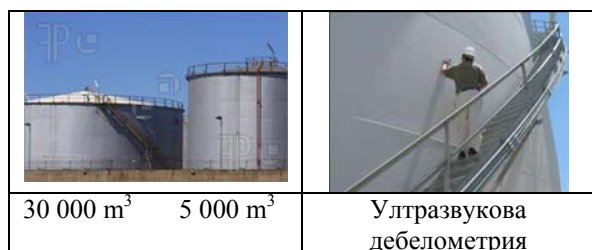
Институт по механика - БАН – София, България
Направление «Механика на деформируемое твёрдое тело»

Резюме: Ултразвуковата дебелометрия на вертикални цилиндрични резервоари (ВЦР) в петролната индустрия е често срещана при ултразвуковото изпитване. Коментирана е необходимостта от калибровка на дебеломера по известна скорост на разпространение на надлъжните ултразвукови вълни. Разгледан е въпроса за представяне на резултата от ултразвуковата дебелометрия на резервоари с помощта на методите на асимптотичната теория на екстремалните статистики.

КЛЮЧОВИ ДУМИ: ПЕТРОЛНИ РЕЗЕРВОАРИ, УЛТРАЗВУКОВА ДЕБЕЛОМЕТРИЯ, СТАТИСТИКА

Въведение

Ултразвуковата дебелометрия на вертикални цилиндрични резервоари (ВЦР) в петролната индустрия е често срещана при ултразвуковото изпитване – Фиг.1.



Фиг.1.

1. Ултразвукова дебелометрия

Корпусите на петролните ВЦР обикновено се изработват отделни мантили, като долните са от въглеродна стомана марка 10Г2САФ, с повишено съдържание на Mn и горните мантили от стомана марка ВСтЗсп [1]. За стомана марка 10Г2САФ скоростта на разпространение на надлъжните ултразвукови вълни - V_L е (5310 - 5650) m/s, а за стомана марка ВСтЗсп4 $V_L \sim (5820 - 5880)$ m/s [2]. Това налага измерване на скоростта V_L в материала от който е изработен корпуса на резервоара, съгласно ASTM 494:2010 [4], точка Х2.18.3.3. и

последваща калибровка на дебеломера по известна скорост.

Дебелината на корпуса на ВЦР - δ се определя от $\delta = V_L \cdot (t/2)$, БДС EN 14127. Измерената дебелина е свързана с якостно условие [1]

$$(1) \quad \sigma_{\text{доп}} > p \left(\frac{D}{2\delta} \right); p = \gamma(H - x)$$

2. Статистически анализ

2.1. Статистически анализ на данни от ултразвуковите измервания

Резултата от провеждане на ултразвуковата дебелометрия са случайни величини. Това налага използването на подходящ статистически анализ на данните. В разглеждания случай това са медианните оценки /статистически устойчиви оценки/. Ако извадката е

$$(2) \quad X_{(1)} \leq X_{(2)} \leq X_{(3)}$$

то средна стойност - $\text{med } X$ и стандартно отклонение - $\text{med } S$ [5].

$$(3) \quad \text{med } X = X_{(2)};$$

$$(4) \quad \text{med } S = 1.48 \text{ med } |X_{(k)} - \text{med } X|; k=1,2,3$$

В теорията на магематическата статистика [5] се показва, че ако се познава функцията на разпределение на сл.в. X , то за нея се знае всичко необходимо за описанието ѝ. В

разглеждания случай емпиричната функция на разпределение на сл.в. X, при обем на извадката $n = 3$ е

$$(5) \quad F(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } -\infty < x \leq X_{(1)} \\ 1/3 & \text{при } X_{(1)} < x \leq X_{(2)} \\ 2/3 & \text{при } X_{(2)} < x \leq X_{(3)} \\ 1 & \text{при } X_{(3)} < x < +\infty \end{cases}$$

2.2. Асимптотична теория на екстремални статистики

Използването на резултати от асимптотична теория на екстремални статистики [6] позволява да се направят изводи за минималната и максималния стойности на генералната извадка

$$(6) \quad X_{(1)} \leq \dots \leq X_{(n)}, \text{ при } n \rightarrow \infty$$

по данни от малка извадка, например (2).

Въвежда се $W_n = \min (X_{(1)}, X_{(2)}, X_{(3)})$. Вероятността за W_n е $\Pr \{ W_n \geq x \} = [1 - F(x)]^n$. Математическото очакване $E(W_n)$ за W_n е

$$(7) \quad E(W_n) = \int_{-\infty}^{\infty} x d\Pr \{ W_n < x \} = \sum_{k=1}^3 \beta_k x_{(k)};$$

$$\text{където са въведени } \beta = \left(\frac{1}{2}; \frac{1}{8}; 0 \right), \delta_{\min} = E(W_n)$$

- асимптотична оценка за мин. δ

Въвежда се $Z_n = \max (X_{(1)}, X_{(2)}, X_{(3)})$. Вероятността за Z_n е $\Pr \{ Z_n < x \} = [F(x)]^n$. Математическото очакване $E(Z_n)$ за Z_n е

$$(8) \quad E(Z_n) = \int_{-\infty}^{\infty} x d\Pr \{ Z_n > x \} = \sum_{k=1}^3 \gamma_k x_{(k)};$$

$$\text{където са въведени } \gamma = \left(\frac{1}{8}; \frac{1}{2}; 1 \right), \delta_{\max} = E(Z_n) -$$

асимптотична оценка за макс. δ

3. Резултат от измерването

Съгласно направените в т.2. пресмятания резултата от измерването на дебелината на стената на резервоара се представя като

$$(9) \quad \delta_{\min} \leq \delta \leq \delta_{\max}$$

4. Якостно условие

В разглеждания случай якостното условие за ВЦР е

$$(10) \quad \sigma_{\text{доп}} > p \left(\frac{D}{2 \cdot \delta_{\min}} \right); p = \gamma(H - x)$$

5. Заключение

Показана е необходимостта от калибровка на дебеломера по известна скорост на разпространение на надлъжните ултразвукови вълни, измерена по метод описан в ASTM 494:2010 [4]. точка X2.18.3.3.

Разгледан е въпроса за представяне на резултата от ултразвуковата дебелометрия на резервоари с помощта на методите на асимптотичната теория на екстремалните статистики [6]. Получени са, в явен вид, оценки $\min (X_{(1)}, X_{(2)}, X_{(3)})$ (7) и $\max (X_{(1)}, X_{(2)}, X_{(3)})$ (7) и (8) съответно.

Дадени са представяне на резултата от измерването на дебелината на стената на корпуса на БЦР (9) и якостно условие за ВЦР (10).

Литература

1. Венков Л., Ръководство за курсово проектиране по специални стоманени конструкции, Свitezък 1, ВЦР.
2. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий, Машиностроение, Москва, 1986.
3. БДС EN 14127:2011, Изпитване (контрол) без разрушаване. Измерване на дебелина с ултразвук
4. ASTM E 494:2010, Standard Practice for Measuring Ultrasonic Velocity in Materials.
5. Закс Ш., Теория статистических выводов, МИР, 1975.
6. Галамбош Я., Асимптотическая теория экстремальных статистик, Наука, Москва, 1984.

СКАНИРАНЕ С ВИСОКО СЕЛЕКТИВНА ШИРОКОЛЕНТОВА АКУСТИЧНА РЕШЕТКА

Beam-steering with High-Selectivity Broadband Acoustic Array

доц. д-р Петър Апостолов¹, гл. ас. Гинка Маринова², ас. Георги Георгиев³

¹ Висше училище Колеж по телекомуникации и пощи, България

E-mail: p_apostolov@abv.bg

² Технически университет - Варна, България

E-mail: ginkamarinova1972@gmail.com

³ Висше училище Колеж по телекомуникации и пощи, България

E-mail: goshko.georgiev@gmail.com

Abstract: This paper proposes the design of a three-element linear periodic acoustic array using the method of “compressed cosines”. Approximation of an ideal array factor– Kronecker- δ with third degree optimal polynomial is performed. Some Luneburg lenses are used to realize a phase function. The designed array has remarkable properties: broadband, narrow beam without side lobes and constant selectivity of the array factor. Examples of beam-steering are proposed. A Matlab simulation is demonstrated.

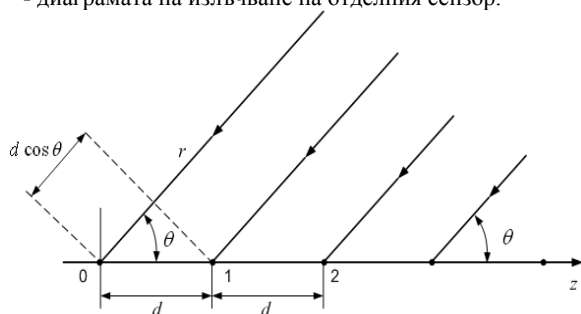
Keywords: approximation, array factor, linear equidistant acoustic array, Luneburg lens, optimal polynomial.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Акустичните решетки (АР) са пространствени филтри за приемане на звукови сигнали от определено направление. В теорията се приема, че АР е съставена от n на брой, разположени равномерно и праволинейно, акустични сензори. Способността на решетка да филтрира желаните сигнали се дефинира от нейната пространствена селективност. Основна задача при конструирането е създаване на АР с възможно по-малък брой сензори с тясна пространствена диаграма на насоченост (ДН) и ниски нива на страничните излъчвания. Посочените параметри са в противоречие с нейната честотна широколентовост. При решаването на такъв вид задачи се търси компромис.

На Фиг.1 е показана схема на линейна еквилидистантна акустична решетка (ЛЕАР). Основни параметри са:

- геометричното разположение на сензорите;
- разстоянието d между сензорите, нормирано спрямо номиналната дължина на вълната λ на ЛЕАР;
- амплитудите на възбуждащите токове I_n ;
- фазите на възбуждащите токове φ_n ;
- диаграмата на излъчване на отделния сензор.



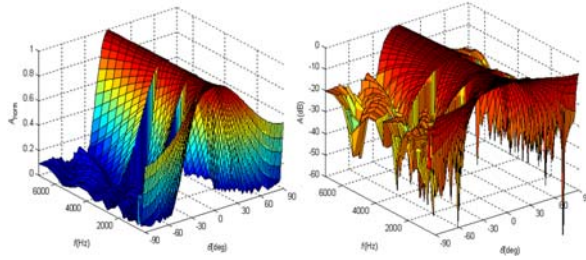
Фиг. 1. Линейна еквилидистантна акустична решетка.

Ъгълът, който съдържа фронтът на приеманата звукова вълна с оста на акустичната решетка, е означен с θ . Произведението $d \cos \theta$ отразява фазовото закъснение на звуковата вълна между два сензора. В теорията е прието, че сензорите са изотропни, т.е. те нямат пространствена селективност. В този случай диаграмата на насоченост на ЛЕАР съпада с т.нар. „множител на решетката” $A(\theta)$, който е функция на пространствения ъгъл.

Основни параметри, определящи пространствената селективност на диаграмата на насоченост, са нивото на страничните излъчвания в dB и ъгълът на ниво -3dB $\Delta\theta_{-3\text{dB}}$. Най-често ЛЕАР се конструират при стойност $d = \lambda/2$. Решетката има широколентовост не повече от 10-15%. Извън тези граници селективността на решетката силно намалява, или се получават странични излъчвания, съизмерими с основния лъч на ДН. Увеличаването на броя на сензорите подобрява селективността, но се повишават геометричните размери, сложността и цената на техническото средство. От това следва, че при конструиране на акустична решетка трябва да се търси компромис между нейния геометричен размер и селективните ѝ свойства.

Едно компромисно решение е използването на акустична решетка, която е комбинация от няколко, които са поместени една в друга с различни номинални дължини на вълната (Nested Array) [1]. На фигура 2 са показани примерни изображения на диаграмата на насоченост, в нормиран и логаритмичен вид, получени със симулация на Matlab. АР се състои от 9 сензора, с разстояние между тях 2.54 см. Честотният диапазон е от 350Hz до 7000Hz, разделен на четири подобхвата. От фигурата се вижда, че диаграма на насоченост е широколентова, но с ниска

СЕЛЕКТИВНОСТ.



Фиг. 2. Тримерна диаграма на насоченост на Nested Array в нормиран и логаритмичен вид в [dB]

Съществуват методи за подобряване на селективността на ЛЕАР. Теоретичната им основата решаване на задача на математическо приближение (апроксимация) на идеална функция с полином. Степента на полинома определя броя на сензорите. По-известни са методите с полиноми на Чебишев, Шелкунов, с прозрачни функции: Фурие, Хаминг, фон Хан, Хаусдорф, Кайзер и т. н. [2-6]. В резултат на апроксимацията се получават n на брой числа (коефициенти на полинома) b_i , с които се умножава сигналът от съответния сензор. Оптимални селективни свойства имат ЛЕАР с полиноми на Чебишев [7] и тяхната модификация предложена от Риблет [8]. До момента в литературата не е известен метод за получаване на свръх широколентова ЛЕАР с висока селективност и постоянна диаграма на насоченост.

В настоящата статия е предложен нов апроксимационен метод, който дава възможност за конструиране на ЛЕАР с горепосочените параметри.

2. АПРОКСИМАЦИОНЕН МЕТОД НА КОМПРЕСИРАНИ КОСИНУСИ - ТЕОРЕТИЧНИ ОСНОВНИ

Теоретичните основи на метода са изложени подробно в [9]. В статията ще бъдат представени резултатите, получени при апроксимация на делта функцията на Кронекер

$$\delta(\theta) = \begin{cases} 1, & \theta = 0 \\ 0, & \theta \neq 0 \end{cases}; \theta \in [-\pi/2, \pi/2], \quad (1)$$

която представлява идеална диаграма на насоченост. С метода се получава оптимален тригонометричен полином от трета степен

$$P_3(\theta) = \sum_{k=1}^4 b_k \cos[(k-1)\varphi(\theta)], \quad (2)$$

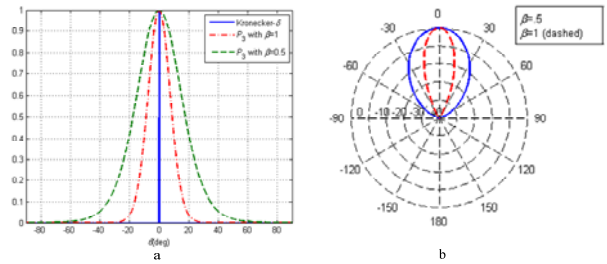
с коефициенти:

$$b_1 = b_3 = 0.5; b_2 = b_4 = 0. \quad (3)$$

Аргументът на функцията $\cos(\cdot)$ съдържа модулираща функция - Гаусова интегрална функция на грешката, $\text{erf}(\cdot)$, с S-образна графика

$$\varphi(\theta) = \pi \text{erf}(\beta k d \sin \theta) \quad (4)$$

Модулиращата функция компресира косинуса в средата на дефиниционния интервал. Параметърът $\beta > 0$ променя градиента на S-кривата на модулиращата функция и степента на компресия на косинуса. Този ефект (е известен, като метод „апроксимация с компресирани косинуси“.



Фиг. 3. Апроксимация на идеала диаграма на насоченост с полином от 3-та степен за две стойности на параметъра β (a). Диаграма на насоченост в dB (b)

На фигура 3а е показана апроксимация с оптимален полином от 3-та степен. От нея се вижда, че параметърът β променя широчината на графиката и тази на съответната диаграма на насоченост в [dB] - фигура 3b. Параметърът се определя от зависимостта

$$\beta = \frac{\text{erf}^{-1}\left(\frac{1}{\pi} \arccos(1 - \sqrt{2})\right)}{k d \sin(\Delta\theta_{-3\text{dB}})}, \quad (5)$$

където $\text{erf}^{-1}(\cdot)$ е обратна интегрална гаусова функция на грешката.

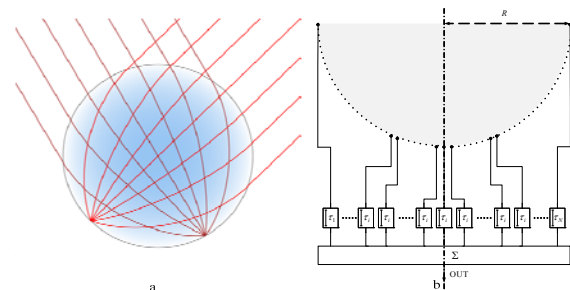
От ненулевите коефициенти на полинома се определя нормираният множител на акустичната решетка, която е комплексна функция на азимуталния ъгъл θ

$$A(\theta) = 1 + 2 \exp(j2\varphi(\theta)) + \exp(j4\varphi(\theta)). \quad (6)$$

3. РЕАЛИЗАЦИЯ НА СВРЪХ ШИРОКОЛЕНТОВА АКУСТИЧНА РЕШЕТКА С ТРИ СЕНЗОРА И ПОСТОЯННА ДИАГРАМА НА НАСОЧЕНОСТ

Задачата се състои в реализирането с технически средства на трите събираеми на множителя на решетката (6). Токовете в трите сензора се реализират лесно: необходимо е сигналът във втория да се усили два пъти. Експонентите отразяват фазите на токовете. За да бъде реализирана фазовата функция е необходимо техническо средство, което да определя посоката, от която пристигат звуковите вълни в азимуталната равнина.

Едно възможно решение е акустичната леща на Лунеберг [10], показана на фигура 4а.

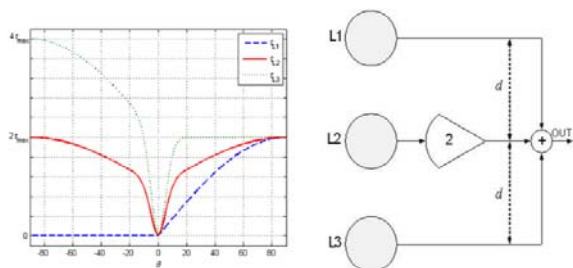


Фиг. 4. Леща на Лунеберг (а). Долна полусфера на леща на Лунеберг със закъснителни линии (b)

Тя е съставена от разположени една в друга концентрични сфери от материали, с различен коефициент на пречупване на звуковите вълни. Теоретично коефициентът на пречупване не зависи от честотата на звуковата вълна. Лещата фокусира успоредните лъчи от

всички направления на азимуталния ъгъл $\theta \in [-90^\circ, 90^\circ]$ в точки, които образуват полуокръжност в диаметрално-противоположния ѝ край. За реализиране на фазовата функция е необходимо в тези точки да се разположат микрофони, сигналите от тях да преминат през закъснителни линии, след което да се сумират, както е показано на фигура 4b.

Времената на закъснение се определят от модулиращата функция (5). На фигура 5а те са показани в графичен вид за всяка от трите лещи, където $\tau_{\max} = \lambda/(2c)$; v е скоростта на разпространение на звукова вълна във въздух.



Фиг. 5. Функции на времезакъсненията за 3-сензорна ЛЕАР (а). Схема на ЛЕАР (б)

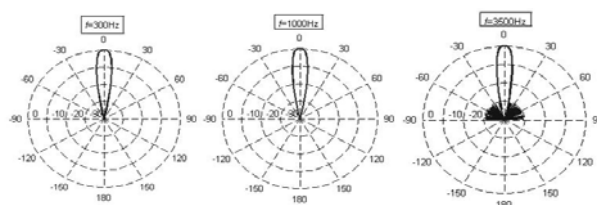
Решетката се реализира с три лещи на Люнеберг със закъснителни линии по схемата на фигура 5b.

От фигура 3b се вижда, че промяната на широчината на диаграмата на насоченост зависи от параметъра $\beta > 0$, респ. от времезакъсненията на закъснителните линии. Диаграмата няма странични излъчвания. Акустичната решетка има едно забележително качество. За широчината на диаграмата на насоченост от (5) следва

$$\Delta\theta_{-3dB} = \arcsin \frac{\operatorname{erf}^{-1}\left(\frac{1}{\pi} \arccos(1 - \sqrt{2})\right)}{\beta k d}; \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (7)$$

От равенството се вижда, промяната на номиналната дължина на вълната λ , или на междусензорното разстояние d може да бъде компенсирано с параметъра β . Следователно при фиксирано междусензорно разстояние, акустичната решетка може да работи с постоянна диаграма на насоченост на произволна номинална честота, или дължина на вълната. При цифрова обработка на сигналите, акустичната решетка може да работи в реално време с еднаква диаграма на насоченост в много на брой честотни диапазони, тъй като времезакъсненията се реализират програмно. Теоретично броят им е неограничен.

Описаното свойство е доказано с компютърна симулация на Matlab за 3-елементна акустична решетка с междусензорно разстояние 17.1 см. ($\lambda/2$ за 1KHz) и широчина на диаграмата на насоченост $\Delta\theta_{-3dB} = 10^\circ$. За честоти 300; 1000 и 3500Hz са създадени по 91 файла на синусоиди, с честота на дискретизация 192kHz, дефазирани така, че да имитират приемане на сигнали в трите точки на сензорите от 91 пространствени направления на азимуталния ъгъл, в интервала от -90° до $+90^\circ$. На фигура 6 са показани резултатите от симулацията. За различните честоти диаграмата на насоченост не променя широчината си.



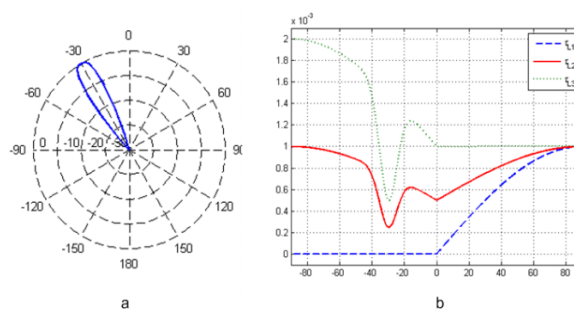
Фиг. 6. Резултати от компютърна симулация на 3-елементна ЛЕАР с метод на компресирани косинуси

4. СКАНИРАНЕ ПО АЗИМУТ

В редица практически приложения на акустичните решетки се налага сканиране на сектор в азимуталната равнина. Най-удачно е използване на електронно сканиране, посредством промяна на фазата на приеманите сигнали. Това води до промяна на модулиращата функция (5)

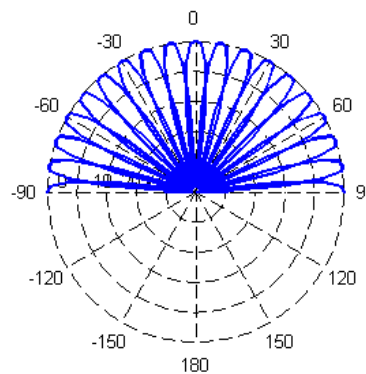
$$\varphi(\theta) = -\pi/2 \operatorname{erf}(\beta k d \sin(\theta + \psi)). \quad (8)$$

Технически сканирането се осъществява с точно определени времезакъснения, които се прибавят към тези от Фиг. 5(a). На Фиг. 7 е показана симулация при промяна на посоката на основния лист на диаграмата на насоченост при азимутален ъгъл $\psi = -30^\circ$ (а) и съответните времезакъснения (б) за всяка от трите лещи на Люнеберг.



Фиг. 7. Промяна на посоката на основния лист на диаграмата на насоченост (а) и съответните времезакъснения (б)

На Фиг. 8 е показана симулация на електронно сканиране през 10 градуса в сектора -90° до $+90^\circ$.



Фиг. 8. Електронно сканиране по азимут

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С метода на компресирани косинуси е получен оптимален полином от трета степен. Предложено е техническо решение за конструиране на сканираща линейна еквилистенна акустична решетка с три лещи на Люнеберг. Получената акустична решетка е свръхширокопослелова, с постоянна диаграма на насоченост, без странични излъчвания. Решетката има възможност за електронно

сканиране и няма аналог с подобни технически средства.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] P. Apostolov, A. Stefanov. Wideband microphone array. EICS 2013, 16-17 may, NTSC, pp.201-207.
- [2] Taylor T. T, "Design of Line-Source Antennas for Narrow Beamwidth and Low Side Lobes," IRE Trans. Antennas Propagat. AP-3, 16 (1955)..
- [3] Villeneuve A. T. "Taylor Patterns for Discrete Arrays", IEEE Trans. Antennas Propagat.-32, 1089 (1984).
- [4] Schelkunoff, A. S. "A Mathematical Theory of Linear Arrays". Bell Syst. Tech. J., 22, 80 (1943).
- [5] Harry L. Van Trees. *Optimum Array Processing*. John Wiley & Sons, 2002.
- [6] Sendov, B. *Hausdorff Approximations*. Kluwer Academic Publishers, London, 1990.
- [7] Dolph C.L. "Current Distribution for Broadside Arrays which optimizes the Relationship between Beamwidth and Side-Lobe Level". *Proc. IRE and Waves and Electrons*, June 1946.
- [8] Riblet, H.J. "Discussion on a Current Distribution for Broadside Arrays which optimizes the Relationship between Beamwidth and Side-Lobe Level". *Proc. IRE*, May 1947, pp. 489-492.
- [9] P. Apostolov. *Approximations with compressed cosines and their applications*. Prof. Marin Drinov Academic Publishing House, Sofia, 2012.
- [10] Kanevski, I.N. *Fokusirovaniye zvukovykh i ultrozvukovykh voln*. Moscow: Nauka, 1970.

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2014”	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

APPLICATION OF HILBERT-HUANG TRANSFORMATION FOR DETERMINATION OF PSYCHOLOGICAL STRESS SPEECH

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ТРАНСФОРМАЦИЯ НА ХИЛБЕРТ-ХУАНГ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПСИХОЛОГИЧЕН СТРЕС В ЧОВЕШКАТА РЕЧ

Peter Stoyanov Apostolov, Georgi Petrov Georgiev, Ralica Atanasova Topalska

High school “College of Telecommunications and Post”, Student City,
Street “Academician Stefan Mladenov” № 1 Sofia, Bulgaria, phone: 02 86 22 893, e-mail: p_apostolov@abv.bg

Петър Стоянов Апостолов, Георги Петров Георгиев, Ралица Атанасова Топалска

Висше училище „Колеж по телекомуникации и пощи”, Студентски град, ул. „Акад. Стефан Младенов” № 1, София,
България, тел. 02 86 22 893, e-mail: p_apostolov@abv.bg

Keywords: polygraph, psychological stress, Hilbert Huang transformations

Резюме – В статията е разгледан проблемът за използване на компютърен метод за определяне на психологичен стрес в говорна информация. Направен е преглед на съществуващите анализатори на стреса, използвани в практиката на правораздавателните органи. Предложена е програма на Matlab за компютърна обработка на звукова информация. На основата на цифрово интегриране са предложени емпирични количествени критерии за оценка на стреса. В допълнение е приложен метод за анализ на звукови сигнали с трансформация на Хилберт-Хуанг. Показани са примери за анализ на информационни сигнали, направени успоредно с полиграфско изследване в Института по психология на МВР.

Abstract – In this paper the problem of using computer-based method for the determination of psychological stress in speech information is discussed. A review of existing stress analyzers used in the practice of law enforcement agencies is made. A Matlab program for computer processing of speech information is proposed. On the basis of the numerical integration empirical quantitative criteria for evaluating the stress are proposed. In addition the method is applicable for the analysis of sound signals by a Hilbert-Huang transformation. There are examples of the analysis of data signals carried along with polygraph examination at the Institute of Psychology of the Ministry of Interior.

1. ВЪВЕДЕНИЕ. ПОЛИГРАФСКИ МЕТОД ЗА ВЕРИФИКАЦИЯ НА ИСТИНАТА

Полиграфските изследвания установяват дали изследваното лице казва истината или лъже. В правоохранителните и правораздавателните институции тази диференциация е от особено важно значение. Идеята за създаване на научен подход при полиграфските изследвания се появява през 20-те и 30 – те години на XX век.

През 1948 г. Клив Бакстър създава и оглавява звеното на ЦРУ за разпити, което използва детекцията на лъжата, като основен метод на работа. Той е основател на подхода на цифрово оценяване или квантитативния подход в полиграфските изследвания. Посредством прикрепени датчици към тялото на изследваното лице се отчитат, а в последствие и оценяват настъпилите физиологичните промени в кожно-гальваничното съпротивление,

дихателните движения, в кръвното налягане и пулса, когато изследваното лице изрича лъжа на зададените въпроси от конкретния формат тест избран за съответния казус. Тези физиологични процеси не могат съзнателно да бъдат контролирани от изследваното лице, тъй като регулирането се осъществява от автономната нервна система.

Полиграфските изследвания имат висока валидност и надеждност. Във връзка с това твърдение, може да се посочи и обемно изследване на Н. Енсли от 1990 г., където се разглежда валидността на полиграфския тест при реални случаи. Енсли използва данни от проведени полиграфски изследвания в различни страни- САЩ, Канада, Япония, Израел и Полша. На базата на разгледани 2042 случая, за които има реални данни за потвърдена вина или невинност, валидността е 98% [1].

Близка до научната концепция на полиграфа е тази на описаното в настоящата статия технически средство, наречено звуков анализатор на стрес, с което се извършват подобни аналитични действия, но по безконтактен начин. В

основата на действие на уреда е звуковият анализ на човешката реч. В литературата е прието, че когато изследваният обект говори неистина, има основание да се счита, че лицето е в психологичен стрес. Следователно отчитането на стреса в говора е един вид безконтактен „детектор на лъжата”.

2. ТЕОРЕТИЧНИ ОСНОВАНИЯ

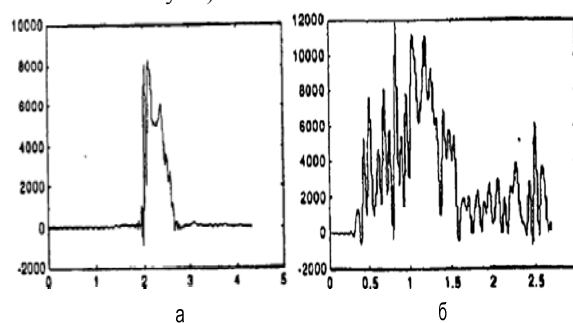
Успоредно с полиграфските изследвания, в много страни се работи за създаване на безконтактни прибори за установяване на достоверността при разследвания на престъпни деяния от правоохранителните органи. Една част от тях са свързани с изследвания на човешкия говор и по-точно на психологичния стрес в гласа.

Научният фундамент се базира на откриването на гласовия микро-тремор през 50-те години на 20 век. През 1971 г. Олоф Липолд, изследовател в Лондонския университет, публикува резултатите на изследването, което е започнал през 1957 г. в списание *Scientific American*. В статията на Липолд [2] се дефинира понятието „психологичен тремор”. Авторът използва изследванията на явления от Мартин Холидей и Джо Редфийм, проведени десетилетие преди това в Националната болница в Лондон. Те открили, че контракцията на волеви мускул е съпроводена с тремор под формата на осцилации. Според Липолд, всички мускули в тялото, включително гласовите струни, вибрират в диапазона от 8 до 12 Hz. Авторът счита, че треморът е функция на сигналите към и от двигателните неврони и че е аналогичен на самонастройваща се серво система със затворен цикъл. Мускулите се свиват и отпускат, като по този начин поддържат постоянно напрежение, подобно на мускулен тонус. В моменти на стрес тялото на индивида се подготвя за отбрана (битка) или бързо отстъпление (бягство), като увеличава готовността на мускулите за действие. Техните вибрации се увеличават от нормалния диапазон 8 до 9 Hz до стресиращия 11 до 12 Hz. Тези трептения се включват в човешката реч, като модулират говора. Тези модуляции не могат да бъдат доловени от човешкото ухо, но съществуват електронни прибори, които ги установяват с висока точност.

Статията на О. Липолд третира медицински аспекти и никъде не става дума за използване на психологичния тремор за верификация на истината. Тези научни резултати карат много учени и инженери да конструират редица технически средства за създаване на звуков „детектор на лъжата”. Изобретен е метод за детектиране на психологичния стрес с оценка на психологичните промени в човешкия глас, който е защитен с Патент - US Pat. № 3971034 на името на Бел. Гласовите модели на стрес първо са представени като метод за измерване на психологичния стрес, като се започне от «Устройство за оценка на психологичния стрес» (PSE – Psychological Stress Evaluator), проектирано от Форд, Бел и МакКистън през 1971 г. Уредът PSE записва в графичен вид диаграма върху лента от хартия, подобно на електрокардиограма. Устройството е магнетофон с променлива скорост на възпроизвеждане на звука. След запис, скоростта на лентата се забавя 8 пъти и сигналът се пропуска през филтри с различно затихване и се анализира. Всяка реакция в записания говор произвежда вертикални движения на писеца, които се анализират и определят субективно като стресови или не- стресови модели (шаблони). За критерии служат дължината и формата на шаблона. Общо казано, оценяваните гласови шаблони са във всякакви форми и размери. Те включват разлики за мъже и жени, регионални и международни

лингвистични разлики и др. Независимо от това, моделите на човешки глас имат много общи характеристики и подобни отличителни черти, свързани със стреса, а именно, че тенденцията при стрес е да се формира шаблон с приблизително правоъгълна форма. В такъв случай се говори за т. нар. тенденция «блокиране». На Фиг.1а е показан шаблон при произнасянето на думата “fix” при липса на психологичен стрес. Шаблонът има приблизително триъгълна форма. На Фиг.1б е показан същият шаблон при наличие на психологичен стрес. Формата наподобява правоъгълник.

В последните години са създадени редица компютризиран средства. В тях се използват различни методи, заимствани от теорията на цифровата обработка на сигналите. Оценка на стреса се определя от нивото на мощността на сигналите в конкретната честотна лента. Специален интерес представлява създаденият в Националния институт по удостоверяване на истината NITV (National Institute for Truth Verification) компютризиран анализатор на стрес CVSA (Computer Voice Stress Analyzer).



Фиг.1 Шаблона на думата “fix” при отсъствие (а) и наличие (б) на психологичен стрес

Ръководител на проекта е Чарлз Хъмбъл, д-р. CVSA представлява преносим компютър с микрофон и вграден софтуер за визуална и количествена оценка на стреса. Методът е защитен с патент № US 2005/0131692 A1 под името „Method for Quantifying Psychological Stress Levels Using Voice Pattern Samples”[3]. На основата му е създаден FACT алгоритъм за оценка. Претенциите на създателите на алгоритъма са, че той осигурява 98% точност. Принципът на действие на CVSA е същият както на аналоговия уред, но се използва дискретизация на сигнала. Това позволява да се формира количествена оценка на нивото на стрес. Тя се изразява в определяне на формата на модела, като количествените оценки се базират на апроксимирана форма на шаблоните.

Резултатите на гласовите анализатори на стреса не се приемат еднозначно от научната общност. Претенциите на Института за верификация на истината се оспорват от много автори и изследователи. В [4] авторът извършва изследвания, като имитира психологичен стрес в лабораторни условия. Той модулира звуков сигнал по подобие на гласните струни и установява, че посочените в патента шаблони се получават при честотна модулация, което е в противоречие със съдържанието на патента. В резултат се прави заключението, че уредът е ненадежден. До подобни заключения достигат и други автори. В [5] са разгледани правни аспекти на този вид изследвания. Авторите не са спестили критики към всички методи, приемайки ги за шарлатанство.

3. ИЗСЛЕДВАНИЯ С МЕТОД ЗА ЕМПИРИЧНО РАЗЛАГАНЕ НА СИГНАЛИТЕ (EMD)

От направеното изложение в предходната точка, може да се направят следните изводи:

- до момента няма техническо средство, което с висока достоверност да установява стреса в човешкия глас. Не е известно масово използване на такива технически средства от правоохранителните органи;
- въпреки противоречивите резултати, продължават усилията за създаване на такива средства с нови методи, свързани с компютърни алгоритми и цифровата обработка на сигналите.

Физиологичният микротремор, както и човешкият глас, е нелинеен, нестационарен процес. Честотата и амплитудата на микротремора варира значително във времето. Ето защо разглежданите методи за анализ на гласовия стрес, които използват цифрова обработка на сигналите като бързото преобразуване на Фурие (FFT), нямат добра времева резолюция. Това значително намалява ефективността на отчитането на стреса. EMD е нов математически метод, който е алгоритъм за разлагане на нелинейни, нестационарни сигнали в линейна комбинация от хармонични сигнали. Това позволява да бъдат съвременно забелязани колебанията в честотата и амплитудата [6].

EMD работи чрез идентифициране на времеви сигнални поредици, които разкриват физическите характеристики на сигнала. Сигналят се разлага на множество стационарни сигнали, които представляват тези физични характеристики. Те са известни като Intrinsic Mode Functions (IMFs) – присъщи функции на модела. Функциите отговарят на следните критерии:

- броят на екстремумите и нулите в даден интервал трябва да бъдат или равни, или да се различават с единица;
- във всяка точка на функцията, средната стойност на обвивката, дефинирана от локалния максимум и обвивката дефинирана от локалния минимум, е равна на нула.

EMD е итеративен процес, чийто резултат е IMFs. Итерациите се прекратяват при достигане на начално зададена точност. Критерият може да бъде стандартно отклонение между два съседни резултата. Процесът се изразява в следното:

- горната и долна обвивки на сигнала се моделират с прилежащия му максимум и минимум, като се използва кубична сплайн-функция;
- извлича се средната стойност от сигнала, за да се получи нов сигнал;
- определя се дали новият сигнал е IMF, като се използват описаните по-горе критерии;
- ако новият сигнал е IMF, той се изважда от началния за итерацията сигнал. С получената разлика, процедурата започва от начало до получаване IMF.

На Фиг.2 е показано приложение на алгоритъма при разлагане на сложен сигнал на IMFs [6].

С получените присъщи функции IMFs от алгоритъма EMD, се извършва трансформация на Hilbert. Сигналят $X(t)$ се преобразува в аналитичен вид

$$Z(t) = X(t) + jY(t), \quad (1)$$

където

$$Y(t) = \frac{1}{\pi} P \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{X(t')}{t - t'} dt' \quad (2)$$

В полярни координати фазата на аналитичният сигнал се определя от

$$Z(t) = a(t) \exp(j\theta(t)) \quad (3)$$

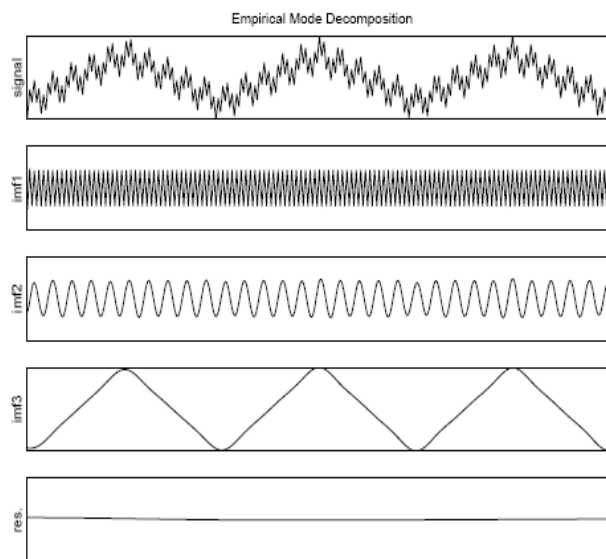
Сигналят се анализира от моментни честоти, които се получават от производната на фазовата функция

$$\omega = \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (4)$$

Описаните действия с IMFs се нарича трансформация на Хилберт-Хуанг (Hilbert-Huang transformation – ННТ).

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

За целите на проучването в Института по психология на МВР бяха проведени 21 стандартни полиграфски теста с 16 лица-доброволци. По време на тестовите бяха направени аудио записи с професионална апаратура. Участникът записва на малък лист хартия число от 1 до 7, което полиграфистът не знае, и го поставя на стола под десния си крак (сяда върху листчето). Полиграфистът инсталира датчиците и обяснява предназначението им и съществото на теста. Тестът започва като се съобщава името и възрастта на участника. През определени интервали от време, полиграфистът задава въпрос към участника кое е числото, като последният отговаря винаги с „не”. По този начин той казва неистина в единия от отговорите и това се отчита на полиграфа.



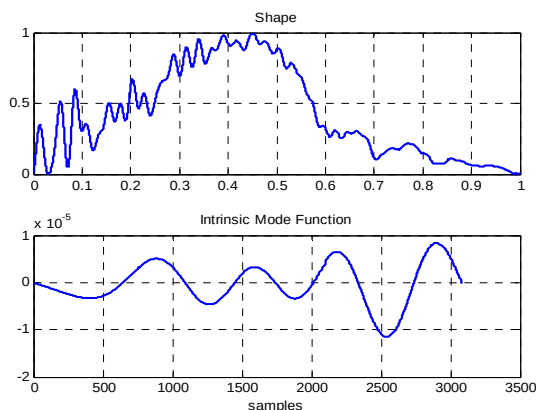
Фиг.2. Разлагане на сложен сигнал на IMFs

Отговорите „не” се анализират с компютърна програма на Matlab. Определя се шаблонът на думата и с цифрово интегриране се определя площта му. Успоредно с това, сигналят преминава през нискочестотен филтър с гранична честота 14Hz. Филтърът е синтезиран с метод на компресирани косинуси [7] и има параметри близки до идеален филтър.

Следва прилагане на алгоритъм за определяне на присъщите функции – IMFs, и се изчислява честотата на функцията от най-висок ред. Площта на шаблона се сравнява с критериите от патентния документ на NITV.

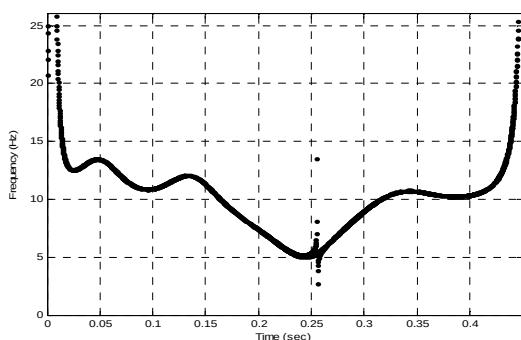
Изходните данни съдържат информация за степента на психологичния стрес, според патентния документ, и честотата на IMF от най-висок ред. На фиг.3 са показани

шаблонът при липса на блокиране и присъщата функция IMF с честота 10.3862Hz.



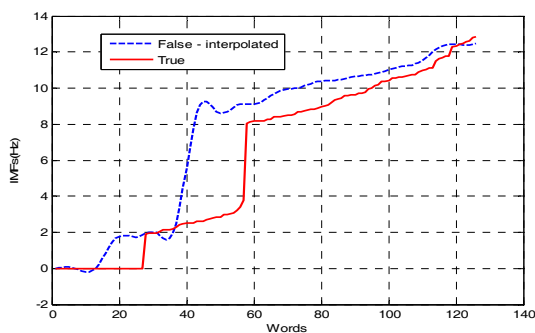
Фиг.3. Шаблон и IMF на думата „не“

На фиг.4 е показана графика на моментните честоти след Хилберт-Хуанг трансформацията на същата дума



Фиг.4. Моментни честоти на думата „не“ получени с Хилберт-Хуанг трансформация

На фиг.5 са показани в графичен вид обобщени данни за честотите на IMFs, когато изследваните лица казват истина и неистина (с прекъсната линия). Данните за неистина са интерполирани, тъй като са 6 пъти по-малко на брой.



Фиг.5. Честоти на присъщите функции IMFs на изследваните доброволци

Графиките имат приблизително еднакъв характер. Средите стойности на честотите на IMFs за неистина са

$$\bar{F}_{False} = \sum_{i=1}^N \frac{F_i}{N} = \frac{152.784}{21} = 7.275428 \text{ Hz}, N = 21. \quad (5)$$

Средите стойности на честотите на IMFs за истина са

$$\bar{F}_{True} = \sum_{i=1}^N \frac{F_i}{N} = \frac{765.688}{126} = 6.07688 \text{ Hz}, N = 126. \quad (6)$$

С оглед на пълнота на изследванията, с програмите median(.) и std(.) на Matlab са изчислени статистически

данни: медианна стойност: $F_{m_False}=9.1394\text{Hz}$; $F_{m_True}=8.2203\text{Hz}$; стандартно отклонение: $F_{std_False}=4.405\text{Hz}$; $F_{std_True}=4.5216\text{Hz}$.

Визуалният оглед на формите на шаблоните и резултатите по критериите от патентния документ, не потвърждава заявените претенции на Института по верификация на истината. В тази оценка важна роля играе нормирането на шаблона, по-точно определяне на продължителността на ехото в стаята (реверберацията). Необходимо е прецизно измерване с тест-сигнал с определена продължителност, каквото ще бъде направено в следващи изследвания.

От научната публикация на Олоф Липолд, се разбира, че при наличие на психологичен стрес, честотата на тремора се увеличава. От изчисленията се вижда, че средната и медианна IMFs честоти, при изговаряне на неистина, имат по-високи стойности с малко над 1Hz. От друга страна, ако честотата на психологичния тремор е над 14Hz, тогава трябва да няма IMFs, т.е. честотата да е нула. Това се наблюдава в 3 от 21 на случаите False (14.29%) и в 27 от 126 при True (21.43%), което не потвърждава тази хипотеза.

5. ИЗВОДИ

В заключение може да се каже, че с предложения софтуер не може да се верифицира достоверно психологичен стрес. Вероятните фактори, които водят до този негативен резултат, са следните:

- Тестовите с изследваните лица са проведени при обстоятелства, които не провокират психофизиологична реакция на стрес. Ако такъв тест се проведе с лице от криминалния контингент, заплашено от ефективна присъда, резултатите ще са различни.
- Броят на изследваните лица - 16, а на тестовите - 21 е твърде малък за статистически заключения.

Изследванията в тази област трябва да продължат в търсене на допълнителни критерии за верификация съвместно с медици и психолози.

6. REFERENCES

- [1]. С. Занев, Полиграфът или машината на истината. «Изток- Запад», 2002, с.32, с.33, с.63.
- [2]. O. C. J. Lippold, Oscillation in the stretch reflex arc and the origin of the rhythmical, 8-12 c/s component of physiological tremor, J. Physiol. (1970), 206, pp. 359-382.
- [3]. Charles Humble, Method for Quantifying Psychological Stress Levels Using Voice Pattern Samples, Patent Application Publication, № US 2005/0131692 A1.
- [4]. Victor L. Cestaro, A Test of the Computer Voice Stress Analyzer (CVSA) Theory of Operation, Polygraph, 2002, 31(2), pp.72-86.
- [5]. Anders Eriksson and Francisco Lacerda, Charlatany in forensic speech science: A problem to be taken seriously, The international journal of speech, language and the law, vol. 14.2 2007, pp. 169-193.
- [6]. Hai Huang, Jiaqiang Pan. Speech pitch determination based on Hilbert-Huang transform, Elsevier, Signal Processing 86 (2006), pp. 792-803.
- [7]. П. С. Апостолов. Математически приближения с компресиран косинуси и техни приложения, Академично издателство «Проф. Марин Дринов», 2012.

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2014”	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДА НА КОМПРЕСИРАНИ КОСИНУСИ ПРИ СИНТЕЗ НА ДВУМЕРНА АКУСТИЧНА РЕШЕТКА С ПЕТ ЕЛЕМЕНТА

2-D five elements acoustic array synthesis using method of compressed cosines

Assoc. prof. ScD Peter S. Apostolov, prof. assist. Georgi P. Georgiev

College of Telecommunications and post, "Akademik Stefan Mladenov" 1, 1700, Sofia, Bulgaria, e-mail: p_apostolov@abv.bg,
goshko.georgiev@gmail.com.

Abstract: This paper proposes design of an acoustic array using method of “compressed cosines”. Approximation of an ideal band pass function – Kronecker- δ with third degree optimal polynomial is performed. To realize a phase functions a Luneburg lenses are used. The designed array has remarkable properties: broadband and constant array factor. A Matlab simulation with sound waves is demonstrated. With the proposed method design of a five element, two-dimensional array antenna is performed.

1. Introduction

The acoustic arrays are spatial filters. They are used for direct receiving of sound signals to definite direction. They consist of N equal uniform set elements (sensors). Basic parameters of acoustic array are:

- general array shape;
- element spacing d normalized against wave length λ ;
- element excitation amplitude I_n ;
- element excitation phase φ_n ;
- pattern of array element.

The gain diagram of acoustic array is defined by the pattern multiplication theorem:

Array pattern = Array element pattern $\times$ Array Factor.

The array factor depends of general array shape, element excitation amplitude and element excitation phase. For linear equidistant acoustic array (LEAA) it looks like the function. The synthesis procedure reduces to determining of the array factor. The main disadvantage of the acoustic arrays is that they are very narrowbanded. The frequency bandwidth is no more than 10-15% outside the nominal wave length λ .

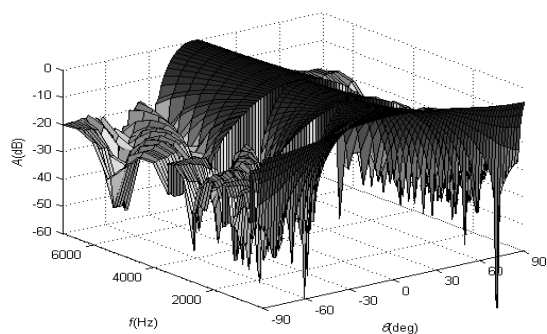


Fig.1. Array factor of nested acoustic array

In the design must be a trade-off between the geometric size and the selectivity of the array. Such a solution is “nested array” [1]. Figure 1 shows array factor of nine – elements nested

acoustic array with interelement distance 2.54cm. This array is widebanded: 350 – 7000Hz, but the selectivity is low and inconsistent. So far in the literature has not been known a design method for a broadband, narrowbeam LEAA with constant array factor. Subject of research of this paper are LEAA with aforementioned properties.

2. Approximation with compressed cosines

There are methods for improving the selectivity of the LEAA. They are created for linear equidistant array antennas design. Their basis is a polynomial approximation of an ideal function. The most popular methods are Taylor’s [2], Villeneuve’s [3], Schelkunoff’s [4], Orchard’s [5], Dolph–Chebyshev’s [6], Hausdorff’s [7] etc. The method of Dolph–Chebyshev and its modification by Riblet [8] have the best properties.

In the paper a new polynomial approximation method is used. The theoretical basis of the method is detailed in [9]. It will be discussed a polynomial approximation of an ideal band pass function – Kronecker- δ

$$\delta(\theta) = \begin{cases} 1, & \theta = 0 \\ 0, & \theta \neq 0 \end{cases}; \theta \in [-\pi/2, \pi/2], \quad (1)$$

where θ is the azimuth angle. With the method an optimal 3rd degree polynomial is obtained

$$P_3(\theta) = \sum_{k=1}^4 b_k \cos[(k-1)\varphi(\theta)/2], \quad (2)$$

with coefficients:

$$b_1 = b_3 = 0.5; b_2 = b_4 = 0. \quad (3)$$

The argument of the cosine contains a modulating function $\text{erf}(\cdot)$ - Gaussian integral error function with S-shaped graph

$$\varphi(\theta) = \pi \text{erf}(\beta k d \sin \theta). \quad (4)$$

The modulating function compresses the cosine in the middle of the definition domain, $\beta > 0$ is a parameter, which changes the compression density. This effect gives the name of the

method: "Approximation with compressed cosines". Figure 2 shows an approximation of the Kronecker- δ with 3rd degree optimal polynomial for two values of the parameter β .

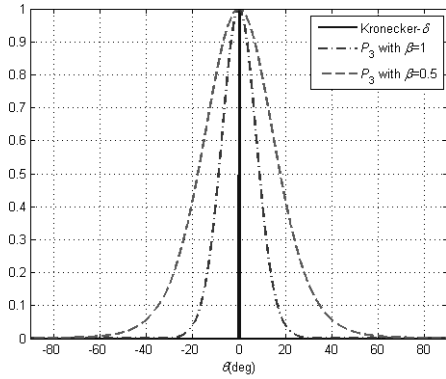


Fig.2. Approximations of Kronecker- δ with third degree polynomials

Figure 3 shows the corresponding array factors in [dB].

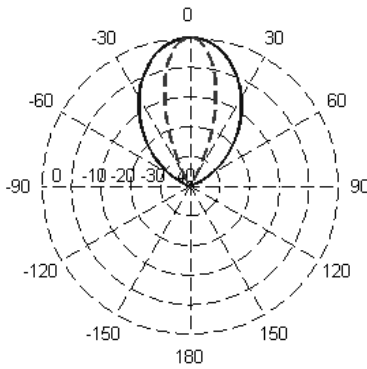


Fig.3. Array factors in [dB]: continues $\beta = 0.5$; dashed $\beta = 1$

It is seen that the array factor is without side lobes and the parameter β changes the width of the mainlobe.

The parameter β is determined from

$$\beta = \frac{\text{erf}^{-1}\left(\frac{1}{\pi} \arccos(1 - \sqrt{2})\right)}{kd \sin(\Delta\theta_{-3\text{dB}})},$$

where $\Delta\theta_{-3\text{dB}}$ is the mainlobe width at level $1/\sqrt{2} \approx 0.707$,

$\text{erf}^{-1}(\cdot)$ is the inverse integral Gaussian error function.

From the non-zero coefficients of the polynomial the normalized array factor of the acoustic array is determined

$$A(\theta) = 1 + 2 \exp(j\varphi(\theta)) + \exp(j2\varphi(\theta)). \quad (6)$$

3. Design of a three element broadband acoustic array with a constant array factor

The task is to realize the three terms of the array factor (6) with technical means. The exciting currents can be easily realized – it is necessary to amplify the signal from the second sensor by 2.

The exponents of the second and the third terms express the phase change of the signals. To be implemented the phase function, it is necessary a technical mean to determine the direction of arrival to the sound waves in the azimuth plain. One possible solution is the acoustic Luneburg lens [10, 11]. The Luneburg lens is a sphere with a variable refraction coefficient. Theoretically the refraction coefficient does not depend on the

frequency, or the wavelength λ . The lens has the property to focus the parallel rays from all the directions of the azimuth angle θ in points, placed on one semicircle in the azimuth plain as it is shown on figure 4.

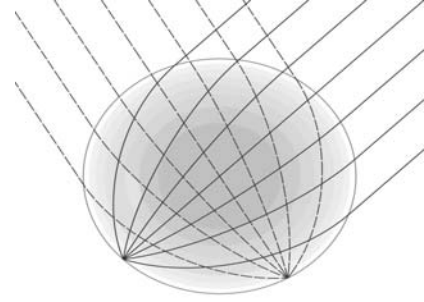


Fig.4. Luneburg lens

In these points microphones are installed. This allows the phase function $\varphi(\theta)$ to be realized with delay lines as it is shown in figure 5.

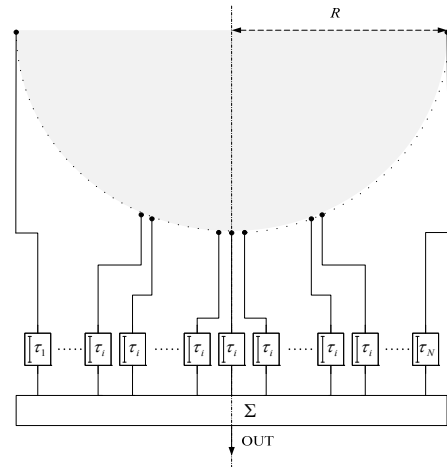


Fig. 5. Lower hemisphere of an acoustic Luneburg lens with delay lines

The delay time is determined by the modulating function (4). In figure 6 they are shown in graphic form for each of the three (5) lenses, where $\tau_{\max} = \lambda/(2v)$, v is the propagation velocity of the sound in the medium.

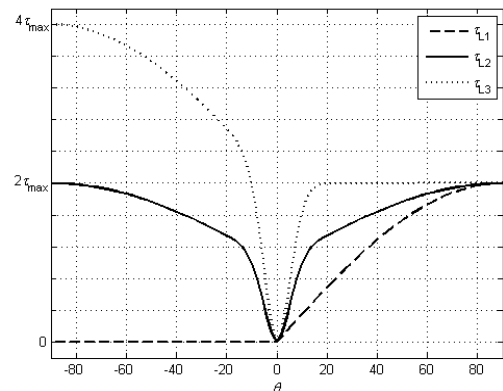


Fig. 6. Time delays functions

Figure 7 shows the structure of a three-element LEAA with the same Luneburg lenses with delay lines. The signal from the second lens is amplified by 2. At the output all the signals are added.

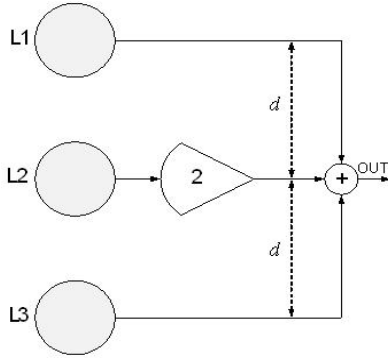


Fig. 7. Scheme of LEAA with 3 Luneburg lenses

The mainlobe width $\Delta\theta_{-3dB}$ and the time delays τ_L depend on the parameter $\beta > 0$ which can be arbitrarily large. This means that with three lenses, an arbitrary specification can be realized with respect to the width of the mainlobe. The array factor has no sidelobes. The proposed method possesses one noticeable property. From (5) for the mainlobe width follows

$$\Delta\theta_{-3dB} = \arcsin \frac{\operatorname{erf}^{-1}\left(\frac{1}{\pi} \arccos(1 - \sqrt{2})\right)}{\beta kd}; \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (7)$$

The numerator of the function $\arcsin(\cdot)$ is a constant. From the denominator it is seen that the change of the nominal wavelength λ , or the interelement distance d can be compensated with the parameter β (resp. time delays). Therefore, at a fixed interelement distance the acoustic array can operate with a constant array factor on an arbitrary nominal frequency or wavelength. In digital signal processing, the acoustic array can operate in real time with constant beam in many frequency bands, as the different time delays are programmable.

The described property is proved by a computer simulation of Matlab for 3 element array with interelement distance 17.1cm and mainlobe width $\Delta\theta_{-3dB} = 10^\circ$. For frequencies 300, 1000 and 3500Hz, 91 $\times$ 3 sinusoids were created with a sampling rate of 192kHz. The sinusoids are phased so as, to simulate reception of a signals at the three points of the sensors, from 91 spatial directions of the azimuth angle $\theta \in [-\pi/2, \pi/2]$. Figure 8 shows the results of the simulation. For the different frequencies the beam-width is constant. For 3500Hz the discretization noise is at level -30dB.

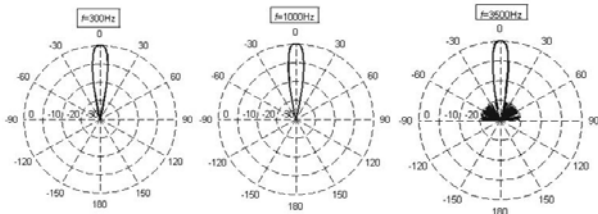


Fig. 8. Matlab simulation

4. Two-dimensional LEAA with 5 sensors

It is known that LEAA is selective in the azimuth angle θ only. To obtain 2-D selectivity a combination has to be realized of two orthogonally placed LEAAs with three Luneburg lenses each, as it is shown in figure 9. The antenna-sensors for the delay lines of the central common antenna A2 are placed on the two mutually perpendicular focal semicircles. The signal from

A2 is amplified by 2. At the output, all the signals are added. Figure 10 shows theoretical array factor of two-dimensional LEAA.

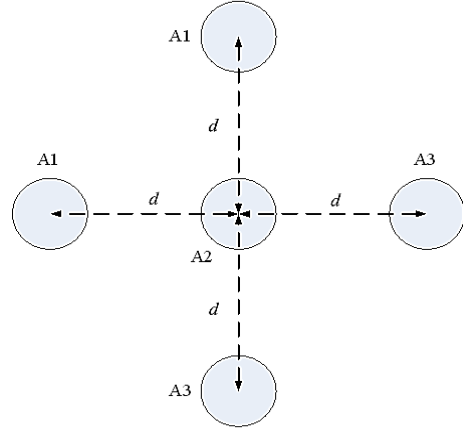


Fig. 9. Two dimensional LEAA structure.

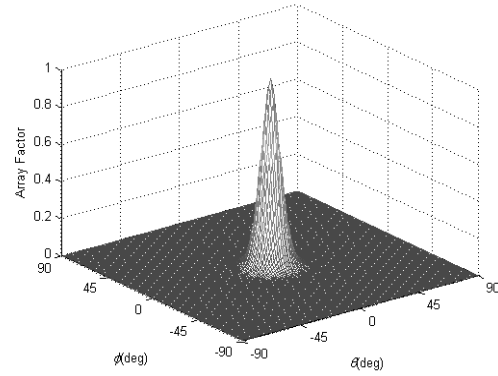


Fig. 10. Array factor of two dimensional LEAA.

5. Conclusions

With the method of compressed cosines an optimal 3rd degree polynomial is obtained. A technical solution to design LEAA with 3 acoustic Luneburg lenses is proposed. As a result a broadband without sidelobes LEAA, with constant array factor is designed.

Acknowledgements

This work was supported in part by the College of Telecommunications and post under Grant H-01, 30.04.2014.

REFERENCES

- [1] Apostolov, P., A. Stefanov. Wideband microphone array. *EICS 2013, 16-17 may, NTSC, Sofia*, pp.201-207.
- [2] Taylor T. T, "Design of Line-Source Antennas for Narrow Beamwidth and Low Side Lobes," *IRE Trans. Antennas Propagat.*, AP-3, 16 (1955).
- [3] Villeneuve A. T. "Taylor Patterns for Discrete Arrays", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*-32, 1089 (1984).
- [4] Schelkunoff, A. S. "A Mathematical Theory of Linear Arrays". *Bell Syst. Tech. J.*, 22, 80 (1943).
- [5] Harry L. Van Trees. *Optimum Array Processing*. John Wiley & Sons, 2002.
- [6] Dolph C.L. "Current Distribution for Broadside Arrays which optimizes the Relationship between Beamwidth and Side-Lobe Level". *Proc. IRE and Waves and Electrons*, June 1946.

[7] Sendov, B. "*Hausdorff Approximations*". Kluwer Academic Publishers London 1990.

[8] Riblet, H.J. "Discussion on a Current Distribution for Broadside Arrays which optimizes the Relationship between Beamwidth and Side-Lobe Level". *Proc. IRE*, May 1947, pp. 489-492.

[9] Apostolov, P. *Approximations with compressed cosines and their applications*. Prof. Marin Drinov Academic Publishing House, Sofia, 2012.

[10] Apostolov, P. *Approximations with compressed cosines and their applications*. Prof. Marin Drinov Academic Publishing House, Sofia, 2012.

[11] Boyles, C.A. Wave Theory of an Acoustic Luneburg Lens. II. The Theory of Variable Density Lenses. *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol.45, Issue 2, 2005, pp. 356-364.

[12] Lee, K. J. B. and Jung, Myoung Ki and Lee, Sam H. Highly tunable acoustic metamaterials based on a resonant tubular array, *Physical Review B*, Vol.86, Issue 18, Nov. 2012, pp.184302-184307.

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2014”	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

ПОДГОТВЯНЕ НА ОБРАЗЦИ ОТ ПОЛИКРИСТАЛНИ МАТЕРИАЛИ ЗА ЕКСПЕРИМЕНТИРАНЕ С БЕЗРАЗРУШИТЕЛНИ МЕТОДИ

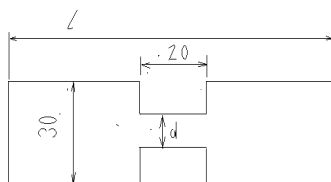
Т. Парталин, Й. Иванова

Увод

Своевременното установяване на критично уморно състояние на материалите е важно поне по три съществени причини. Първата е грижата за живота и здравето на потребителите на различни изделия, машини, транспортни средства, производствени съоръжения и пр. Друга една е икономическа – животът на конструкциите може да се продължава „по състояние” до изчерпване на ресурса. Трета, но не на последно място е познаването на свойствата на материята, от която е изграден света – фундаменталното научно познание [1,3,5,6,8,10,12]. Естествено установяването и оценяването на състоянието на умора *in situ* трябва да се извършва чрез безразрушителни методи.

Основни положения

Надеждната работа на средствата за безразрушителен контрол (БК) се постига като резултат от сравнителните изследвания на възможностите и достойнствата на различните по своята физична основа методи, като целта е не само констатиране на настъпили изменения, но и увереното установяване на степента на увреждане. За целите на програмата ни за изследване на умора на металите със средствата за БК са необходими серии специално подготвени образци със налична в тях област с натрупани увреждания от циклично натоварване (фиг. 1). За получаване на данни за един материал са необходими поне 8 – 10 точки за кривата на умората и поне 3 - 5 образца за точка или около 25 до 50 броя [13]. Подготовката на такъв брой епруветки само за една серия по класическия механичен или хидравличен метод на уморяване би отнело твърде много време.



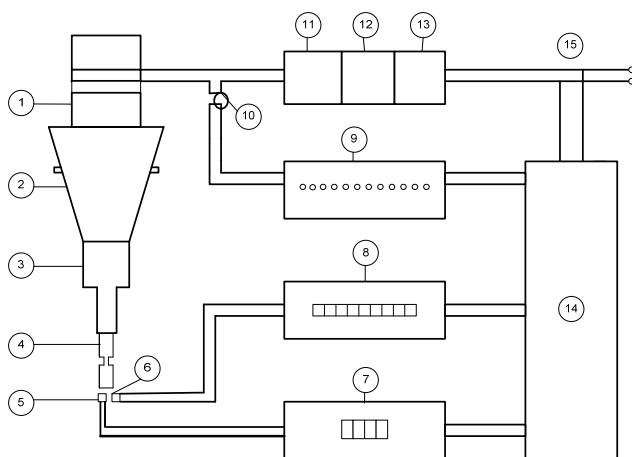
Фиг 1 а,б,в Образци за уморяване

Умората на материалите става при циклични натоварвания с голям брой цикли например 10E09 - 10E10 пъти (опън и натиск). Реализирането на високочестотно циклично натоварване дава възможност да се съкрати значително необходимото време, като уморяването на един образец да се случи в обозрим срок за часове или дни. Такава многоциклова умора се осъществява с машини, работещи на честоти 20 -30 kHz, предложени през 50-те години на миналия век. Единични екземпляри такъв тип са въведени през 80-те, а през последните 15-20 години бързо се увеличават [12]. На пазара се предлагат на цени от 80000 € до 300000 €, което ги прави недостъпни за нашия проект.

Устройство за многоциклово натоварване

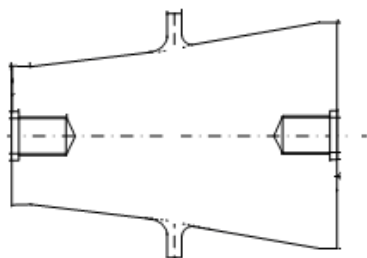
За подготовка на образци след циклични натоварвания в проекта беше предвидено създаването на опитна установка в рамките на отпуснатите средства (фиг. 2). При проектирането и е използван опита, споделен в научната литература [2,4,7,12].

Беше избрана честота 28 kHz, за която достъпните генератори и ултразвукови преобразуватели осигуряват мощност 100 – 120 W. За да се прехвърли енергията от ултразвуковия трансдюсер към образеца бяха проектирани и изработени необходимите съгласуващи бустер и механичен трансформатор на амплитудата на трептене (концентратор) (фиг.3,4). На фиг. 5 е показана механичната система на устройството за високочестотно циклично натоварване в сглобен вид.



- 1- трансдюсер
- 2- бустер
- 3- концентратор
- 4- образец
- 5- сензор за амплитуда
- 6- сензор
- 7- индикатор за амплитудата
- 8- брояч
- 9- индикатор за мощността
- 10- токов трансформатор
- 11- ултразвуков генератор
- 12- управление на мощността
- 13- управление на режима
- 14- захранване
- 15- електрическа мрежа

Фиг. 2 Схема на опитната установка



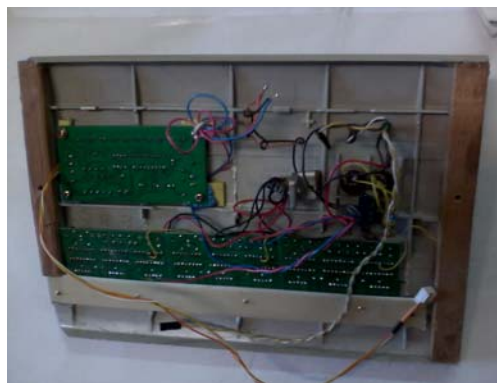
Фиг. 3 Бустер



Фиг. 4 Концентратор



Фиг. 5 Трансдюсер, бустер, концентратор и образец



Фиг. 6 Панел с платките на брояча и индикатора на мощността

В разработената опитна установка има регулатор на мощността и управление на режима, с което да се избегне евентуално нагряване. В мощните устройства за ултразвукова умора се използва периодично прекъсване на трептенията, за да може образеца да се охлади в съотношение работа/почивка обикновено от 1:2 до 2:1 и продължителност на един такъв цикъл от порядъка на секунди. Използва се и принудително охлаждане чрез обдухване [3,4,5,12]. За следене и управление на работния режим е направен също индикатор на мощността. Направен е и електронен брояч, който отчита осъществените цикли на натоварване.

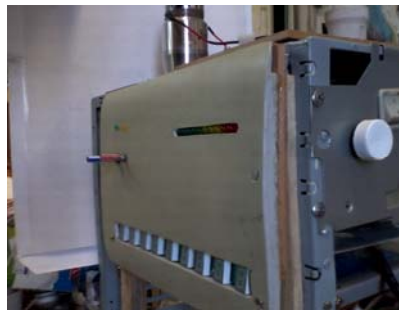
Образците, предназначени за уморяване са изрязани от лист стомана чрез водно рязане, за да се избегнат евентуални отатъчни напрежения нагряването при лазерно рязане. Формата им е проектирана така, че уморните изменения да са в централната част, която от своя страна да е с достатъчна площ за използване на осезатели и сенсори за БК. За пробите са подготвени образци с три различни ширини d 10, 14 и 20 мм (фиг. 1), а дължината е съобразена с резонансната работна честотата [9,11] макар впоследствие да е наложително допълнително скъсяване за донастройка на собствената честота на образеца до работната.

На фигурите 6,7,8, 9 и 10 са показани



Фиг. 7 Механична част, управление на режима

различни изгледи на направената установка.



Фиг. 8 брояч и индикатор на мощността



Фиг. 9 УЗ генератор и режим-контрол



фиг. 10 Панел брояч, индикатор

Тестване на разработеното устройство

С разработеното устройство бяха проведени предварителни изпитвания. Предлаганите на пазара машини имат разполагаема мощност около два киловата, но обикновено работят при доста по-лек режим, примерно 200 - 300 W. Целта е да не се претоварва термично образеца от погълнатата енергия в резултат на вътрешното триене. Разработената машина работи с почти пълната си мощност и това създава известни проблеми. При недобро съгласуване е възможно претоварване на генератора. След първото пробно пускане се наложи смяна на елементи. След ограничаване на мощността при последвалите изпитвания допълнително съгласуване беше направено чрез намаляване на дължината на образеца. Предвид сравнително малката мощност може да се окаже излишно управляването на режима работа/почивка за обработване на подготвените образци. Положителното е, че времето за обработване при непрекъснат режим ще се съкрати. В такъв непрекъснат режим с ограничена мощност установката работи няколко часа, след което трябва отново да се настройва.

Поради краткия срок за изпълнение на проекта не са проведени пълноценни изпитания и подготовка на серия образци за БК, но работата продължава.

Изводи

Направена е машина за реализиране на високочестотна ултразвукова умора на образци. Проведени са изпитания, които показаха, че е необходимо да се добави система за донастройване на резонансната честота на уморявания образец. В пробен образец след провеждане на циклично натоварване около 2×10^8 цикъла със средства на БК (ултразвуков метод) бяха отчетени настъпили изменения на свойствата на материала в средната част на образеца.

За подготвяне на серии от образци е необходимо също така да се добави управление на работа по брой цикли съобразени с мощността.

Благодарности

Работата е финансирана от ФНИ на Софийски Университет „Св. Климент Охридски“ договор 176/2014.

1. Stanzl-Tschegg, St. Very high cycle fatigue measuring techniques, International Journal of Fatigue 60 (2014) 2–17
2. Anes V, Montalvão D, Ribeiro AM, Freitas M and Fonte M., Design and instrumentation of an ultrasonic fatigue testing machine. Proceedings of the 5th International Conference on Very High Cycle Fatigue, Berlin, Germany, 2011, 421 – 426.

3. Bathias C, Paris PC., Gigacycle fatigue in mechanical practice. New York: Marcel Dekker; (2005)
4. Bathias C., Piezoelectric fatigue testing machines and devices. *International Journal of Fatigue* (2006) 28, 1438 – 1445.
5. Yoshiyuki Furuya, Size effects in gigacycle fatigue of high-strength steel under ultrasonic fatigue testing, *Procedia Engineering*, Volume 2, Issue 1, April 2010, Pages 485–490
6. Furuya Y , S Matsuoka, T Abe, K Yamaguchi, Gigacycle fatigue properties for high-strength low-alloy steel at 100 Hz, 600 Hz, and 20 kHz, *Scripta Materialia*, Volume 46, Issue 2, 18 January 2002, Pages 157–162.
7. Shyam A., C. J. Torbet , S. K. Jha, J. M. Larsen³, M. J. Caton, C. J. Szczepanski, T. M. Pollock, J. W. Jones, development of ultrasonic fatigue for rapid, high temperature fatigue studies in turbine engine materials, *Superalloys 2004*, Edited by K.A. Green, T.M. Pollock, H. Harada, TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 2004 .
8. Nadtochiy A. B., A. N. Gorb, and O. A. Korotchenkov, Ultrasonic Engine Based on Traveling Waves in a Plate, *Technical Physics*, Vol. 49, No. 4, 2004, pp. 447–453.
9. William F. Stokey, Vibration of systems having distributed mass and elasticity, Chapter 7, Internet
10. Bhat S. and R. Patibandla, Metal Fatigue and Basic Theoretical Models: A Review
School of Mechanical and Building Sciences, Vellore Institute of Technology, Tamil Nadu, India, Alloy Steel - Properties and Use, Edited by Dr. Eduardo Valencia Morales, ISBN 978-953-307-484-9.
11. Wayne E. Tefft and Sam Spinner , Cross-Sectional Correction for Computing Young's Modulus From Longitudinal Resonance Vibrations of Square and Cylindrical Rods, *Journal of research of the National Bureau of Standards- A. Physics and Chemistry* Vol. 66A, No.2, March- April 1962.
12. Kazymyrovych V., Very high cycle fatigue of engineering materials, Dissertation, Karlstad University, 2010.
13. Иванова Й., Т. Парталин, Изследване на деградация на стомана вследствие на умора, *Акустика*, 14,1, 2012, 46-51, ISSN 1312-4897.

	АКУСТИКА Национална конференция "Акустика 2014"	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

ЗВУКОПОГЛЪЩАНЕ НА КАУЧУКОВИ ИЗДЕЛИЯ И ЗВУКОИЗОЛАЦИЯ С ТЯХ

Й.Иванова, ИМех-БАН, СУ"Св.Кл.Охридски"ФзФ
В. Митров, ф.Зебра АД, София

Резюме В настоящата работа се представени резултати от експериментално определяне на коефициенти на звукопоглъщане на каучукови материали, произведени от ф. Зебра, използвани за звукоизолация. Изследвани са акустичните характеристики на образци от каучук, както и на трислойни панели, изградени от рециклирани каучукови отпадъци. Получени са резултати за звукопоглъщане по метода на стоящата вълна в честотния интервал от 100 до 2000 Hz. Коефициентите на звукоизолация на прегради от каучукови продукти са определени по метод на "двете камери" в честотния интервал от 100 до 4000 Hz.

Материали

Обект на изследване са акустичните свойства на каучукови изделия, в това число пластини и плочи, продукти от производството на фирма Зебра, София [1]:

- Плоча тип SBR (плътност 1800 g/m^3);
- Пластини 3SB (плътност 1800 g/m^3);
- Гума тип EVA (плътност 900 g/m^3);
- Девулканизирана гума (плътност 1150 g/m^3);
- Плоча от едри каучукови мленки (среден размер $d=7\text{mm}$) с адхезив латекс - M0- малка плътност (плътност 920 g/m^3);
- Плоча от едри каучукови мленки с адхезив латекс и уплътнена структура- M1 (плътност 1080 g/m^3);
- Плоча от ситни каучукови мленки (среден размер $d=3\text{mm}$), адхезив латекс- M2 (плътност 1000 g/m^3);
- Панел, сандвичов тип с външни слоеве пластини SBR и вътрешен слой -мленки M1;
- Панел, сандвичов тип SBR-мленки M2- SBR.

Определяне на коефициент на звукопоглъщане

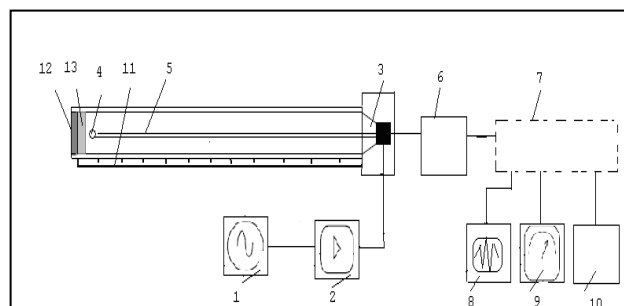
За определяне на звукопоглъщането се използва акустичен интерферометричен метод [2,4,7,8]. Апаратурата, с която се реализира измерването представлява интерферометрична цилиндрична тръба с акустично твърди стени в единия край, на която е поставен сравнителен образец или изпитван образец, а в другия край –високоговорител, който създава в тръбата плоска звукова вълна [2,7,8]. В интерферометъра се премества микрофон, който измерва звуковото налягане в областите на минимално и максимално налягане на образуваните в тръбата стоящи вълни.

Условия и апаратура за провеждане на изпитването

Измерванията са направени в Институт по механика-БАН-София през лятото. За надморската височина 550 m, средни дневни температури 25°C и типично за сезона атмосферно налягане скоростта на звука е 331 m/s . При така приетите условия за атмосферно налягане, влажност на въздуха, температура и скорост на звука, изследванията се провеждат в честотния диапазон 100-2000 Hz.

Схема на апаратурата е представена на фиг. 1. Интерференционната тръба е тръба от плексиглас с вътрешен диаметър $D = 90 \text{ mm}$ и с дължина 2000 mm. Като отражател се използва месингов диск, който е плътно прилепен в края на тръбата.

Високоговорителят 3 излъчва звукови вълни, които се възбуждат при включване на генератора 1. Микрофонът 4 с измерителното устройство 9(10) измерва звуковото налягане. Калибрирането на устройството се постига с използване на пистифон. Областите с максимална и минимална стойност на звуково налягане се определят по измервателна скала 11, разположена на тръбата.



Фиг.1 Блок схема на апаратура за измерване на коефициент на звукопоглъщане по метода на стоящите вълни: 1- Звуков генератор, 2-Усилвател, 3- Високоговорител, 4-Измерителен микрофон, 5- Месингова тръба, 6-Предусилвател на микрофона, 7- Филтри, 8 –Осцилоскоп, 9- Измерител на звуково налягане, 10- Волтметър, 11- Скала за отчитане на разстоянието, 12- Сравнителен образец от месинг, 13- Образец за изследване

Преди започване на изпитването се регистрират параметрите на средата – температура, влажност на въздуха и атмосферното налягане. Пресмятат се резонансните честоти и дължините на вълните (λ).

Експериментално се определят резонансните честоти на системата и се сравняват с пресметнатите.

Измерва се звуковото налягане на стоящите вълни при наличие на месинг при всяка резонансна честота. Измерват се разстоянията, на които се намират максимумите ($\lambda/2$) и минимумите ($\lambda/4$) на стоящите вълни.

Пробен образец от изследваните материали се поставя пред сравнителния образец от месинг. Задава се честота на генератора за получаване на поредния резонанс. Измерва се звуковото налягане. Провеждат се 3 измервания, като се движи микрофона в няколко максимума и минимума на стоящите вълни. Измерват се разстоянията до максимумите и минимумите.

Стойностите се записват и се обработват статистически [9]. Изчисляват се коефициентите на стоящите вълни n (1), звукопоглъщане α (2) и звукоотражение β (3) чрез зависимостите [2, 4]:

Коефициент на стоящата вълна n

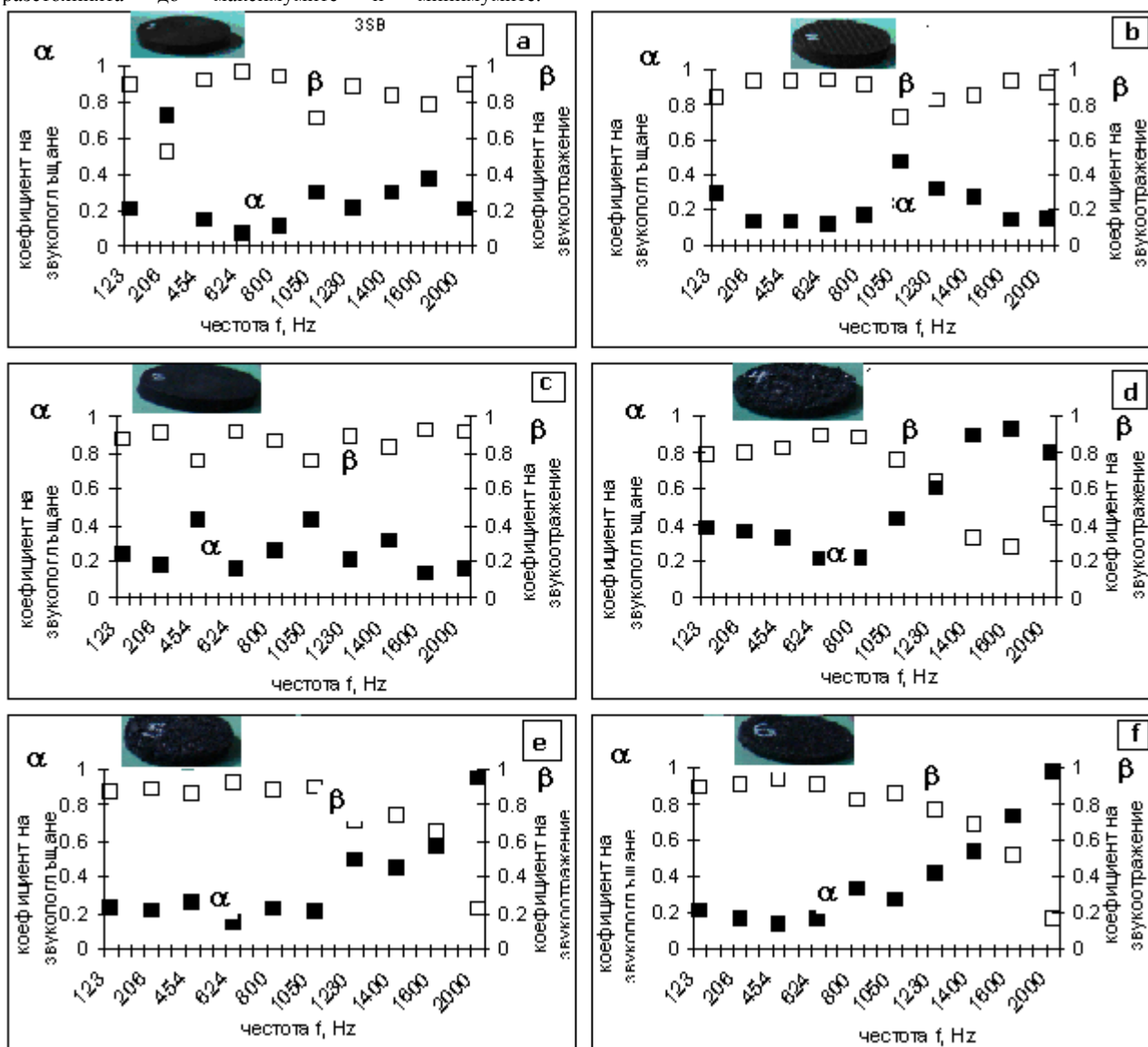
$$(1) \quad n = (P_{\max} / P_{\min})$$

Коефициент на звукопоглъщане α

$$(2) \quad \alpha = \frac{4n}{2n + n^2 + 1} = \frac{4n}{(n+1)^2}$$

Коефициент на звукоотражение β

$$(3) \quad |\beta| = \frac{n-1}{n+1}$$



Фиг.2. Изменение на коефициентите на звукопоглъщане α и звукоотражение β от честотата на изследване а-тип 3SB, b-тип "Eva", c-девулканизирана гума, d-мленки M0, e- мленки M1, f-мленки M2

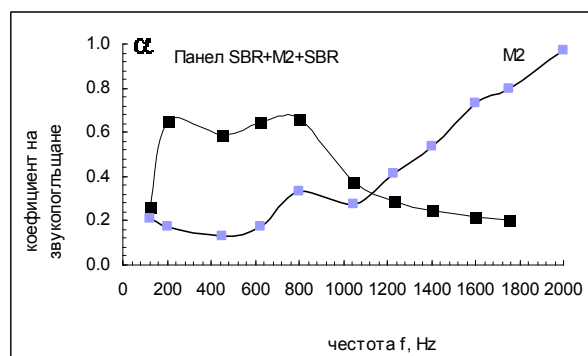
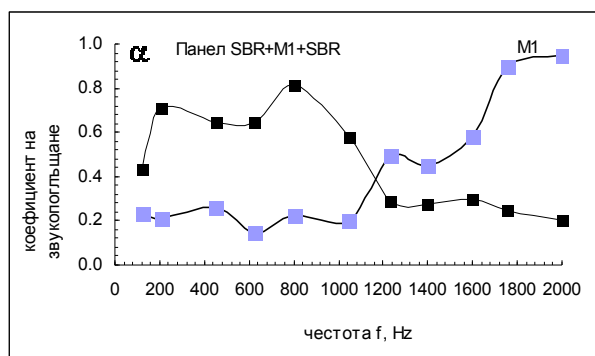
На фиг. 2 са показана зависимости на коефициенти на звукопоглъщане и звукоотражение от честота, получени при изследване на каучуковите материали. Средната стойност на звукопоглъщането в честотния диапазон от 100-500 Hz за материалите тип 3SB, EVA, девулканизирана гума е $0.28 \pm 10\%$, а в диапазона от честоти 500-2000 Hz е $0.25 \pm 8\%$ (фиг.2 a,b,c). Усреднените стойности на коефициентите на звукоотражение са 0.85. Образците, съставени от рециклирани материали M0, M1,

M2 имат коефициенти на поглъщане съответно 0.58, 0.49, 0.42 в целия диапазон на изследване (фиг.2 d,e,f). Изследваните образци имат една и съща дебелина.

На фиг. 3 a,b са сравнени резултати от образци от мленки (M1 и M2) и панелите SBR-M1-SBR и SBR-M2-SBR. Звукопоглъщането на панелите се увеличава в честотния диапазон от 100 до 1000 Hz около 3 пъти и достига до стойности 0.6, а при честоти от 1000-2000 Hz намалява до 0.2.

С изграждането на панели от различните материали може да се получи материал, с необходимия коефициент

на звукопоглъщане.



Фиг.3. Коефициенти на звукопоглъщане от честота на изследване
а) плоча мленки M1 и панел SBR-M1-SBR; б) плоча мленки M2 и панел SBR-M2-SBR

Определяне на коефициент на звукоизолация на гумени плочи и прегради

Обект на изпитване са плочи, произведени от ф.Зебра с размери 500x500x 30mm. Видът на плочите, материалите и резултати за плътността са дадени в Таблица 1.

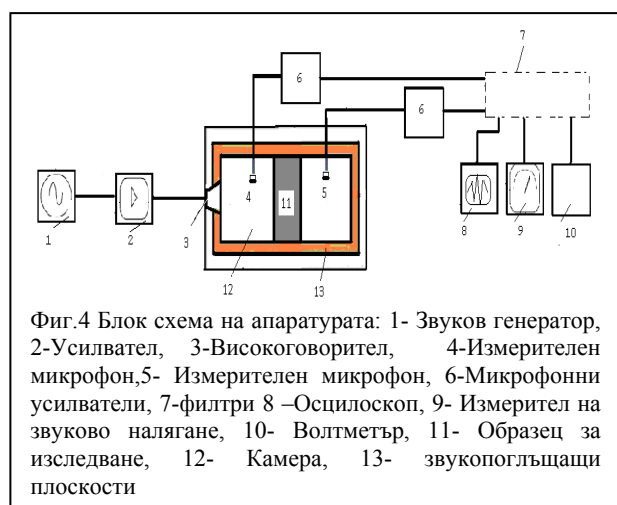
Таблица 1

	Материал на изпитвания образец	Плътност	Фигура
1	Гумени пластини 3SB	1800 g/m ³	
2	Дренажна плоча	1500 g/m ³	
3	Антивибрационна плоча SBR	1500 g/m ³	
4	Плоча от мленки от гума с адхезив латекс	1080 g/m ³	
5	Панел 3SB- мленки- 3SB		

Метод на измерване

За определяне на изолационната способност на преграда се използва коефициент на звукоизолация R, който представлява отношение на звуковото налягане P₁ на падащата звукова вълна към звуковото налягане P₂ на вълната, преминала през преградата [2,5,6]. Използва се метод на двете камери, между които се поставя изпитваните образци (фиг.4).

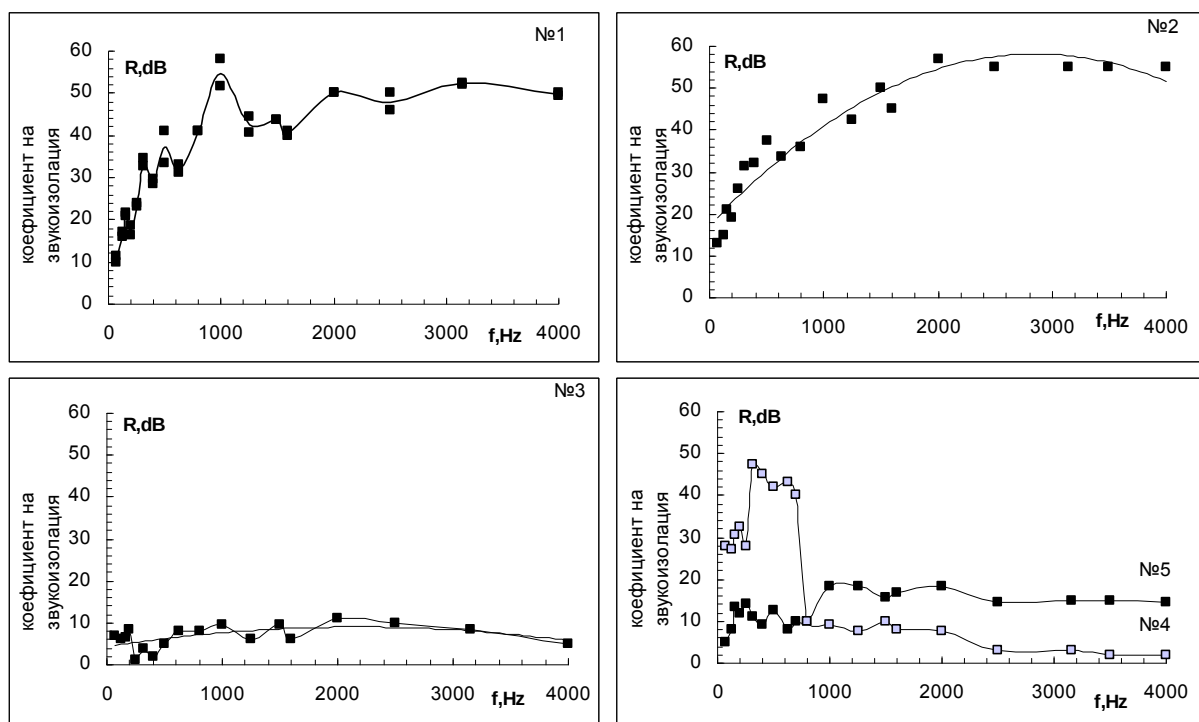
В едната камера се поставя източник на звук (високоговорител), който създава хомогенно звуково поле и референтен микрофон, а в другата се разполага микрофон, който приема преминалия през преградата (изпитвания образец) звук. Обемът на камерите се избира в зависимост от изследваните материали и интервала на използваните честоти. Камерите имат дебели стени, изолирани и облицовани със звукопоглъщащи материали. Високоговорителят 3 излъчва в камерата 12 плоски звукови вълни, които се възбуждат при включване на генератор 1. Микрофонът 4 с измерителното устройство 9 (10) измерва звуковото налягане L₁ на падащата звукова вълна. Микрофонът 5 и устройството 9 измерва налягането L₂ на звуковата вълна, преминала през образца за изследване. Измерването може да се реализира само с шумоизмерител 9.



Фиг.4 Блок схема на апаратурата: 1- Звуков генератор, 2-Усилвател, 3-Високоговорител, 4-Измерителен микрофон, 5- Измерителен микрофон, 6-Микрофонни усилватели, 7-филтри 8-Осцилоскоп, 9- Измерител на звуково налягане, 10- Волтметър, 11- Образец за изследване, 12- Камера, 13- звукопоглъщащи плоскости

При реализирането на този метод създаването звуково поле е еднородно и изотропно, като предаването на звук по странични пътища извън изследвания звукопоглъщащ панел е намалено до минимум. Режимът на работа е стационарен. Измерванията на звуковото налягане L (dB) в двете камери се провеждат при честоти в октавни ивици при честоти 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz. Коефициентът на звукоизолация се определя по зависимостта [3,6,7]:

(4) $R=L_1-L_2+10\lg(S/A)$ където L₁ и L₂ са измерените нива на звуковото налягане в 1 и 2 камери на една честотна лента, S – площ на разделителната преграда между камерите, A- еквивалентната площ на звукопоглъщането.



Фиг. 5. Изменение на коефициента на звукоизолация от честотата

На фиг.5 са показани коефициенти на звукоизолация при изменение на честотата. Наблюдава се нарастване на стойностите при честоти от 1000 до 4000Hz и при материали 1,2 усреднените стойности са около 50 dB. Средна стойност на звукоизолацията в целия честотен диапазон е 10dB, както за плоча №3 (антивибрационна), така и за плочата от каучукови мленки №4. Панелът №5, изграден от три слоя външни гумени пластини и вътрешен-плоча от мленки проявява добра звукоизолационна способност в честотния диапазон до 1000 Hz.

Заклучение

В работата са представени резултати от изследване на акустичните свойства (звукопоглъщане и звукоизолация) на каучукови изделия, произведени от ф.Зебра.

Изследвани са материали, разработени на основа на рециклирани каучукови отпадъци, които след комбинация с каучукови пластини показват добро звукопоглъщане и биха могли да се използват като звукоизолационни прегради.

1. www.zebra-bg.com
2. БДС EN ISO 10534 - 1 Акустика. Определяне на коефициенти на звукопоглъщане и акустичния импеданс в импедански тръби. Част 1: Метод на стоящата вълна.
3. Осипов Г.Л. и др. Звукоизолация и звукопоглъщане, Москва АСТ, 2004.
4. Боголепов И. И., Промышленная звукоизолация, Судостроение, Ленинград, 1986.
5. Колесников А.Е. Акустические измерения, Ленинград, Судостроение, 1983.
6. Иванов Н.И. Инженерная акустика, Теория и практика.Борьбы с шумом. Москва, 2008
7. Fahy F., Foundation of Engineering Acoustics, Elsevier Academic Press, San Diego, 2005.
8. Farina A, P Fausti, Standing wave tube techniques for measuring the normal incidence absorption coefficient: comparison of different experimental setups, Proc. of 11th. International FASE Symposium, 1994
9. ЕА 4/16. Указания на ЕА за изразяване на неопределеността при количествени изпитвания.

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2014”	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЧЕСТОТНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЦИЛИНДРИЧНА ХИДРОАКУСТИЧНА АНТЕНА С УСИЛВАТЕЛ

Гл.ас. Колев Ст.
ИМСТЦХ”А. Балевски” — БАН, София, България s_kolev@abv.bg

INVESTIGATION OF FREQUENCY CHARACTERISTIC OF CYLINDRICAL HYDRO-ACOUSTIC ANTENNA

Kolev S. dipl.eng.

Transmission antennas are basic element of the hydro-acoustic systems. In many cases they can be used as receiving ones, as well. The main characteristics of the hydro-acoustic transmitting systems are: coefficient of transformation of the electrical into acoustic power; frequency characteristic; transmission angle in horizontal and vertical plane.

For communication systems a circular diagram of transmission in horizontal plane is required. The most appropriate for this purpose is using of cylindrical piezo-ceramics antennas operating in their resonance frequency.

The choice of material and thickness of moisture resistant coating play important role for manufacturing of such antennas. This paper presents results from selection and testing of amplitude-frequency characteristics of cylindrical piezo-ceramics antenna, encapsulated with a layer of polyurethane coating and estimation of their application in system for control of underwater objects.

Key words: communications, hydro-acoustic antenna, directionality, amplitude, transmission, frequency characteristics, coating.

1. Увод

До този момент най-ефективният известен метод за подводно управление и комуникация е използването на хидроакустичен канал. За целта се употребяват хидроакустични преобразуватели (предаватели и приемници).

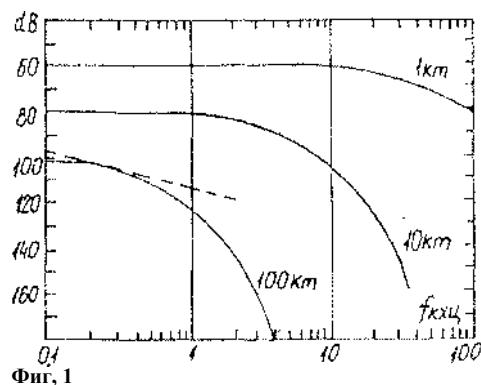
При излъчване интензивността на акустичната вълна, разпространяваща се във водна среда, постепенно намалява с отдалечаването от пункта на излъчване. Това отслабване се дължи на две различни причини: едната е свързана с разширяването на вълновия фронт при отдалечаване от източника, втората е резултат от поглъщането на акустичната енергия от средата и от разсейването ѝ от намиращите се в средата нееднородности.

Загубите от разширението на вълновия фронт зависят от величината на разстоянието между дадената точка от траекторията на звуковия лъч и източника на звука и не зависят от честотата и която се извършва излъчването. Загубите от затихването не зависят толкова от разстоянието от източника на звука, колкото от честотата. Честотната зависимост е доминиращият фактор, който определя ширината на лентата на акустичния Въздействието на посочените два вида загуби при разпространението на акустичната енергия, заедно със съотношението СИГНАЛ/ШУМ, определя дистанцията, в

пределите на която може да бъде осъществена надеждна акустична свръзка.

2. Теория

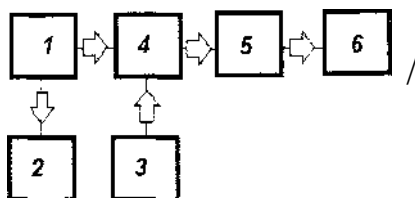
На фиг. 1 е дадена графиката на загубите при разпространението на звуковите вълни като функция от честотата за три различни разстояния.



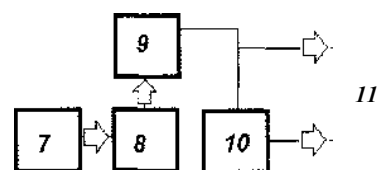
Както е видно от графиката на фиг. 1 за дистанции до 1 km и честоти под 60 ч- 70 kHz основно влияние оказват загубите от разширението на вълновия фронт, което е свързано с излъчваната акустична мощност. При определяне на чувствителността на изследваните антени се приема, че отслабването на интензивността е **обратнопропорционално** на квадрата на разстоянието и че поглъщането зависи единствено от честотата [1], [2].

Или ако с I_1 означим интензивността на хидроакустичната вълна в опорна точка, разположена на разстояние 1 м от мисления акустичен център на източника и с I_2 означим интензивността в някаква отдалечена точка, то загубата при **разпространение (ЗР)** между източника и отдалечената точка може да се опише с израза:

$$(1) \quad 3P \sim 10 \lg I_1 / I_2$$



ХИДРОАКУСТИЧЕН
КАНАЛ



Фиг.2 Блок -схема на системата за изследване

- Системата се състои от:

- **Високочестотен генератор(1)** -Генераторът осигурява излъчването на честоти в честотния диапазон от 40ч-70 kHz. Притежава независимо(акумулаторно, батерийно) захранване
- **Честотомер(2)** -Измерва излъчената честота
- **Нискочестотен генератор (3)** -Осигурява модулирането(! 00%) на излъчването като управлява електронния превключвател
- **Електронен превключвател (4)** -Заедно с нискочестотния превключвател формира поредица от повтарящи се с ниска честота високочестотни сигнали
- **Усилвател крайно стъпало (5)** -Осигурява необходимата електрическа изходна мощност за излъчващата хидроакустична антена
- **Излъчваща хидроакустична антена (6)** -Преобразува електрическата изходна мощност на усилвателя в механична такава, която се предава по хидроакустичния канал на приемната антена. Излъчващата антена е специално разработена и изработена на базата на пиезокерамичен цилиндър ПКЕЦ 20.

Изработената антена е с кръгова диаграма на излъчване в хоризонталната плоскост.

При сферичен закон на разпространение и радиусът на сферата l_1 се приеме за равен на l_1 то загубата при разпространение на разстояние r_2 се определя като:

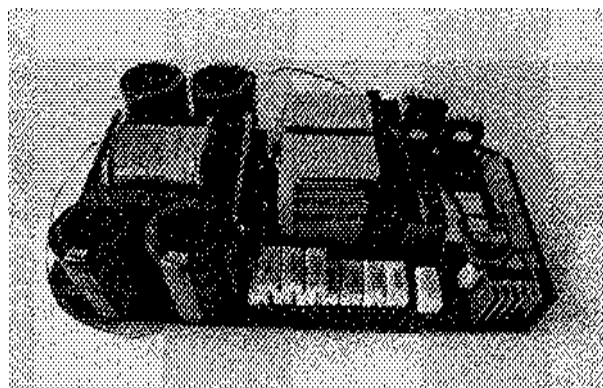
$$(2) \quad 3P = 10 \lg I_1 / I_2 = 10 \lg r_1 = 20 \lg r_2$$

Обект на изследване в настоящата работа пиезокерамичен цилиндър ПКЕЦ 20 с резонансна честота около 58kHz, хидроизолиран с трайно полиуретаново покритие.

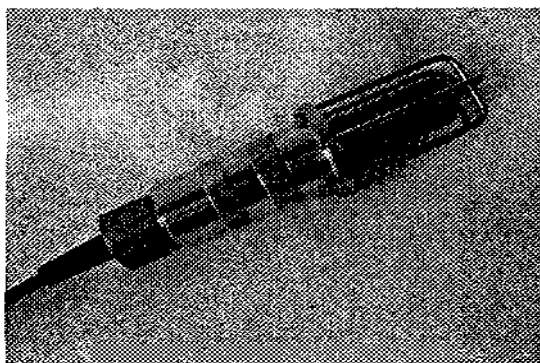
3.Опитна постановка и

апаратура

Блок -схемата на системата за изследване е показана на фиг.2



Фиг.3 Крайно стъпало



Фиг.4 Излъчваща хидроакустична антена



Фиг. 5

дълбочина 7га и се намира на отстояние 6 m една от друга. Излъчваната мощност се определя по формула

$$(3) P = (I/R).s.K,$$

където:

P е налягането в Pa;

R - разстоянието между двете антени в ш;

s - чувствителност на приемния хидрофон -

53 pV/Pa(по каталог);

K - коефициент на усилване на усилвателя.

4. Резултати

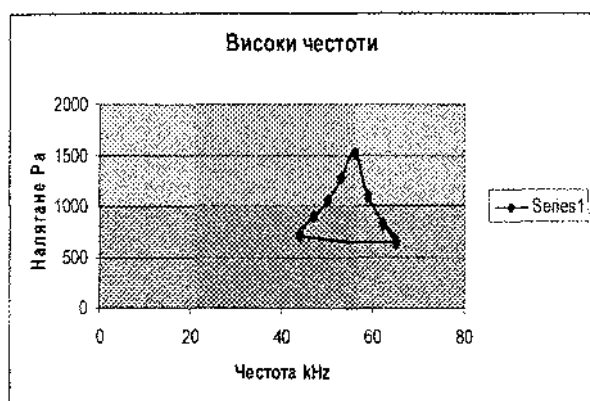
При определяне на честотната характеристика на излъчвателя, с цел максимална ефективност, се избират честоти на извършване на измерването в диапазона на резонансната (58kHz), а именно:

44 до 65kHz през 3kHz.

Резултатите от изпитване на високочестотния излъчвател са дадени в таблица 1, а зависимостта на излъчваната мощност от честотата на графика фигура 6.

Таблица 1

	U1[mV]	P1f[Pa/lm]	U2[mV]	P2[Pa/lm]	U3[mV]	P3[Pa/lm]	Pmf[Pa/lm]
44	720	864	700	840	710	852	852
47	910	1092	880	1056	900	1080	1076
50	1060	1272	1050	1260	1040	1248	1260
53	1280	1536	1290	1548	1270	1524	1536
56	1530	1836	1520	1824	1510	1812	1824
59	1100	1320	1100	1320	1080	1296	1312
62	830	996	810	972	820	984	984
65	640	768	640	768	630	756	764



Фиг. 6

5. Анализ и изводи

Изпитаните излъчватели са със стабилни **амплитудно-честотни** характеристики, като вари́зат до 2 kHz в зависимост от антенните им **системи** Ti използваните пиезокерамични цилиндри.

Амплитудно-честотните характеристики на тези антени са подходящи за реализация на сигнални, управляващи и комуникационни подводни системи в диапазона **50 ч- 60kHz**

На базата на получените от измерванията резултати е определен **3 dB** диапазон на амплитудно-честотната характеристика на системата **УСИЛВАТЕЛ-АНТЕНА**, който е минимум 48 до 61 kHz.

При провеждането на всички изпитвания не се забелязва изкривяване на изходния сигнал от излъчващата антена за тестваните честоти.

Електрическата консумация на крайното усилвателно стъпало практически остава постоянна в целия диапазон на системата за управление на изпитване. Това позволява честотния диапазон на системата за управление на подводни обекти да бъде избран достатъчно широк при **-3dB**разлика в амплитудите. Последното значително опростява схемното решение на излъчвателя като цяло.

Литература

1. **R. J. U r i c k**. Side Scattering of Sound in Shallow Water. JASA, 1960, vol. 32, p. 351.
2. **C. M. M c H i l l n e y and C. D. A n d e r s o n**. Measurements o! Back-scattering of Sound from the Ocean Bottom. IAS A, 1964, vol.36, p. 158.
3. **.RESON-PRODUCTS-B. V.,NL-#MPMEH** КАТАЛОГ.
- 4.**BRUELS&KJAER-2008-2014—ФИРМЕН КАТАЛОГ.**

COMPARISON OF PIEZOELECTRIC TRANSDUCERS FOR WIDEBAND PULSE-ECHO MEDICAL IMAGING

СРАВНЕНИЕ НА ПИЕЗОЕЛЕКТРИЧНИ ТРАНСДЮСЕРИ ЗА ПУЛСОВИ МЕДИЦИНСКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ШИРОКОЧЕСТОТНИ ГРАНИЦИ

O. P. Stanchev, A. S. Marinov, E. B. Bekov

Technical University / Department of electronics, Varna, Bulgaria, or.stanchev@gmail.com, a.marinov@tu-varna.bg, emo_bekov@hotmail.com

Abstract: This document presents a comparison between PVDF and PZT transducers for wideband pulse-echo medical ultrasound imaging. With both transducers real experiments are carried out. Comparisons between echo signals and spectral components are given. The conclusion notices for wide frequency band of PVDF transducers are derived.

Keywords: PVDF transducer, PZT transducer, Tissue Harmonic Imaging

1. Introduction

During the last 10 years a greatly development of piezoelectric polymer transducers becomes noticeable. This was provoked by together application with classical ultrasound methods and new methods – for example: native tissue harmonic imaging and contrast enhancement. New methods need wideband technical equipment, both when emitting and receiving reflected signals. This is connected with methods requirements – emission of relative low ultrasound frequency and receiving harmonic frequencies many times exceeding emitted frequency.

The important parameter of piezoelectric ultrasound transducer is the mechanical quality factor Q_m . We can simply calculate the mechanical quality factor by means of formula:

$$(1) Q_m = \frac{f}{\Delta f},$$

where f is the working frequency which corresponds to the resonance frequency f_r and Δf is the bandwidth of the spectrum.

There is another way to calculate the mechanical quality factor by means of formula:

$$(2) Q_m = \frac{2\pi f L}{R},$$

where L and R are the inductance and resistance of the electrical branch in the equivalent circuit of piezoelectric transducer.

The resonance frequency of piezoelectric ultrasound transducer is given by:

$$(3) f_r = \frac{c}{2t},$$

where c is the speed of sound in piezoelectric material and t is the thickness of material.

Our investigation presents that PVDF transducers could be more suitable for realization of above mentioned methods in comparison with PZT transducers.

The object of this paper is to carry out a comparison analysis of behavior and estimation of possibilities of PVDF and PZT transducers.

2. Investigation

For experiments hardware and software system of Optel company are used. Investigation is realized based on comparison of two similar medical ultrasound transducers (PVDF and PZT with fundamental frequency near 1 MHz) with similar dynamic and frequency characteristics on pulse echo mode. The transducers are made by Optel, Poland.

Experiments are made in bath with water. For reflector metal folio 1 mm is used. The real signals from PVDF (Figure 1) and PZT (Figure 2) transducers are shown.

On the first plot reflected echo signals are given. On the second plot spectral components are shown.

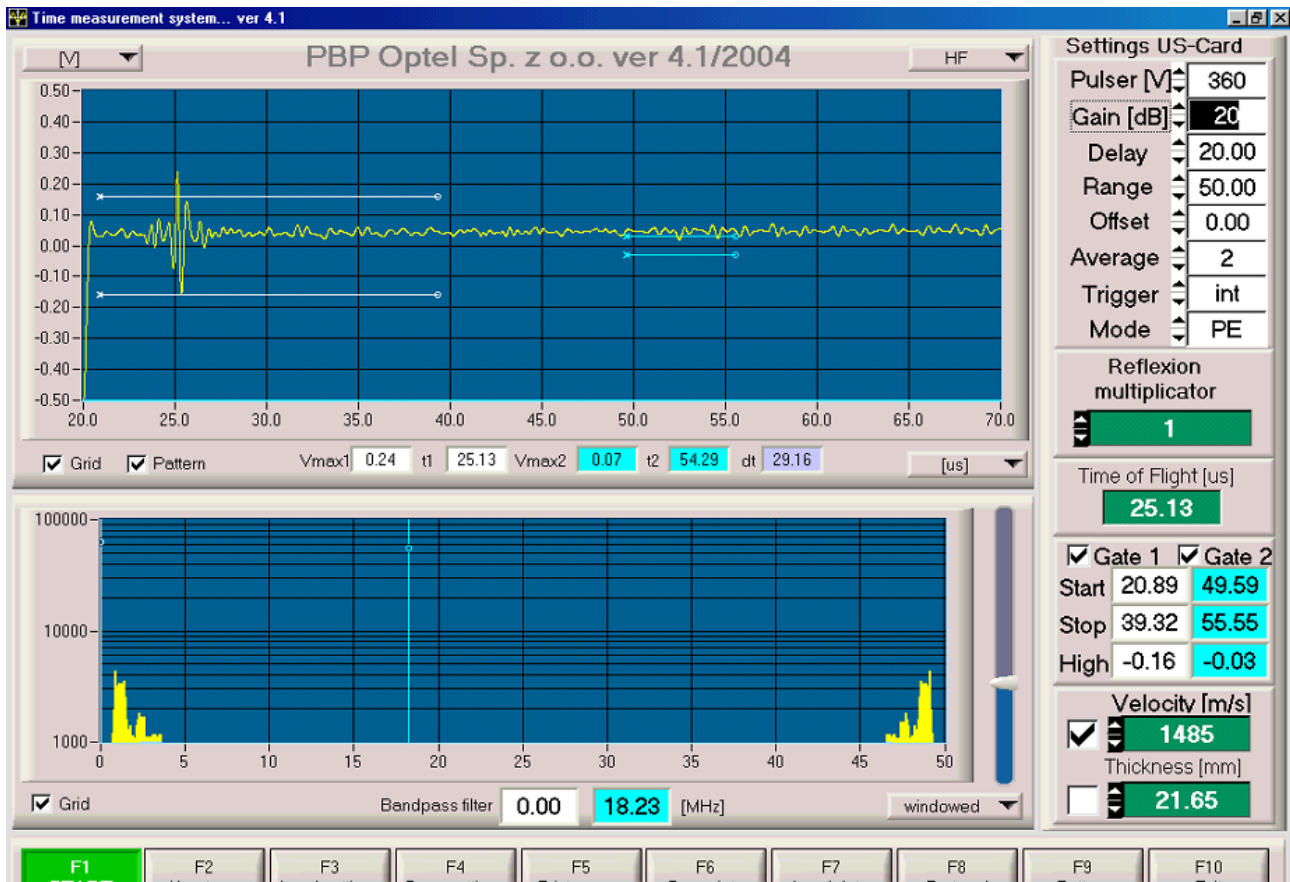


Figure 1. Signals of PVDF transducer

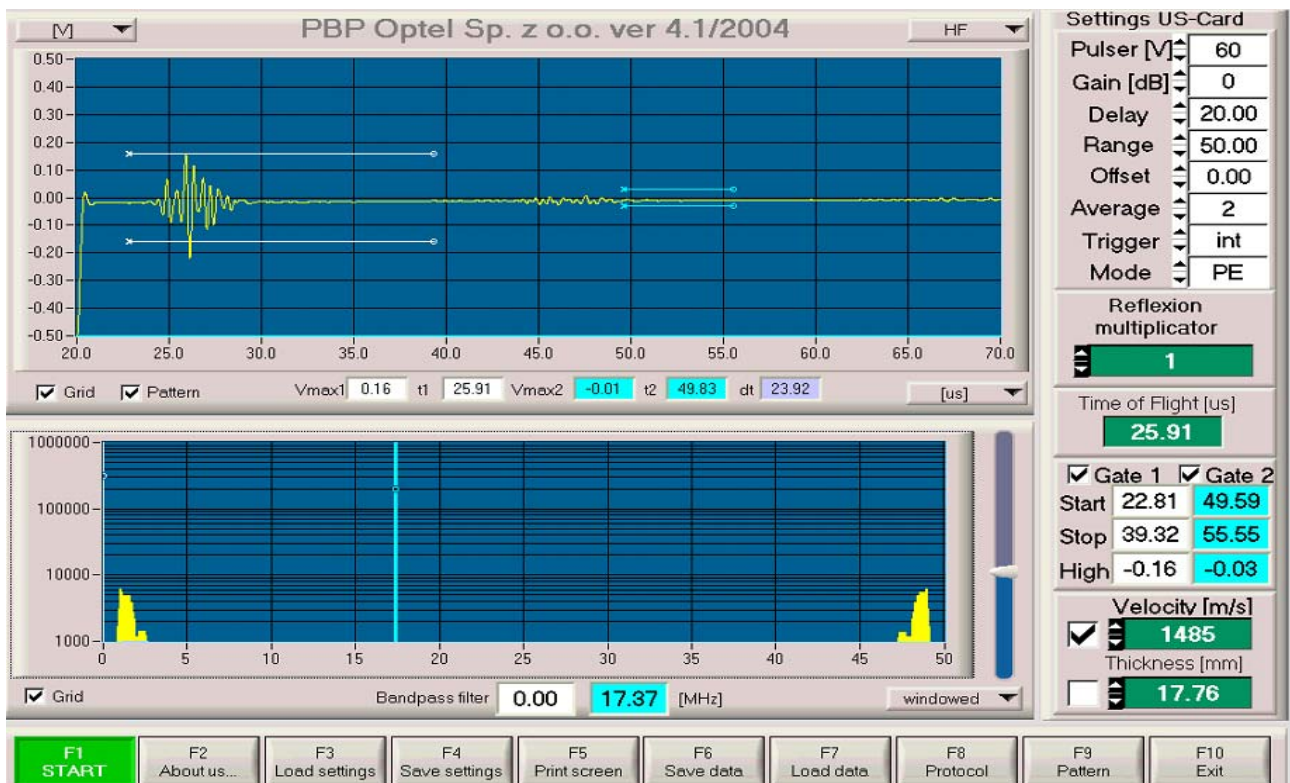


Figure 2. Signals of PZT transducer

3. Discussion

Comparisons between echo signals of both transducers are made. They are shown on Figure 3 (Figure 3 A – echo signals of PVDF; Figure 3 B – echo signals of PZT).

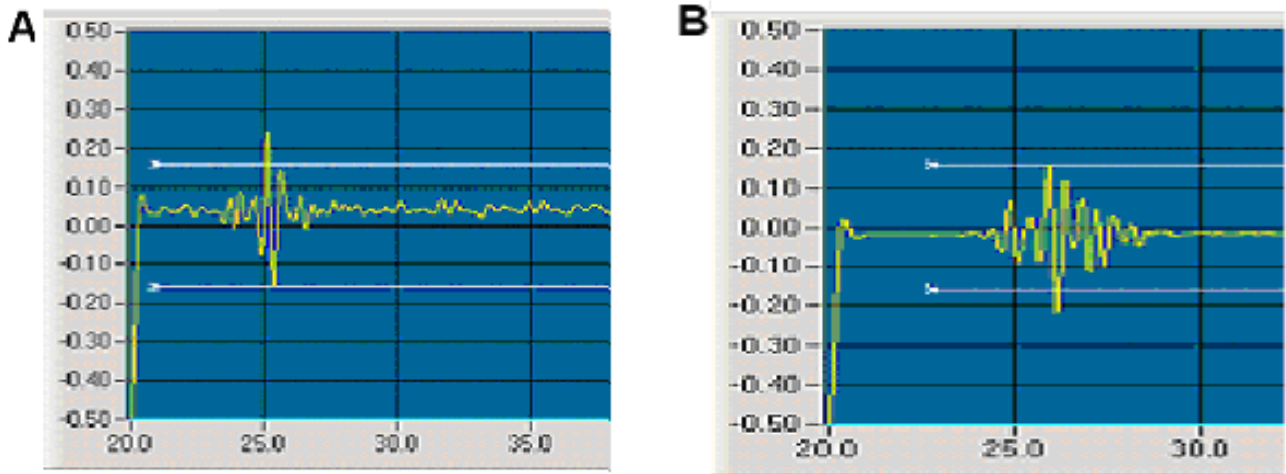


Figure 3. Results of PVDF transducer (A) and PZT transducer (B) in time domain

The middle levels of echo signals of PVDF transducer are significantly lower than the echo signals of PZT transducer.

It can be seen that echo signal of PZT transducer has higher resonance vs. PVDF transducer (this is caused by different mode of function on first – resonance mode, and wide band mode of second one).

Comparisons with spectral components of echo signals are made too. They are shown on Figure 4 (Figure 4 A – spectrogram of PVDF; Figure 4 B – spectrogram of PZT).

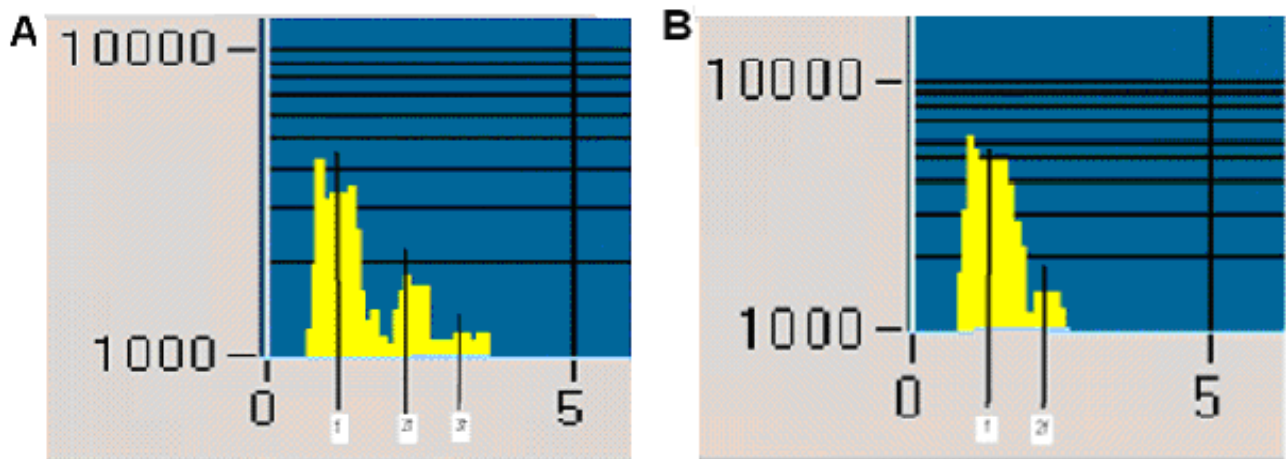


Figure 4. Results of PVDF transducer (A) and PZT transducer

(B) in frequency domain

On spectrogram of PZT it can be seen a few high frequency components (up to 2) presented, whereas in spectrogram of PVDF more high frequency components (up to 3) are shown.

The differences in amplitude of spectral components of both diagrams is not evident because they are normalized by maximal amplitude of each of spectrograms (volume of PVDF echo signals is 20 dB more than volume of PZT echo signals).

4. Conclusion

In conclusion we notice the following:

- Independently from the low level echo signals of PVDF by reason of wideband frequency mode, significantly exceeds PZT by frequency response;
- Based on implementation of experimental analysis and results obtained we consider that PVDF transducers are more suitable of PZT transducers for application in cases of native tissue harmonic imaging and contrast enhancement.

Wide frequency band of PVDF transducers in pulse echo mode ensures sufficiently high frequency components,

which allows realizing of higher resolution (transversal) and clear imaging.

This paper and experiments are made in Department of Electronics of Technical University in Varna.

5. Acknowledgment

The author expresses his gratitude to Project NP5/2014 “Modeling research and design of transducers and algorithms to compile one and two-dimensional ultrasound images”, Technical University- Varna.

References

- [1] Osipov, L., Ultrasound diagnostic devices, Moscow 1999
- [2] Szabo L., Diagnostic Ultrasound – Imaging inside out, Elsevier Press 2004
- [3] Konofagou, E., Ultrasonic Imaging, CRC Press, New York, 2004
- [4] Optel, Technical manual , Poland, 2008

SOME ASPECTS OF COMPUTER MODELLING AND DATA PROCESSING FOR PVDF BASED ULTRASOUND TRANSDUCER USING MATLAB

НЯКОИ АСПЕКТИ НА КОМПЮТЪРНОТО МОДЕЛИРАНЕ И ОБРАБОТКА НА ИНФОРМАЦИЯ ЧРЕЗ MATLAB ЗА PVDF БАЗИРАНИ УЛТРАЗВУКОВИ ТРАНСДЮСЕРИ

E. B. Bekov, A. S. Marinov, M. Hristov

Technical University / Department of electronics, Varna, Bulgaria, emo_bekov@hotmail.com, a.marinov@tu-varna.bg, martin.hristov@gmail.com

Abstract: The current paper presents some aspects of computer modeling and data processing for PVDF based ultrasound transducers using MATLAB. Specific accent is put on applications regarding medical ultrasound. A dedicated simulation/experiment approach is suggested where a workflow and algorithm of the modeling and simulation process are discussed. The presented algorithm unifies modeling of the different analog specific parts of an ultrasound system – pulser/receiver, AFE, transducer - within a single modeling/simulation environment - MATLAB. Furthermore the current work tries to include the experimental setup and results in the same environment so a unified data processing, comparison and verification can be achieved. As an example: within the paper two dedicated models, for the pulser and for the transducer, and their connection through output results are given; a structure for the experimental setup is presented.

Keywords: PVDF transducer, pulser/receiver, analog-front end, computer modeling and simulation, MATLAB

1. Introduction

Medical ultrasound or medical sonography is a technique that allows for non-destructive, non-invasive diagnostics of the soft-tissues of the human body – muscles, tendons and many organs. Ultrasound waves are generally produced and received by piezoelectric elements where

usually the same element is used for both transmitting – in reverse piezoelectric effect and receiving – in direct piezoelectric effect [1].

The most common piezoelectric element used to date is piezoceramics (PZT). Ultrasound based on PZT is quite mature technology where various research works exist

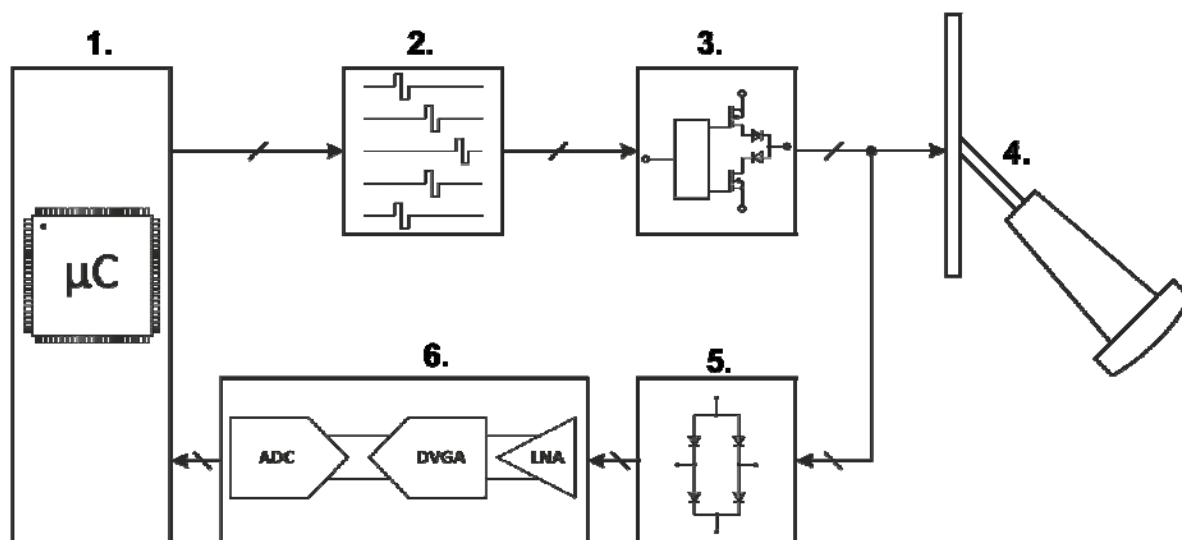


Figure 1. Block diagram of medical diagnostic ultrasound device

that elaborate on: modeling, hardware/software solutions, imaging techniques etc. New materials for piezoelectric are however brought to attention due to having advantages compared to PZT. Such a new material is the polyvinylidene fluoride (PVDF). PVDF is a polymer type piezoelectric that compared to PZT has: smaller thickness – PVDFs can be produced as thick as several micrometers – thus higher frequency bandwidth can be achieved; as polymers PVDFs are plastic and therefore can handle higher mechanical stress; are relatively easy to process that allows to produce compact multi-element arrays; the acoustic impedance of PVDF transducers is closer to that of soft tissue, which makes it very suitable for medical diagnostics [2]. This makes PVDF a suitable choice for the future development of ultrasound where high frequencies are sought, as for example in ultrasound microscopy. As new elements however the maturity of the PVDF technology is yet to be reached. This leaves research possibilities for PVDF based ultrasound systems open. In this aspect the current paper tries to suggest an approach - a tool for modeling, simulation and experimental analysis of an ultrasound system based on PVDF. The frames in which the approach is suggested is the complete ultrasound system presented at figure 1, where: (1) is the system back-end – FPGA or Microcontroller based; (2) is the beamformer; (3) is the pulser; (4) is the PVDF transducer; (5) is the receiver; (6) is the analog front end (AFE). Within this complete system the interest presented in the current paper falls on the analog parts of the system, namely the pulser, the transducer and the AFE.

2. Suggested simulation workflow/algorithm

The structure of the suggested simulation/experiment approach is presented at figure 2. The approach can be divided into two general functional blocks, namely: the software environment, where the preferred choice for the current development is MATLAB Simulink; the hardware platform – presented in more details in section four of the current paper.

As described in the previous section, interest for the current work is the analog part of the ultrasound system, thus as a first step in the suggested approach is the development of dedicated models and processing of the results from their simulation. The models are developed in the following order (figure 2): (1) a model for the pulser is developed, where the tests are made based on the capacitance of the chosen PVDF piezoelectric; (2) results from the simulation of the pulser are fed to the model of the transducer and the studied environment as an input signal; (3) in this way a connection is created between the model of the pulser and the model of the transducer and the studied environment; (4) results from the model of the transducer and the environment in terms of received echo signal are fed to the model of the AFE; (5) final results from the simulation of the AFE are obtained. Results from the three models are analyzed and on their basis: (1) a hardware selection of the pulser/receiver specific to the PVDF material chosen is made; (2) adjustment of the AFE is made in terms of gain control, filtering and analog digital processing; (3) transducer design specific in terms of materials thickness, backing properties, geometry can be

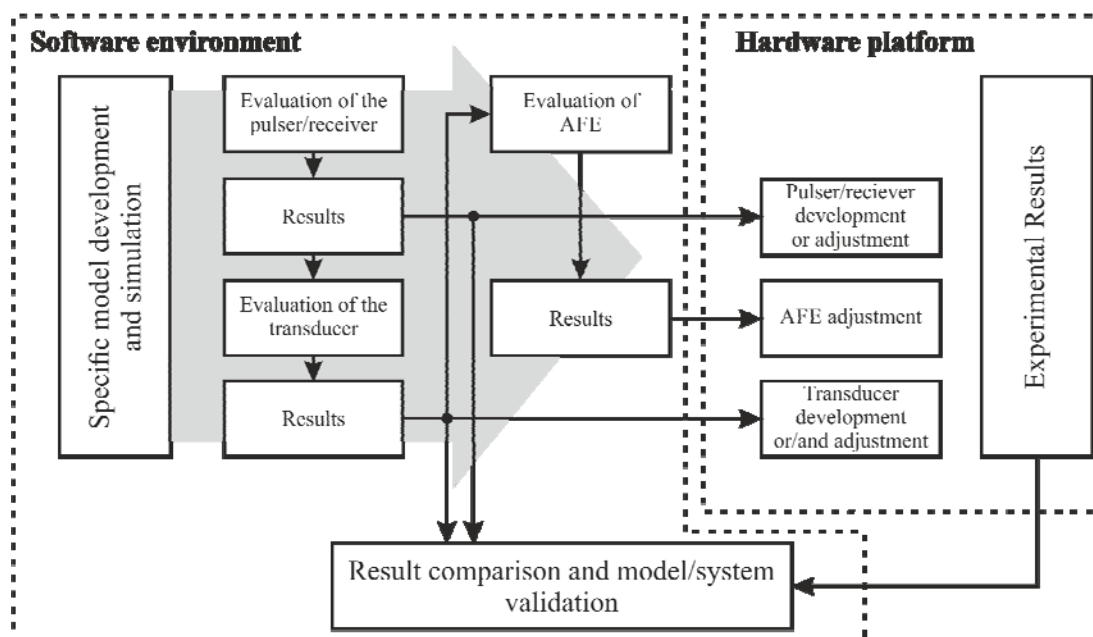


Figure 2. Strucutre of the suggested simulation/experiment approach

made. Afterwards results obtained from the hardware experiments can be digitally introduced back to the software environment where comparison with the simulation results can be made. Based on the comparison model and hardware verification and optimization could be achieved.

For the suggested workflow/algorithm several notes have to be made: (1) although simulation of the pulser, the

transducer and the AFE can be made within one model they are kept as separate in order to have different simulation procedures, step times, solvers, error margins, ect. – this allows for more flexible and accuracy/time specific simulation; (2) the pulser and the transducer and environment model are simulated based on electrical circuitry using nodal analysis, while the AFE is simulated based on its direct

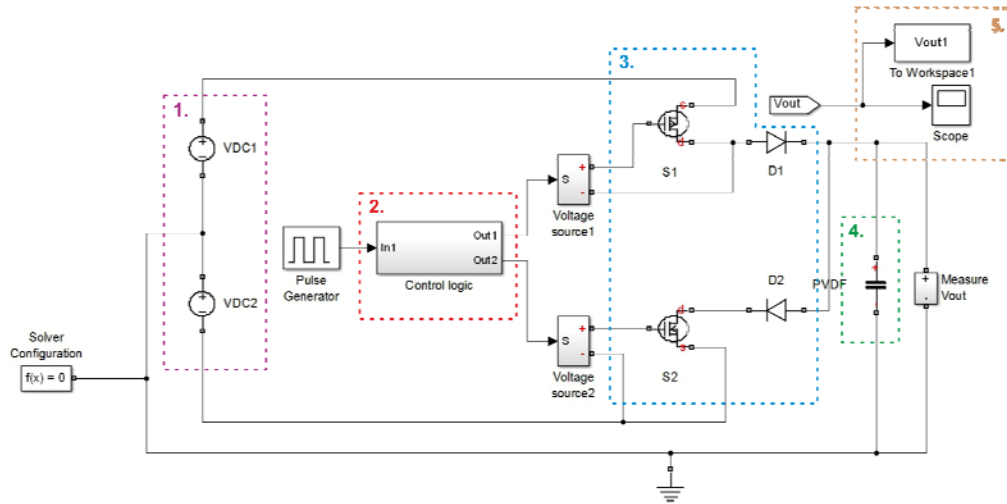


Figure 3. Sample model of a pulser circuit

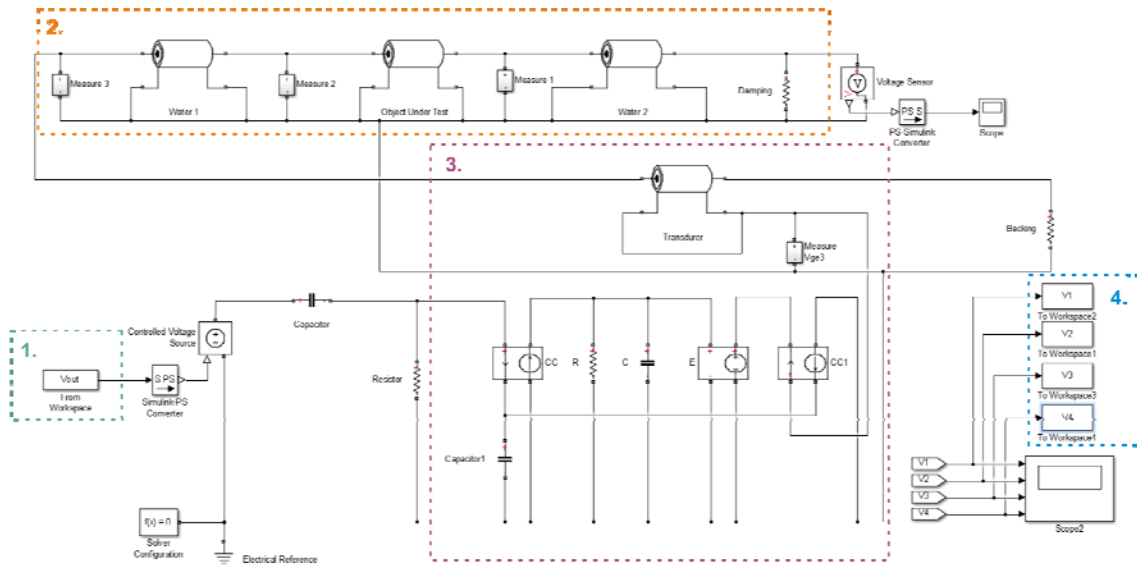


Figure 4. Sample model of a transducer circuit

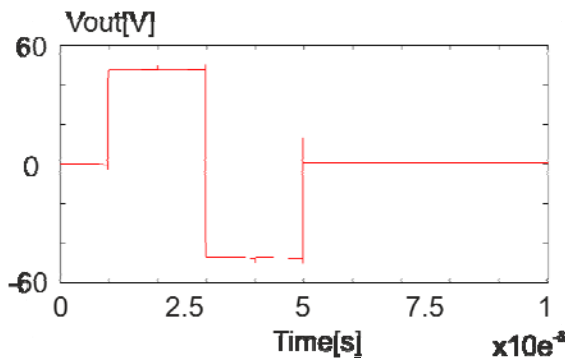


Figure 5. Transducer voltage at the output of the pulser

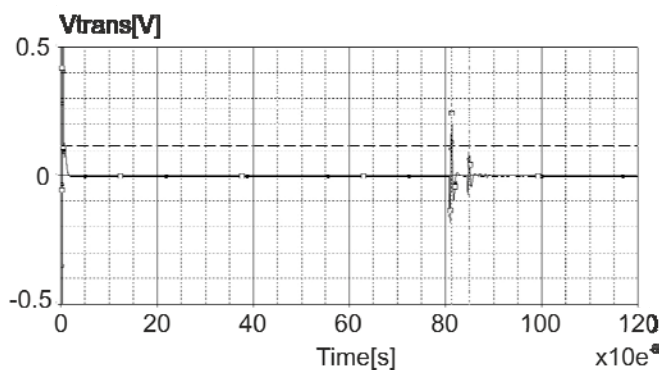


Figure 6. Echo signal recieved through the transducer model

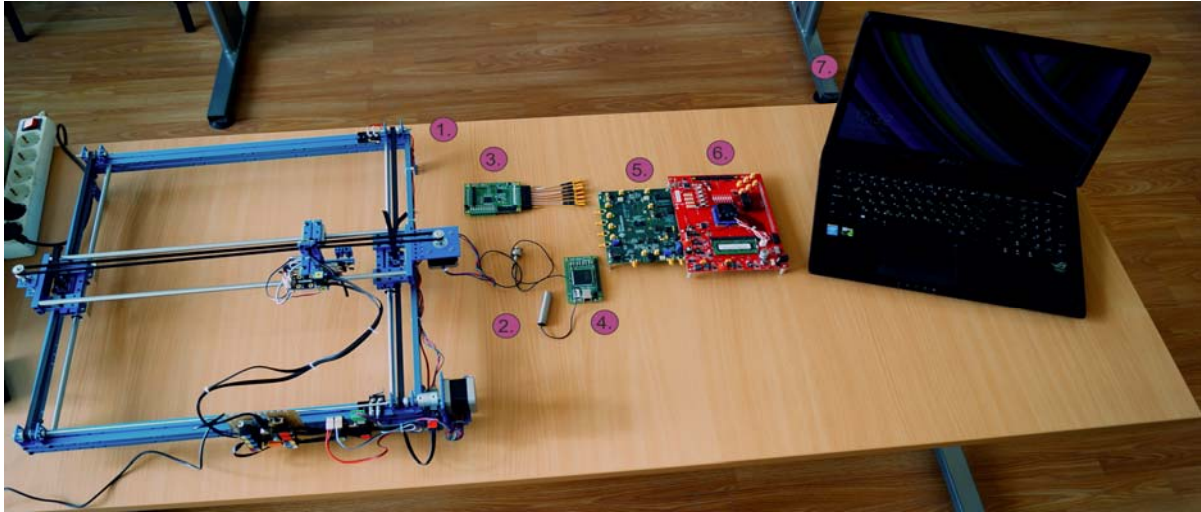


Figure 7. Suggested experimental setup

mathematical representations.

The advantages of the suggested algorithm can be described as: (1) models specific to the given PVDF transducer can be developed; accuracy and speed for the models can be chosen based on specific requirements; fast validation and optimization can be made within the same software environment in which the models are developed.

3. Sample models and model interaction

Some sample models from the development of the workflow/approach are presented at figure 3 and figure 4, while results from those models are presented at figures 5 and 6. The presented models and results include:

- figure 3 shows the model of the pulser while figure 5 depicts the results at output voltage on the PVDF transducer. A standard totempole pulser based on MOSFETs is used;
- figure 4 is a model of the transducer, the object under test and the environment in which the object is placed. The suggestion is based on TLM and more specifically Leach model. For this the results from figure 5 are fed as in input, where as a results the echo in figure 6 is obtained.

This example and model interaction are developed based on electric circuit representations using nodal analysis. Both model allow in detail adjustment of all parameters and analysis of the reaction between the pulser and transducer. Those two specific models for example were used to test delay/response time of several pulsers in order to determine optimal performance for a high frequency PVDF based transducer.

4. Experimental setup and interaction between simulation and experiment

In addition to the sample models an example for the experimental setup is presented – this is done at figure 7. The

current experimental setup used by the authors includes: (1) a X/Y system for precise programmable transducer positioning compared to the object under test within the experimented environment – most of the carried experiments related to the suggested workflow/approach are done as a submerged under water test; (2) a single element PVDF transducer; (3) pulser/receiver module; (4) FPGA based beamformer; (5) AFE; (6) Data capture; (7) A PC hosting the simulation environment and controlling and extracting data from blocks (1), (3), (4), (5) and (6) through serial connection. The XY positioning system is a retrofitted XY plotter. The transducer is specially design and made by the team. Blocks (3), (4), (5) and (6) are development boards by the company Texas Instruments [3,4,5].

Conclusion

The current paper presented a dedicated workflow/approach for modeling, simulating and experimenting of PVDF based ultrasound systems. The approach has several distinct steps of modeling of the different parts and flowing results from one simulation to another and then finally used to design and adjust the hardware/software of the real system.

Sample models and results as well as an experimental platform are presented to demonstrate the suggested approach.

Acknowledgment

The author expresses his gratitude to Project NP5/2014 “Modeling research and design of transducers and algorithms to compile one and two-dimensional ultrasound images”, Technical University- Varna.

References

- [1]. Shung K. K., Diagnostic Ultrasound: Imaging and Blood Flow Measurements. New York, Taylor & Francis Group

[2] Harris, G.R. ; R.C. Preston, A. S. DeReggi, The impact of piezoelectric PVDF on medical ultrasound exposure measurements, standards, and regulations, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Volume:47 , Issue: 6

[3] Ultrasound Tx Evaluation Kit (TX_SDK_V2) User's Guide, Texas Instruments, January 2014, Document Rev. 3.0

[4] High Speed Data Converter Pro GUI User's Guide, Texas Instruments, October 2014

[5] AFE5809EVM Evaluation Module User's Guide, Texas Instruments, November 2012



КОНТРОЛ НА ЗАВАРЕНИ СЪЕДИНЕНИЯ ЧРЕЗ УЛТРАЗВУКОВИЯ МЕТОД НА ФАЗОВАТА РЕШЕТКА

CONTROL WELDED JOINTS BY ULTRASONIC PHASED ARRAY METHOD

П. Чукачев, *Й. Мирчев

p.chukachev@multitest.bg, nntdd@imbm.bas.bg

Мултитест ООД, гр. Варна, 9009, България

* Институт по механика - БАН, София, България

Резюме: Ултразвуковата технология фазова решетка чрез прилагане на енкодерни системи за линейно сканиране се доказва като много подходяща техника за контрол на заварени съединения. Гъвкавостта на метода фазова решетка, както и подобрения софтуер позволяват схемите на контрол да бъдат съобразени с всеки профил на заварено съединение, както и с вероятните несъвършенства. Освен характерните предимства на ултразвуковия метод на фазовата решетка, (висока производителност, точност, намалени разходи, екологична технология). В статията са представени модели на контрол на челни заварени съединения.

Ключови думи: Фазова решетка, линейно сканиране, секторно сканиране, сканираща система, заварено съединение, контрол.

Summary: Ultrasonic phased array technology by applying the encoder systems for linear scanning proved to be a very suitable technique for control of welded joints. The flexibility of the method phased array and improvements software allow control schemes to be tailored to each profil of the welded joint, as wells as probable imperfections. Besides the typical advantages of ultrasonic phased array method- high performance, accuracy, reduced costs, environmental technology, the article presents a models of control butt welded joints- plate and tube.

1.УВОД

Навлизането на ултразвуковата технология фазова решетка в индустриалния сектор оказва мощен тласък върху вероятността за откриване на несъвършенства. Напредналите компютърни технологии при събиране, обработка и представяне на информацията от контрола се базират на работа на цветно кодирани мултиплексиращи системи работещи на принципа на контролираното компютърно закъснение на импулса при излъчването и приемането му, позволяващо управление на ултразвуковия сноп. [1,2]

Ултразвуковата технология с фазово подредени преобразуватели има следните основни характеристики:

- комбиниране работата на голям брой идентични единични преобразуватели,

- контрол на дълбочината на фокусиране,
- контрол на ъгъл на прозвучаване
- контрол на фокусното петно,
- програмиране на виртуалната апертура на осезателя,
- представяне на УТ информацията в общ изглед, наречен развивки от тип S. [3-5]

В практиката се използват следните 3 основни метода за контрол по метода фазова решетка.

- Електронно сканиране (линейно, Е- сканиране) (фиг. 1).

- Сканирането се осъществява при фиксиран ъгъл и по дължината на осезателя с фазова решетка от група активни елементи, наречена действаща апертура на осезателя [4] (фиг. 1).

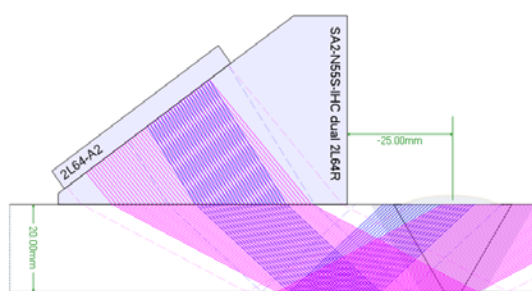
-Секторно сканиране (ъглово, S-сканиране): ултразвуковият сноп има определен обхват от

ъгли, използвайки едни и същи елементи. (фиг. 2)

- Динамично фокусиране в дълбочина (DDF).
- Използват се различни дълбочини на фокусиране.

При механичното сканиране информацията от контрола се представя в различни изображения [3]

- A scan- метода фазова решетка използва много развивки тип A в пакет;
- B scan- поглед на завареното съединение отстрани;
- D scan- поглед на завареното съединение открая;
- C scan- поглед на завареното съединение отгоре.



Фиг. 1. Линейно (електронно) сканиране (две активни групи).

- Динамично фокусиране в дълбочина (DDF)– използват се различни дълбочини на фокусиране.

При механичното сканиране информацията от контрола се представя в различни изображения: [3]

- A scan- метода фазова решетка използва много развивки тип A в пакет;
- B scan- поглед на завареното съединение отстрани;
- D scan- поглед на завареното съединение открая;
- C scan- поглед на завареното съединение отгоре.

2. ЦЕЛ НА РАБОТАТА

В настоящата работа са представени различни приложения на метода на „фазовата решетка“ при контрол на заварени съединения, както и техниките на оценка и интерпретация на резултатите от контрола. Приложен е механизирани контактен ултразвуков метод в ехо импулсен режим.

Методиката се прилага при ултразвуков контрол на заварени съединения. Особено внимание е отделено на следните фактори:

- мониторинг на работните показатели на ултразвуков дефектоскоп
- конфигуриране на параметрите на дисплея и на получаването на данни

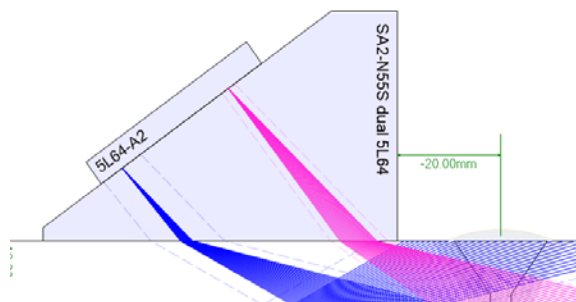
- калибриране на времева развивка и чувствителност
- описание на критериите за регистрация
- идентификация и схема на компонентите, които ще се изпитват
- изисквано състояние на повърхността
- данни за използваните технически средства и покритите обеми

Данните за сканиране се намират в съответните спецификации на обекта. Сканиране за напречни дефекти системи се реализират като се използват ръчни, напълно автоматизирани или механизирани системи. Настоящата процедура е приложима за ултразвуков контрол на заварени компоненти за нови и заварени съединения в експлоатация.

3. РЕЗУЛТАТИ ОТ КОНТРОЛА

3.1 Ултразвуков контрол на заварено съединение на тръбиа.

3.1.1. Данни за завареното съединение: диаметър 273 mm, дебелина на стената 14.5 mm, изработен от стомана. Скоростта на напречните вълни в стоманата е 3240 m/s.



• Фиг. 2. Секторно (азимутно) сканиране две активни групи.

3.1.2. Използвано оборудване

- Ултразвуков дефектоскоп, работещ по метода на фазова решетка Omniscan MX2 с модул OMNI 32:128 PR с осезатели: ARRAY, 5-L-64 (5MHz, 64 елемента), призми за осезатели: SA2-N55S-IHC, сканираща система с енкодер, помпа за доставка на контактна течност-вода.

3.1.3. Опитна постановка (фиг. 3)



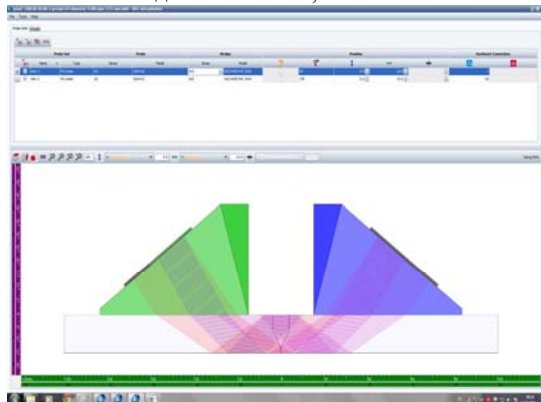
Фиг. 3. Сканираща система по метода фазова решетка, разработено във фирма Мултитест ООД

3.1.4. Схема на контрол

Схемата на контрол с 2 осезатели 5-L-64, разположени срещуположно е представена на фиг. 4.

Елементите на всеки осезател са конфигурирани в режим линейно сканиране. Всеки един осезател е конфигуриран така, че елементите му са разпределени в 2 групи:

- Осезател 1 (позиция 90°):
 - ✓ Група 1: елементи-16, Първи елемент - 25, Последен елемент-64, сноп- 50°
 - ✓ Група 2: елементи-16, Първи елемент - 1, Последен елемент-64, сноп- 60°
- Осезател 2 (позиция 270°):
 - ✓ Група 1: елементи-16, Първи елемент - 25, Последен елемент-64, сноп- 50°
 - ✓ Група 2: елементи-16, Първи елемент - 1, Последен елемент-64, сноп- 60°



Фиг.4 Схема на контрола

3.2 Ултразвуков контрол по метода фазова решетка на заварено съединение -планка.

3.2.1.Данни за завареното съединение:

- Дължина: 900 mm,
- Дебелина на стената: 15 mm
- Материал: стомана, Скорост на напречни вълни в стомана: 3240 m/s.

3.2.2.Използвано оборудване

- Ултразвуков дефектоскоп работещ по метода на фазова решетка Omniscan MX2 с модул OMNI 32:128 PR.

- Осезатели: ARRAY, 5-L-64 (5MHz, 64 елемента).
- Призми за осезатели: SA2-N55S-IHC

- Сканираща система с енкодер

- Помпа за доставка на контактна течност - вода.

3.2.3. Опитна постановка (фиг. 5)

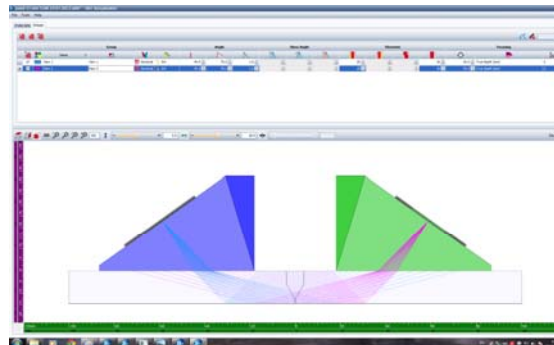


Фиг. 5. Сканираща система по метода фазова решетка на челно заварено съединение - планка, произведена в Мултитест ООД

3.2.4 Схема на контрол (фиг.6)

Разработена е схема на контрол с 2 осезателя 5-L-64, разположени срещуположно. Елементите на всеки осезател са конфигурирани в режим секторно сканиране:

- Осезател 1 (позиция 90°):
 - Група 1: елементи-30, Първи елемент - 20, Последен елемент-49, сноп- 45-75°
- Осезател 2(позиция 270°):
 - Група 1: елементи-30, Първи елемент - 20, Последен елемент-49, сноп- 45-75°
 - Стъпка на ъгъла:1°

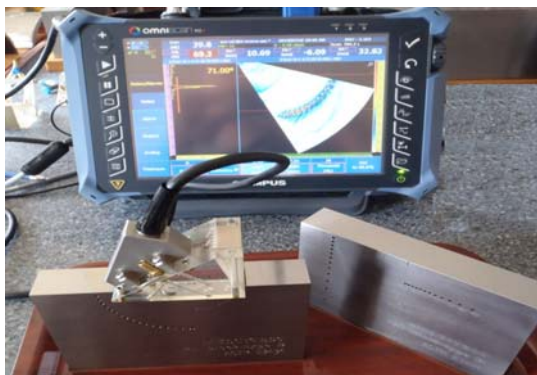


Фиг.6 Схема на контрола

4. СРАВНИТЕЛНИ ОБРАЗЦИ

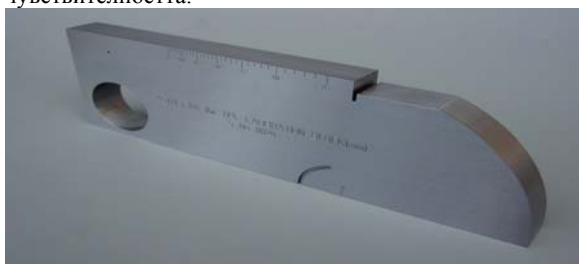
Важен елемент от системите за фазова решетка са сравнителните образци. Основно се използват както за настройка на основни параметри (скорост, закъснение в призмата, чувствителност, DAC, TCG, разделителна способност), така и за проверка дългосрочната стабилност на показанията във времето на ултразвуковия дефектоскоп.

- Сравнителен образец съгласно ASTM E 2491 (фиг. 7) позволява оценка на ъгловата и линейна разделителна способност, стабилността на показанията във времето, възможностите за фокусиране и насочване на снопа (фиг. 7). [7-8]



Фиг. 7 Сравнителен образец, съгласно ASTM E 2491

- PW калибровъчния блок № 1 фиг. 8 се използва за настройка на закъснение в призмата, скоростта на ултразвуковата вълна в стоманата, проверка на ъгъла, настройка на чувствителността.

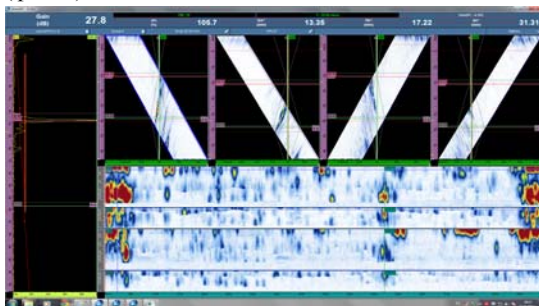


Фиг. 8 PW Калибровъчен блок № 1.
- ASME Section V калибровъчен блок с канали се използва за настройване на чувствителността по метод TCG.

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ ОТ КОНТРОЛА

5.1. Резултати от контрол на тръба

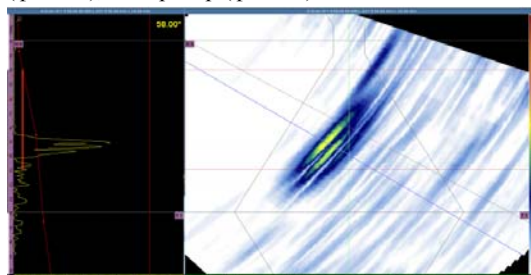
Представени са получените зависимости от контрола на заварени съединения в тръбите (фиг. 9).



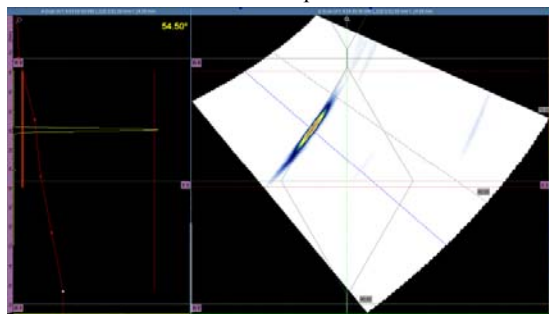
Фиг. 9. Визуализация на контрола на заварени съединения след събиране на данните.

5.1.1. Чрез използване на софтуер за анализ на данните се регистрират следните

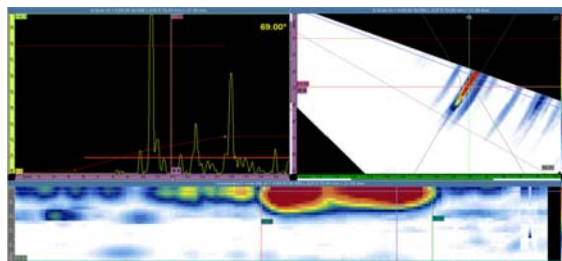
несъвършенства: - пори (фиг. 10), - несплавяване (фиг. 11), - непровар (фиг. 12).



Фиг. 10. Пори.



Фиг. 11. Несплавяване.

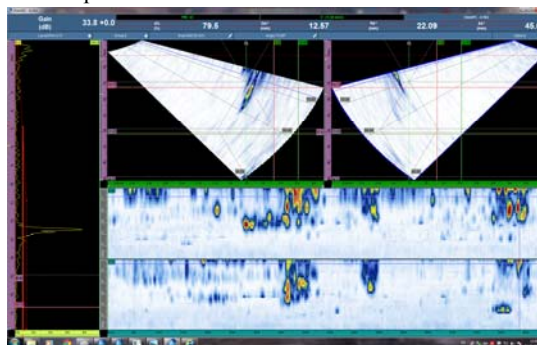


Фиг. 12. Непровар.

Видът на дефектите е потвърден чрез радиационен метод.

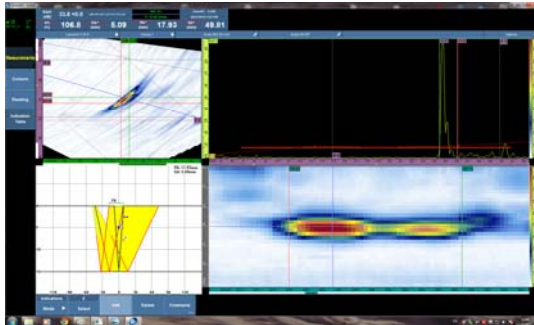
5.2. Резултати от контрола на планка

На фиг. 13 е представен е цялостен изглед на контрола на планка.

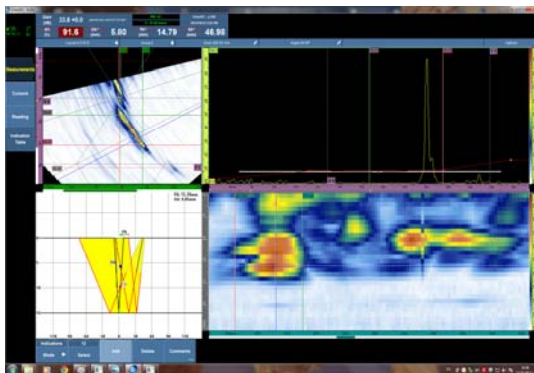


Фиг. 13. Визуализация на контрола след събиране на данните.

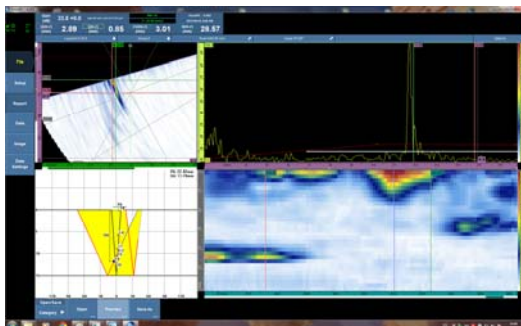
5.2.2. Чрез използване на софтуер за анализ на данните се регистрират следните несъвършенства: - пори (фиг. 14), - несплавяване (фиг. 15), - непровар (фиг. 16).



Фиг.14. Пори



Фиг. 15. Несплавяване



Фиг.16. Непровар

6.ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главните предимства на технологията с фазово подредени преобразуватели могат да се обобщят така както е показано по-долу:

- Инспекциите с фазово подредени преобразуватели при линейно сканиране сравнено с конвенционалното сканиране скъсява времето на контрола /около 50%/ и разходите за оператор.

- Системата с фазово подреждане може да контролира много различни компоненти с различни методи на контрол, използвайки файлове за електронна настройка.

- Системите от фазово подредени преобразуватели могат да бъдат програмирани да контролират геометрично сложни компоненти с относителна лекота. Фазово подредените преобразуватели могат също да бъдат програмирани в специални режими, например тандем, изпитване под различни ъгли и зонава дискриминация.

- Огромният размер на системите на подреждане на преобразувателите ги прави подходящи за определени приложения, например турбини, където пространството е ограничено.

- Чрез неговият преместване на осезателя на една система за контрол е по-надеждна. Подмяната на механичните части с електронни намалява износването и счупването, както и увеличава съществено надеждността на системата.

- Увеличава се откриваемостта на различно ориентирани дефекти. Фокусираният сноп увеличава отношението сигнал-шум. Множеството развивки тип А, групирани в специфична ъглова разрешаваща способност, допринася за повишаване на вероятността за откриване на нецялостности.

- Надеждност при откриване и оразмеряване на несъвършенствата: чрез цветно кодиране на А-развивката подпомага идентифициране на несъвършенствата, оразмеряването им, при оценка на допустимостта им на базата на амплитудната им характеристика.

- Данните от контрола могат да бъдат съхранявани във файлови формати на хардиск, принтирани като протокол и представяни като 2-D изображение за нуждите на оператора, клиента и одитиращата организация. [12]

1. Ciorau, P.: "A Contribution to Phased Array Ultrasonic Inspection of Welds Part 1: Data Plotting for S- and B-Scan Displays", ndt.net vol. 12, no.6 (June 2007), *CINDE*, vol. 28, no. 5 (Sep/Oct 2007), pp. 7-10

2. Cziraki D., Ph. Cyr: Ultrasonic Phased Array Inspection Technique Development Tools, 2006

3. Davis, J.M. and Moles, M.C.D: "Resolving capabilities of phased array sectorial scans (Sscans) on diffracted tip signals", *Insight*, Vol 48, No 4, pp 3,6 & 7, April 2007

4. Dube N.: Advances in Phased Array Ultrasonic Technology Applications, Olympus NDT, MA, USA, 2007

5. Feldstein J.:American Society for Mechanical Engineers. ASME Section V Article 4: Boiler and Pressure Vessel Code. ASME 2010, 2011 rev

6. Ginzel E., D. Jonson: Phased-Array Resolution Assessment Techniques, July 2008

7. Jacques, F., F. Moreau, and E. Ginzel. "Ultrasonic backscatter sizing using phased array-

developments in tip diffraction flaw sizing.” *Insight*, vol. 45, no. 11 (Nov.2003): pp. 724–728.

8. Kass D., M. Moles, T.Nelligan: Phased Array Testing. Basic Theory for Industrial Applications, November 2010

9. Landrum J., M.Dennis: Manual Phased Array UT Techniques for Piping and Dissimilar Metal Pipe Welds, December 2004

10. MacDonald D., J. Landrum, M.Dennis, G.Selby: Application of Phased Array UT Technology to Pipe Examinations, 2nd EPRI Phased Array Inspection Seminar, Montreal, Canada, August 2001

11. Moles M., Gaetan Fortier; Phased Arrays for Pipeline Girth Weld Inspections, IV Conferencia Panamericana de END Buenos Aires, October 2007

12. Moles M., S. Labbe: Special Phased Array Applications for Pipeline Girth Weld Inspections, 2006

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2014”	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

LOW-COMPLEXITY IMPLEMENTATION OF AUTOMATED HEIGHT ESTIMATION FROM SPEECH

МЕТОД С НИСКА СЛОЖНОСТ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ РЪСТА НА ДИКТОР

Pavel Ts. Paunov, Todor D. Ganchev

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

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

Abstract: Aiming at the integration of automated height estimation in speech-based mobile applications, we compare the performance of four low-complexity implementations in terms of calculation time and mean squared error (MSE). These implementations are based on General Regression Neural Network (GRNN), feed-forward Multi-layer Perceptron Neural Network (MLP NN)-based regression, and Support Vector Regression (SVR) with Radial Basis Function (RBF) kernel and with polynomial kernel. The experimental evaluation was carried out in a common experimental setup based on the TIMIT database. We report that the MLP-based implementation provides the best trade-off between computational demands and height estimation accuracy.

Key words: automated height estimation from speech, General Regression Neural Network, Support Vector Regression, multi-layer perceptron-based regression

1. INTRODUCTION

Many applications, such as area access authorization, anti-terror surveillance, forensic applications etc, require reliable and unobtrusive way to assess human biometric features. In these applications, among the most widely used biometric processes are fingerprint recognition, finger and hand geometry recognition, vascular and vein pattern recognition, face recognition, iris and retina recognition, DNA analysis, and recognition of various voice-related biometric characteristics, such as the speaker voiceprint. Other biometric traits, referred to as soft biometric characteristics, such as the skin color, eye color, body build, weight, and height, accent etc, with weaker discriminative capacity does not allow the development of self-dependent biometric solutions, however they were reported useful as additional features for improving the robustness and accuracy of other biometric processes [1].

Automated height estimation from speech is a supervised learning task that aims at predicting the height of unknown speakers. It exploits the well-studied correlation between the vocal tract length and the height of the person [2]. The standpoint that human height can be estimated from speech is supported by previous related research, which reported that under certain conditions, the soft biometric parameters, such height, body size etc can be estimated automatically from speech, even for unknown speakers [3-11].

The automated height estimation from speech requires the creation of regression-based height-estimation models, which are able to generalize the person-specific voice traits, represented by a set of labeled fixed-size speech feature vectors. These feature vectors need to be indicative for the vocal tract length of humans. In that case, given a spoken utterance, we can compute these speech features and estimate the height of unknown speakers based on the pre-built regression models. Aiming to select speech feature subsets with good predictive power, significant research efforts were focused on evaluation of the relevance of various speech features and their correlation with human height [7-10].

In the present work we built on [8]. In particular, relying on a well-studied subset of speech features, referred to as Top-50 that was selected among 6552 speech parameters [8], here we focus on the evaluation of four automated height estimation implementations with respect to their appropriateness for integration in mobile applications. These implementations, based on Generalized Regression Neural Network (GRNN) [12], feed-forward Multi-layer Perceptron Neural Network (MLP NN)-based regression [13], and Support Vector Regression (SVR) with Radial Basis Function (RBF) kernel and with polynomial kernel [14, 15], were evaluated in terms of computational complexity and height estimation accuracy. We followed experimental setup based on the standard split of the TIMIT database [16], which allows for a direct comparison of our experimental results with the results reported in previous related work.

In Section 2 we present the overall concept of the automated height estimation approach used in the current study. In Section 3 we present the experimental setup and in Section 4, the empirical evaluation results obtained for the four regression methods of interest. Finally, Section 5 concludes our work.

2. AUTOMATED HEIGHT ESTIMATION

The overall block diagram of the height estimation system is illustrated in Figure 1. The upper part of the figure summarizes the off-line training of the height estimation models. During the system operation, these models are used to predict the height of unknown speakers following the signal processing steps shown in the lower part of the figure. Specifically, the training of the models involves:

- a training dataset with known (ground truth) height labels for all speech utterances,
- a speech parameterization stage that computes a large set of speech parameters,

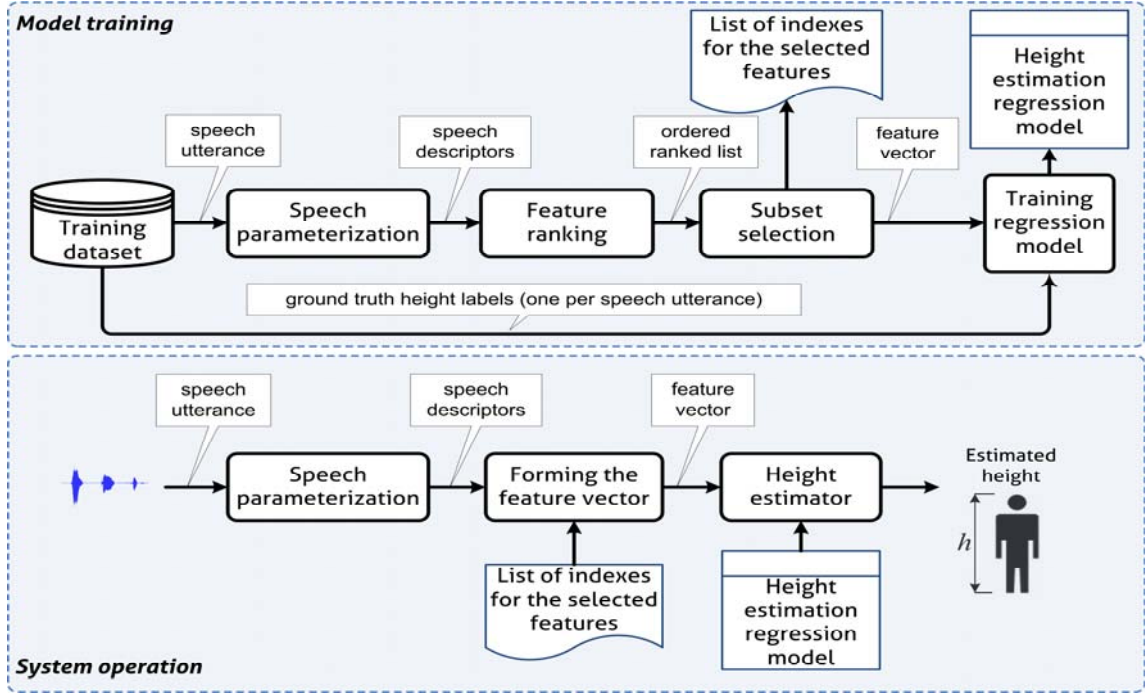


Figure 1. Overall block diagram of the processing steps in the automated height estimated from speech

- feature ranking and feature selection stages that evaluate the relevance of these speech parameters and select subsets that form the feature vector, and
- a regression model training stage that utilizes the feature vector devised at the output of the feature selection stage and the corresponding ground truth labels, in order to build appropriate height estimation models.

The outcome of the training stage is the list of indexes of the selected speech features and the trained height-estimation models. In the operational phase, these are utilized in the estimation of the height of a speaker from a given speech utterance. Specifically, as shown in Figure 1, initially, the unlabeled input utterance is parameterized, and then a subset of the computed speech features is picked out in accordance with the list of indexes selected during training. The feature vector obtained to this end is fed to the regression models, created during training, which provides a direct estimation of the speakers' height. Previous studies on human height estimation from speech had shown that various speech parameters are correlated (either moderately or weakly) with the speaker's height. Since, there is no single speech feature that would permit an accurate estimation of the human height, the automatic height estimation methods often rely on a set of speech descriptors, which hopefully are complementary to each other, and when combined contribute to the increasing of the overall estimation accuracy.

In the present work we adhere to the speech feature subset, referred to as Top-50, which was studied in previous work [8]. Specifically, in [8] it was shown that the subset Top-50 (Table 1) provides a good trade-off between computational demands and accuracy. Larger feature subsets (e.g. Top-200, Top-1000) were shown to offer certain improvement in terms of height estimation accuracy at the cost of significant increase of computational and memory demands. Most of the speech features in the Top-50 subset are derived after applying statistical functions on the Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC), the fundamental frequency of speech (F0), or the voicing probability of speech. In Table 1, the numbers in square brackets specify the index of the corresponding MFCC coefficient.

3. EXPERIMENTAL SETUP

3.1 The TIMIT datasets

In order to guarantee a direct comparison with results re-

ported in previous related work [5, 7, 8], we followed a standard experimental protocol based on the TIMIT database. TIMIT is an American-English database containing microphone-quality prompted speech [16]. The 640 speakers of TIMIT cover seven major dialectal regions of the United States of America but also include a number of speakers moving across the states.

Each recording in the database is a speech utterance sampled at 16 kHz with resolution of 16 bits per sample. We followed the standard division to Train and Test subsets, as defined in the TIMIT documentation.

In brief, the Train subset consists of recordings from 462 speakers, including 326 males and 136 females, and the Test subset consists of the recordings of 168 speakers, including 112 males and 56 females. In both the male and female subsets, each speaker is represented by 10 utterances.

The self-reported height of each speaker is provided in the database documentation in inches. In the present study we converted all units to meters in accordance with the International System of Units (SI). Thus, in the entire database the speaker heights range between 1.448 and 2.032 meters, with mean and standard deviation values equal to 1.755 and 0.095 meters, respectively.

Following the experimental setup described in previous related studies [5, 7, 8, 17], we excluded the speaker MCTW0 from the Test subset, since his height of 2.032 meters is out of the range of heights represented in the Train subset, $h_{trn} \in [1.448, 1.981]$.

In all experiments, we followed a common experimental protocol. In the case of general model for both genders – males and females – the Train subset consisting of 4620 utterances was used for training the regression models. The accuracy of each automated height estimation method was measured on the Test subset, consisting of 1670 speech utterances.

In the case of the gender-specific experiments, we built separate models for the male and female speakers. There were 3260 training utterances for training the male models and 1120 test utterances. In the case of female speakers there were 1360 training and 560 test utterances.

There was no overlap between the speakers in the Train and Test datasets, and therefore the experimental setup corresponds to the scenario of automated height estimation for unknown speakers.

Table 1. Ranking results for the Top-50 audio features (defined in [8])

rank	W(A)	Speech feature	rank	W(A)	Speech feature
1	0.00673	mfcc[9]_perc95	26	0.00519	voiceProb_iqr1-3
2	0.00671	F0_linregerrA	27	0.00518	mfcc[9]_quartile3
3	0.00654	F0_perc95	28	0.00518	F0_de_zcr
4	0.00632	mfcc[9]_perc98	29	0.00513	F0env_de_zcr
5	0.00620	voiceProb_stddev	30	0.00503	voiceProb_linregerrA
6	0.00595	mfcc[9]_amean	31	0.00495	mfcc[9]_skewness
7	0.00587	voiceProb_perc95	32	0.00493	mfcc[9]_peakMean
8	0.00584	F0_stddev	33	0.00487	F0_de_perc98
9	0.00582	voiceProb_variance	34	0.00484	voiceProb_quartile3
10	0.00562	mfcc[10]_amean	35	0.00480	F0_zcr
11	0.00561	mfcc[8]_perc98	36	0.00468	F0_linregerrQ
12	0.00559	mfcc[11]_amean	37	0.00461	F0_perc98
13	0.00558	mfcc[10]_quartile1	38	0.00460	mfcc[10]_peakMean
14	0.00549	F0_de_de_zcr	39	0.00456	mfcc[12]_range
15	0.00548	F0env_de_de_zcr	40	0.00455	mfcc[9]_quartile1
16	0.00547	F0_quartile3	41	0.00454	mfcc[8]_amean
17	0.00547	F0_iqr1-3	42	0.00453	F0_variance
18	0.00539	mfcc[8]_perc95	43	0.00440	mfcc[11]_quartile1
19	0.00538	mfcc[10]_perc98	44	0.00435	mfcc[11]_perc95
20	0.00535	voiceProb_linregerrQ	45	0.00429	mfcc[12]_minameandist
21	0.00535	F0_de_perc95	46	0.00427	mfcc[11]_quartile2
22	0.00528	voiceProb_perc98	47	0.00421	mfcc[10]_quartile2
23	0.00527	mfcc[10]_perc95	48	0.00413	mfcc[10]_quartile3
24	0.00525	F0_de_de_perc95	49	0.00411	mfcc[3]_amean
25	0.00519	mfcc[7]_skewness	50	0.00411	pcm_LOGenergy_range

3.2 The speech features

For each of the Train and Test utterances we computed a single speech feature vector $\mathbf{x} = \{x_i\}$, following the procedure described in [8]. These are the Top-50 speech features shown in Table 1. Afterwards, the speech feature vectors were subject to statistical standardization:

$$\bar{x}_i = \frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i}, \quad (1)$$

which sets the values of all parameters in the uniform dynamic range $[0, 1]$. Here μ_i and σ_i are the mean and the standard deviation values of each type of speech features, computed over the entire Train dataset. The same values of μ_i and σ_i were afterwards used in the standardization of the speech feature vectors computed from the Test utterances. Next, the standardized speech feature vectors $\bar{\mathbf{x}} = \{\bar{x}_i\}$ were used as the Train and Test datasets for training the models and in the performance evaluation experiments.

3.3 Implementations

In the following, we briefly outline the settings of the four regression models evaluated in our study.

The Generalized Regression Neural Network (GRNN) [12] was trained with the Train dataset. After some experiments on the Train dataset, the GRNN spread factor was adjusted to value 1. In particular, initially we did search of the spread factor values in the range $[10e-25, 10e+25]$ with step by the powers of 10. Afterwards a fine search with step 0.1 was carried out in the vicinity of 1, which was found the best value after the initial search. The spread value of 1 is also in agreement with the fact that we standardized the dynamic range of values for the speech feature vectors.

A feed-forward Multi-layer Perceptron Neural Network (MLP NN)-based regression [13] with architecture 50-35-1 was trained with the Train dataset. This architecture was se-

lected after some experimentation with different architectures. Eventually, we selected implementation with 35 neurons with sigmoidal activation function in the hidden layer, and one neuron with linear activation function in the output layer. The MLP NN was trained with the method *gradient descent with momentum* and adaptive learning. The learning rate lr was set to 0.01 and the momentum M to 0.9. The training continued until six validation checks. Here, we made use of the MATLAB implementations of the GRNN and MLP NN-based regression.

We evaluated two Support Vector Regression (SVR) [14] models with radial basis kernel and with polynomial kernel. The training was carried out with grid search of the parameters γ and C in the range $[10e-40, 10e+20]$ with step by the power of 10, followed by a finer grid search in the vicinity of the minimum. Both SVR implementations were based on the LIBSVM toolkit [15].

In all experiments, the self-reported height values from the TIMIT database, converted to meters, were considered as the ground truth against which we compared the estimated height values. The height estimation accuracy was measured in terms of mean absolute error (MAE).

4. EXPERIMENTAL RESULTS

We evaluated the height estimation performance for the general case, where a single height estimation model, common for both genders, is used, and for the case of gender-specific regression models, trained only with speech either from male or female speakers.

The experimental results obtained for the regression models described in Section 3.3 are shown in Table 2 and Table 3. In particular, Table 2 reports the height estimation precision in terms of MAE. As seen in the table, the lowest MAE of 5.36 cm is observed for the SVR model with RBF kernel, for both the female and all speakers. The second best accuracy is observed for the MLP NN-based regression with MAE for all

speakers equal to 5.54. However, in the case of gender-specific height estimation, the MLP NN-based regression outperforms the SVR model and shows lower MAE than the SVR with RBF. The accuracy of the regression model SVR with polynomial kernel is slightly worse than the MAE of the MLP NN-based regression, except for the female speakers where both methods show equivalent results. Finally, the GRNN obtained the highest MAE in both the gender-specific and the all speakers experiments.

In Table 3, we report the overall processing time spent for the height estimation in the different implementations. The processing time is reported in seconds, computed for the entire Test dataset on a laptop computer Acer using single core of the i5 CPU operating on 2.4 GHz and OS Microsoft Windows 7. As Table 3 presents the lowest computational time of 0.06 seconds is obtained for the MLP NN-based regression model and all other models need much longer times.

Based on the experimental results presented in Table 2 and Table 3, we conclude that gender-specific implementation of the height estimation from speech with MLP NN-based regression is the most appropriate for realization in mobile applications, as it provides the lowest MAE and requires computational times which are multiple times lower than those of the other regression methods. Only in the case of all speakers we observe MAE approximately 3% lower for the model SVR with RBF however this is achieved at the cost of significantly higher complexity.

Table 2. Height estimation accuracy in terms of MAE.

Regression Method	Male MAE [cm]	Female MAE [cm]	All MAE [cm]
GRNN	5.78	6.39	6.04
FF MLP NN	5.45	5.28	5.54
SVR - RBF	5.69	5.36	5.36
SVR - Poly	5.53	5.27	5.59

Table 3. The processing time for the entire Test dataset.

Regression Method	Male Time [s]	Female Time [s]	All Time [s]
GRNN	0.65	0.18	0.91
FF MLP NN	0.04	0.04	0.06
SVR - RBF	0.14	0.28	0.33
SVR - Poly	0.11	0.23	0.36

In comparison with results reported in earlier research [8], the MLP NN-based regression provides a reasonable trade-off between computational complexity and height estimation accuracy, and therefore it is the most suitable implementation for including height estimation from speech in mobile-phone applications.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge with thanks the logistic support by the project OP "Competitiveness" BG161PO0031-1.2.04-0044 financed by the Structural Funds of the European Union, and by the project *ISP1* financed by the Technical University of Varna, Bulgaria.

REFERENCES

- [1]. Jain, A. K., Dass, S. C., Nandakumar, K. "Can soft biometric traits assist user recognition?", *Proc. of the SPIE-2004, Biometric Technology for Human Identification*. Eds. A.K. Jain and N. Ratha, vol. 5404, pp. 561–572. 2004.
- [2]. Fitch, W.T., Giedd, J. "Morphology and development of human vocal tract: a study using magnetic resonance imaging". *Journal of Acoustical Society of America*, 106(3): 1511–1522, 1999.
- [3]. Gonzalez, J. "Estimation of speaker's weight and height from speech: a re-analysis of data from multiple studies by Lass and colleagues". *Perceptual and Motor Skills*, 96: 297–304, 2003.
- [4]. Smith, L. H., Nelson, D. J. "An estimate of physical scale from speech," *Proc. of ICASSP 2004*, vol. 1, pp. 561–564.
- [5]. Dusan, S. "Estimation of speaker's height and vocal tract length from speech signal," In *Proc. of Interspeech-2005*, pp. 1989–1992. 2005.
- [6]. Blomberg, M., Elenius, D. "Estimating speaker characteristics for speech recognition," *Proc. of FONETIK-2009*, pp. 154–158.
- [7]. Mporas, I., Ganchev, T. "Estimation of unknown speaker's height from speech", *International Journal of Speech Technology* 12(4): 149–160, 2009.
- [8]. Ganchev, T., Mporas, I., Fakotakis, N. "Automatic Height Estimation from Speech in Real-World Setup", *Proc. of EUSIPCO-2010*, pp. 800–804. 2010.
- [9]. Arsikere, H. Leung, G. K. F., Lulich, S. M., Alwan A. "Automatic estimation of the first three subglottal resonances from adults' speech signals with application to speaker height estimation", *Speech Communication* 55: 51–70, 2013.
- [10]. Arsikere, H., Alwan A. "Estimating Speaker Height and Subglottal Resonances Using MFCCs and GMMs", *IEEE Signal Processing Letters* 21(2): 159–162, 2014.
- [11]. Williams, K. A., Hansen, J. H. L. "Speaker height estimation combining GMM and linear regression subsystems," *Proc. of ICASSP-2013*, pp. 7552–7556. 2013
- [12]. Specht, D. "A General Regression Neural Network", *IEEE Trans. on Neural Networks*, 2(6): 568–576, 1991.
- [13]. Marsland, S. *Machine Learning: An Algorithmic Perspective*, 2008.
- [14]. Drucker H., Burges C.J.C., Kaufman L., Smola A., Vapnik V. "Support vector regression machines". In: Mozer M.C., Jordan M.I., and Petsche T. (Eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems* 9, MIT Press, Cambridge, MA, pp. 155–161, 1997.
- [15]. Chang C. C., Lin. C. J. "LIBSVM: A library for support vector machines", *ACM Trans. on Intelligent Systems and Technology* 2(3), 2011. DOI=10.1145/1961189.1961199
- [16]. Garofolo, J. "Getting started with the DARPA-TIMIT CD-ROM: an acoustic phonetic continuous speech database", NIST, Gaithersburgh, MD, USA, 1988.
- [17]. Pellom, B. L., Hansen, J. H. L. "Voice analysis in adverse conditions: the centennial Olympic park bombing 911 call", *Proc. of the MWSCAS-1997*, vol. 2, pp. 873–876, 1997.

PROCESSING OF DIGITAL SIGNALS BY PHASE METHOD FOR MEASURING DIRECTION OF AN UNDERWATER OBJECT

ОБРАБОТКА НА ЦИФРОВ СИГНАЛ ПО ФАЗОВ МЕТОД ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НАПРАВЛЕНИЕТО КЪМ ПОДВОДЕН ОБЕКТ

Asst. Prof., Ph. Dr. I. Iliev, Assoc. Prof., Ph. Dr., N. Kolev

N. Y. Vaptsarov Naval Academy – Varna

Email: ilieviliyan@ymail.com, nzkolev@abv.bg

Abstract: The phase method for determining the angular position of an object is used in systems for accurate and automatic tracking and direction finding. Its main advantage over the maximum method for direction finding is the higher accuracy in the angle estimation that could be achieved.

Keywords: Direction finding, phase method, digital signal processing, digital system for direction finding, LabVIEW.

1. Introduction.

The phase method for measuring direction requires that there are two reception channels with the same characteristics and a unit for measuring the phase. It allows you to determine the direction to objects from their secondary or their primary acoustic field. This allows the process to be used both in active and in passive sonar systems. The structural scheme of the method is shown on figure 1.

In order to work correctly the method needs the sonar wave front at the point, where the antenna is located to be regarded flat. In this case, the difference x in the path between the rays at the receiving hydrophones depends on the angular position θ of the source towards perpendicular to the base with length d :

$$(1) \quad x = d \sin(\theta)$$

This path difference is the reason for the occurrence of phase difference φ between the output signals of hydrophones:

$$(2) \quad \varphi = 2\pi \frac{d}{\lambda} \sin(\theta)$$

In the structural diagram shown in Fig. 1 the angular position of the source is estimated by the slope of the line illuminating the indicator.

For the generation of the indicator line, from the output signals of both U_1 and U_2 hydrophones after amplification and filtering two new sum and difference signals are formed:

$$(3) \quad \dot{U}_+ = U_{m1} e^{j\omega t} + U_{m2} e^{j(\omega t - \varphi)}$$

$$(4) \quad \dot{U}_- = U_{m1} e^{j(\omega t - \varphi)} - U_{m2} e^{j\omega t}$$

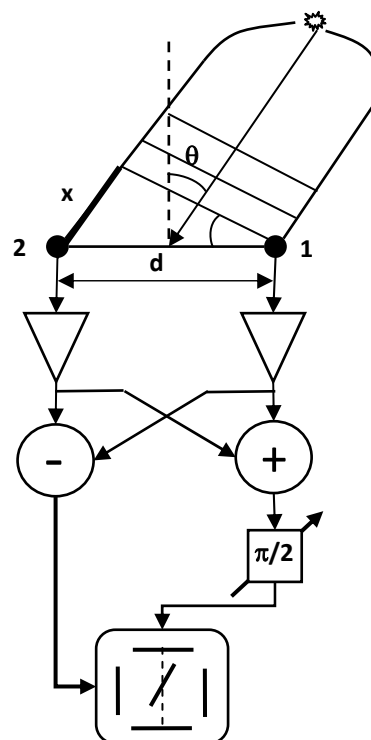


Fig. 1. Structural diagram of the phase method for direction finding.

After transformation of both signals the following expressions are received:

$$(5) \quad U_+ = 2U_m \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) \operatorname{Re} \left[e^{j(\omega t - \frac{\varphi}{2})} \right]$$

$$(6) \quad U_- = 2U_m \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) \operatorname{Re} \left[e^{j(\omega t - \frac{\varphi}{2} - \frac{\pi}{2})} \right]$$

Expressions (5) and (6) indicate that the two signals are shifted in phase of 90 degrees, which is the reason for the occurrence of an ellipse of an electronic display with an electrostatic deflection system. In order to form an inclined straight line it is necessary to eliminate the phase difference for which in the sum of the signal before feeding it to the vertical deflection circuit a phase delay of 90° is introduced. In analog systems this operation is performed using the RC circuit, which is not applicable to digital systems.

After leveling the phase relationship between the vertical U_y and horizontally - U_x voltage their ratio will equal to:

$$(7) \quad \frac{U_y}{U_x} = \frac{U_+}{U_-} = \tan\left(\frac{\pi}{2}\right)$$

But at the same time $\frac{U_y}{U_x} = \tan(\alpha)$, where α is the angle of the line. After approximating with (7) is obtained that:

$$(8) \quad \alpha = \pi \frac{d}{L} \sin(\theta)$$

The expression (8) indicates that in order to accurately measure the angular deviation of the source is required that $d \leq \frac{L}{2}$. When $d = \frac{L}{2}$,

$$(9) \quad \alpha = \frac{\pi}{2} \sin(\theta)$$

There are two approaches to apply the method in a digital sonar system. In the first approach, the phase difference of the sum and the difference signals is digitized after leveling. Digital signals are then fed to the XY graphical indicator. This approach can be realized in analog systems with digital indication.

The report is considered the second approach, in which the receiving channel of the system is digital and two hydrophone signals are subject to analog-to-digital conversion [1]. In such a system the received digital signals from the two hydrophones are:

$$(10) \quad U_1(n) = \sum_{k=1}^N U_m e^{j(\frac{2\pi}{L} d(n-k))} \delta(n-k)$$

$$(11) \quad U_2(n) = \sum_{k=1}^N U_m e^{j(\frac{2\pi}{L} d(n-k) - \varphi)} \delta(n-k)$$

N – repetition period; $n = 1, 2, \dots, N$

The proposed structural diagram of a digital system with a phase method direction finding is shown in Figure 2.

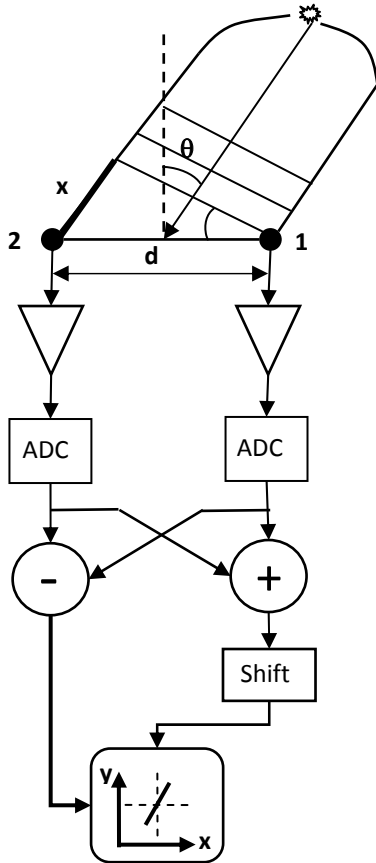


Fig. 2. Structural diagram of the phase method for direction finding in a digital system.

At time $n = k$ signals from the output of the two hydrophones are equal to:

$$(12) \quad U_1(k) = U_m e^{j(\frac{2\pi}{L} d(n-k))}$$

$$(13) \quad U_2(k) = U_m e^{j(\frac{2\pi}{L} d(n-k) - \varphi)}$$

After summation and subtraction of these signals the following expressions are obtained:

$$(14) \quad U_+(n) = 2U_m \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) \operatorname{Re}\left[e^{j(\frac{2\pi}{L} d(n-k) - \frac{\pi}{2})}\right]$$

$$(15) \quad U_-(n) = 2U_m \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \operatorname{Re}\left[e^{j(\frac{2\pi}{L} d(n-k) - \frac{\pi}{2})}\right]$$

Change the phase of the analog signal with 2π corresponds to the change of the digital signal with a period - N points. Change of phase with the $\pi/2$ will comply with:

$$(16) \quad N = \frac{N}{4} \text{ points.}$$

Such number of points needs to be extracted from the sequence of the discrete digital sum signal to align its phase difference with that of the difference signal.

The algorithm for program processing and display of digital signals from hydrophones is shown in Figure 3.

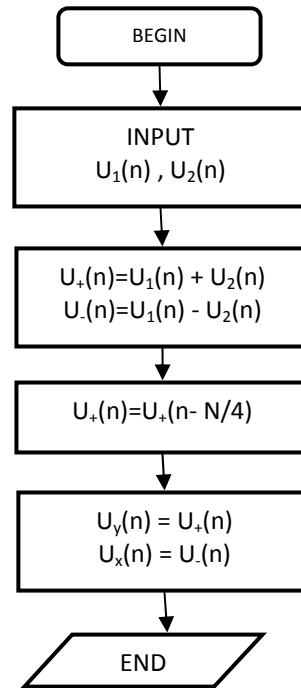


Fig. 3. Algorithm for digital phase bearing estimation.

2. Results from the numerical implementation of the phase method for determining the angular position.

For qualitative evaluation of the algorithm for processing of digital signal by phase method simulation model in an environment of "LabVIEW" of NI Instruments [2] is developed. The model includes two sinusoidal generators with the ability to change the amplitude, frequency and phase of the generated signals that simulate receiving hydrophone channels. After summation and subtraction of the input signals, the newly formed signals are phase aligned by Shift operation and applied to the XY graph indicator. The

model is able to simulate treatment in condition of Gaussian noise.

To carry out the simulation experiment the following parameters are given. Input signals with amplitude and frequency 0,1 V 10 Hz, and the effective value of the noise $U_{rms} = 1$ mV. The frequency of the ADC sampling is selected 1000 Hz. Subject to processing are 200 samples of the report signal 10 times per second. For these parameters and period of the signal $N = 100$, the offset that has to be entered in the signal of the sum is 25. Figure 4 shows the signals of the sum and the difference when there is initial phase difference 10° without equalizing the phase difference between the channels.

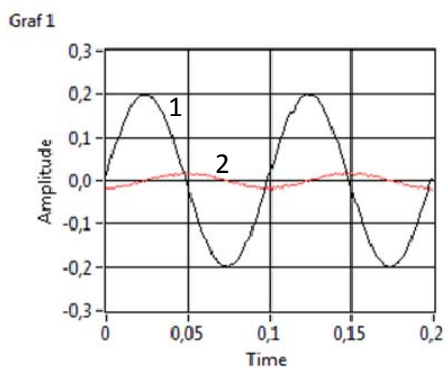


Fig. 4. Diagrams of the sum signal – 1 and diff signal – 2.

Figure 5 shows the image of graphical indicator.

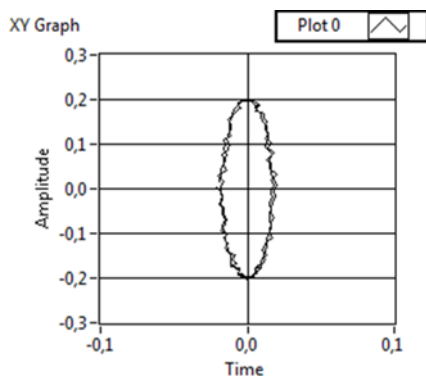


Fig.5. Image on the XY graphical indicator in the presence of a 90° phase difference between the channels.

Figure 6 shows the result of the operation of the model in the presence of the phase difference 10° , and equaling of the phase difference between the channels.

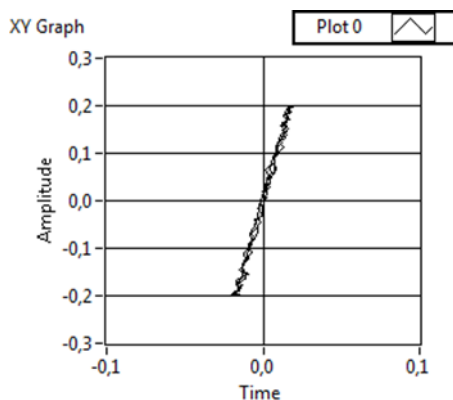


Fig. 6. Form a line on the XY graphical indicator in the presence of 0° phase difference between channels.

The method is applied to the signal processing of own noise of boat recorded by two independent hydrophones with base between them 7 m. The recording was made with hardware including two hydrophone and dual channel Bruel & Kier preamplifier, and NI PXI digitizer console. Signals are sampled at 50 kHz. Before processing the two signals are limited in frequency band from 199 Hz to 250 through a bandpass filter.

Figure 7 shows the spectrum of the received signal.

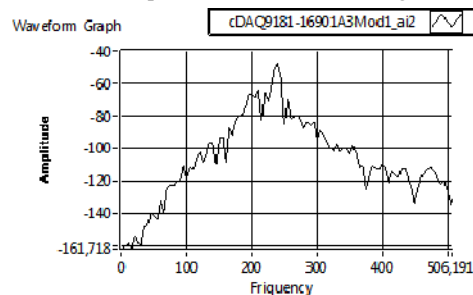


Fig. 7. Spectrum of noise a motor cutter.

The spectrum of Fig. 7 corresponds to an image of graphical display shown in Figure 8.

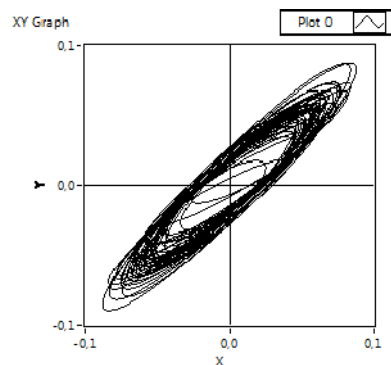


Fig. 8. The instantaneous shape of the line XY graphical indicator corresponding to the spectrum of Fig. 7.

Conclusion:

Processing of simulated and real data by the proposed algorithm shows that it can be used in digital systems to determine the angular position of the detected objects.

Literature:

1. Ifeachor E.C. and B. W. Jervis. "Digital Signal Processing: A Practical Approach", 2d ed., Publishing House of Electronics Industry, 2003.
2. Fedosov V. P, Nesterenko A. K., "Digital signal processing in LabView", DMK Press, 2007, ISBN 5-8327-0269-7.

	АКУСТИКА Национална конференция "Акустика 2014"	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ГЕНЕРИРАНЕТО НА ХИДРОАКУСТИЧНИ ВЪЛНИ С ЕЛЕКТРИЧЕСКИ РАЗРЯД НА КОНДЕНЗАТОРИ ВЪВ ВОДА

A STUDY OF ACOUSTIC WAVES IN WATER OBTAINED WITH ELECTRICAL DISCHARGES OF CAPACITORS

assistant prof. Lyubomir Dankov, assistant prof. Ilia Iliev

"N.Y. Vaptsarov" Naval Academy – Varna

Abstract: The article studies the results of tests of electrical discharges in water. Electrical energy is accumulated in high voltage capacitors and the resulting discharge acoustic signal is recorded. The maximum values of the recorded acoustic signal depending on parameters of the circuit are compared.

Key words: acoustic waves in water, discharge in water, capacitors.

1. INTRODUCTION

Electrical discharge in water is a process studied for many years having many applications in practice[1,2]. The discharge in liquids is accompanied by various physical and chemical processes and is the subject of research in the European framework for cooperation in science and technology[3]. Some of the effects associated with the discharge are under the influence of the generated acoustic waves in the liquid. The process consists of sequential transformation of the energy in the electric circuit, in energy of the discharge channel and into energy of acoustic waves in the liquid. Electrical discharge in water is a complex process dependent on many factors. This process, every time different, is therefore difficult to record and studied. The process runs like blasts generated by explosives. Unlike the energy

produced in explosives, the energy generated in the electrical discharge can be managed more easily, both in amplitude and in time. To compensate for the differences in the operation of the process a repetition frequency of few hertz to thousands of hertz is used in EDM machines. Additionally, the task is complicated by the need to use large currents and voltages for processing of larger volumes. The realization of electrical discharges in water is related to the use of a switch element to interrupt the current through the circuit in time of energy charging and of instantaneous release when the switch is closed. For this purpose it is necessary to switch high currents and voltages, and as such device can be used a trigatron, a thyatron or a semiconductor switch element. Parasitic inductances the circuit, the water temperature and the area of the electrodes have a strong influence on the transients and ongoing currents but we have not studied the impact of these parameters in the article. The experiments were conducted in the sonar pool at "Vaptsarov" Naval Academy at water temperature of 24°C.

2. EXPERIMENTAL SETUP

The object of the study is to understand the processes of conversion of electrical energy, stored in the high voltage capacitor battery, in acoustic waves.

The experimental setup is shown on figure 1 and comprises high voltage transformer, rectifier, resistor limiting current in the transformer and diodes, four condensers K41-1a 1 μ F 16kV, manageable arrester (trigatron), discharge circuit, coaxial cable to connect the elements (PK-75-9-11A) and the high-voltage source for control of the arrester (trigatron).

To monitoring current and voltage UNI-T oscilloscope UTD 2025C, voltage probe Tektronix 6015, current probe Yuanxing CTC 1535-15 are used. The pressure of the acoustic wave is recorded on the oscilloscope with Bruel&Kjaer hydrophone and amplifier.

Electrical discharge in water is formed between central conductor of the coaxial cable RK75-9-11A and a tip placed on the shielding. By moving the tip the length of the discharge changes. The pressure of the acoustic wave, depending on, the capacity, voltage and distance between the electrodes is investigated. For this purpose wave forms of current and pressure at 2 meter of discharge as shown in figure 2 are recorded.

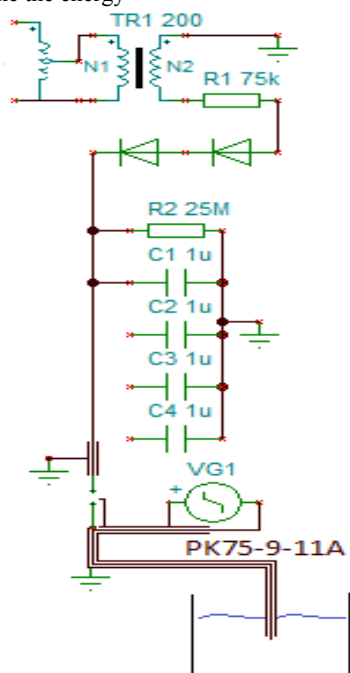


Figure 1 Scheme of the experimental setup

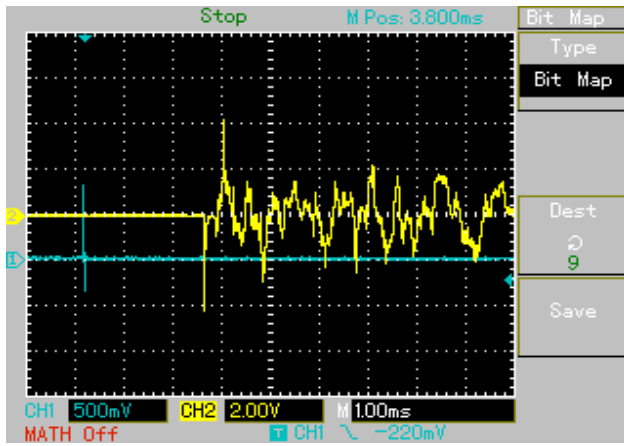


Figure 2 Waveform of the pressure change

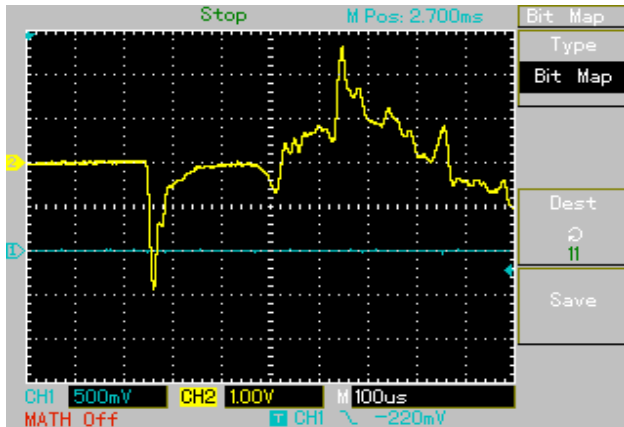


Figure 3. Amplitude and shape of the first pressure pulse.

After increasing the scale of time both fronts pulse creation and the closing of the discharge channel can be clearly observed (figure 3).

3. RESULTS AND DISCUSSION

Due to the complex nature of the process and the many variables the experimental results do not always give full coverage of theoretical conclusions. The maximum pressure can be determined using the information specified in [4].

$$p = \frac{U_0}{r} \sqrt{\frac{l_k}{L}}$$

Where: U_0 - charging voltage of the capacitor r - distance from the axis of the channel to the point of measurement; l_k - the distance between the electrodes; L - inductance of the discharge circuit.

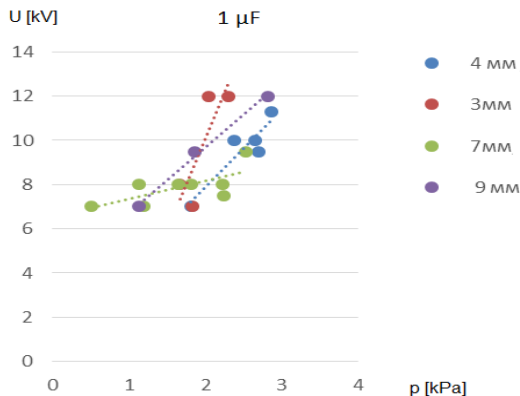


Figure 4 Experimentally recorded relationship between pressure and voltage (capacity $C=1\mu F$)

In [5] is a formula with more parameters used to determine the same pressure.

$$p = U_6 \sqrt{\frac{K_u p_m (\beta - 1)}{2\pi E_k l_k}}$$

Where: U_6 - voltage of the capacitor at the time of the breakthrough. K_u - utilization of battery power; p_m - density of water; $\beta=1.26$ - adiabatic constant; l_k - the distance between the electrodes;

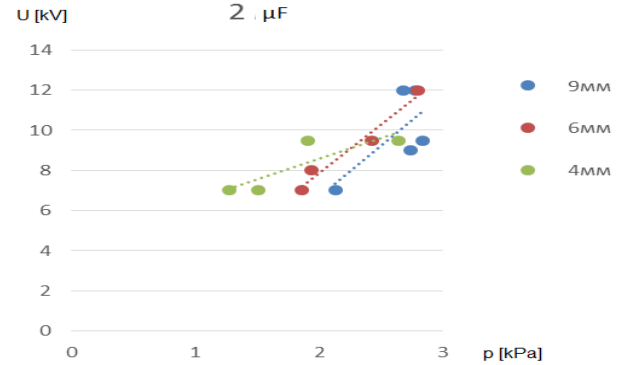


Figure 5. Experimentally recorded relationship between pressure and voltage (capacity $C=2\mu F$)

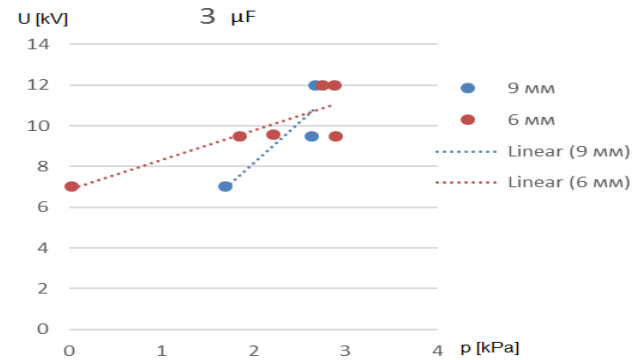


Figure 6. Experimentally recorded relationship between pressure and voltage (capacity $C=3\mu F$)

The main difference of the information from the two sources is the dependence of the length of the channel. The dependence in the first source is shown in direct proportion, but in the second it is inverse proportion. Another difference is that in the first formula is used the voltage at the time of formation of the plasma channel in the water, but in the second the voltage to which the capacitor is charged. In the longer lengths of the discharge channel the various voltages are significantly different, while small values of capacitance of the capacitor battery could be discharged without forming a plasma channel.

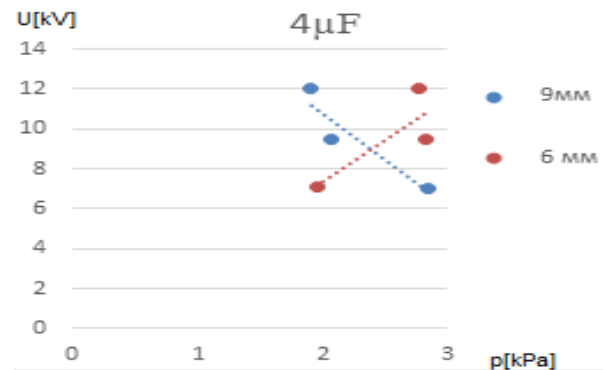


Figure 7. Experimentally recorded relationship between pressure and voltage (capacity $C=4\mu F$)

It is noted that with increasing the voltage the pressure increases, but with increasing the capacity, the pressure does not depend so strongly on the voltage and at 4 μF even negative trend is observed.

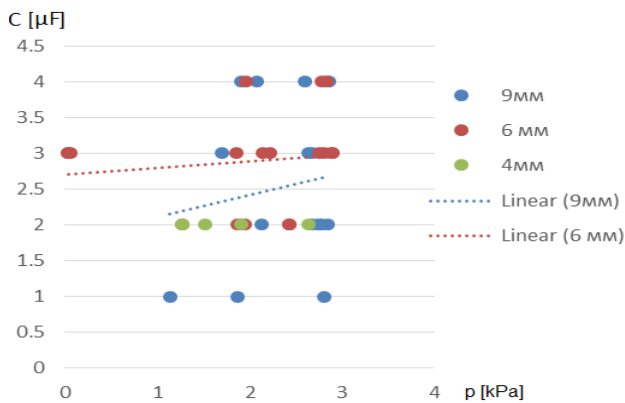


Figure 8. Dependence on the pressure of the capacity

Upon analysis of the data obtained at different values of the capacity and the distance it can be seen that the maximum pressure that is reached is not dependent on the capacity, i.e., at lower voltages an increase in capacity results in an increase of the acoustic signal, but at voltages above 10 kV saturation is obtained. This is explained by, the rapid reduction of the voltage at low capacity during the before-arc stage. Thus, the voltage at the time of the arc is much lower than the initial voltage to which the capacitor was charged. When changing the distance between the electrodes conflicting trends can be seen. At 1 μF and 4 μF increasing the distance reduced the pressure, and at 2 and 3 μF the pressure increased. For small values of capacity and long distance between the electrodes a real break through liquid and ionization of the gas in the channel does not occur.

4. CONCLUSIONS

After a summary of the results of the tests and comparing them to the dependencies published in scientific literature we can make the following conclusions:

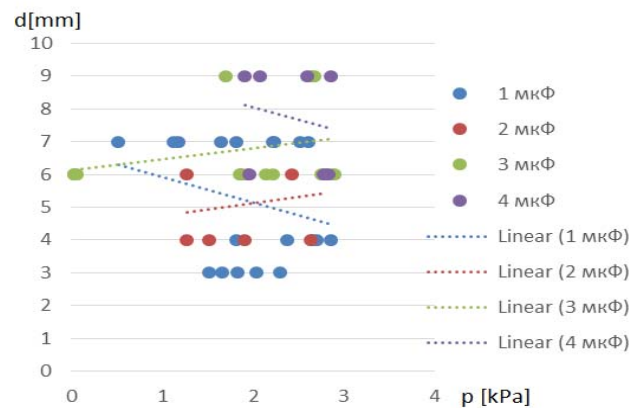


Figure 9. Dependence on the pressure of the gap length

4.1. Creation of acoustic waves by electrical discharge of capacitors in water is a process that can be easily implemented, but with low efficiency.

4.2 Increasing the energy by increasing the capacity of the capacitor increases the acoustic signal at low voltages. At high voltages we observed a saturation, which can be explained by the small size of the signal source and the nonlinear processes in it.

4.3 An effective way to increase the signal is to increase the voltage. For each case of the used capacitors and connectors can be experimentally determined capacity at which the signal is maximum. In our experimental setup this maximum is between 2 and 3 μF .

4.4 Reducing the distance between the electrodes has a positive impact leading to raising the level of the acoustic signal, especially for small values of capacity.

REFERENCES

1. Golenkov A.A. Special processes and pressure processing equipment. M. Mechanical Engineering, 2004. 464pp.
2. Stephen F. Krar, Arthur R. Gill. Exploring Advanced Manufacturing Technologies, Industrial Press Inc. 2003.
3. COST, http://www.cost.eu/COST_Actions/cmst/Actions/TD1208
4. Naugolnykh K.A., Roy N. Electrical discharges in water. M. Nauka, 1971. 155p.
5. Kuczynskij G.S. et al. High Voltage Equipment. St. Petersburg, 1998.

ACOUSTIC EXAMINATION OF THE ANECHOIC CHAMBER IN TECHNICAL UNIVERSITY - VARNA

Eng. I. Iliev

Technical University - Varna, Bulgaria. E-mail: ilian.j.iliev@gmail.com

Assoc. Prof. E. Sirakov

Technical University - Varna, Bulgaria. E-mail: katio@mail.bg

Assist. Prof. H. Zhivomirov

Technical University - Varna, Bulgaria. E-mail: hristo_car@abv.bg

Abstract

In this paper the possibilities of conducting acoustic measurements in the electromagnetic anechoic chamber at Technical University - Varna are discussed. Definition for an electroacoustic anechoic chamber is given. The anechoic chamber, object of this study, is presented. The direct signal and the reflected signals between microphone and loudspeaker which are placed in different positions at the anechoic chamber are theoretically reviewed. The used signal and its envelope are theoretically presented. Comparison is made between the theory and the results obtained from the actual measurements. Conclusions for possibilities of conducting acoustic measurements in the anechoic chamber at Technical University – Varna are made.

Keywords: Anechoic chamber, Impulse response, Image source method, Room acoustic, Measurements.

INTRODUCTION

The electromagnetic anechoic chamber at Technical University – Varna was designed and built by specialists in the field of electrodynamics, antennas and microwaves, working in the Department of “Radio Engineering” (after 2012 - Department of “Communications Equipment and Technologies”). Undoubtedly, the presence of an anechoic chamber contributes to the scientific progress of both the lecturers as well as the students at Technical University. One can find proof of the latter in numerous publications [1, 2, 3, 4] and scientific patents [5, 6, 7] based on measurements and experiments conducted in the electromagnetic anechoic chamber. That is where students attend laboratory exercises in Antennas and Microwave devices, Radiolocation, etc.

The question whether the electromagnetic anechoic chamber is also an electroacoustic anechoic chamber arises. Furthermore, it would be of interest to establish under what circumstances one can carry out acoustic measurements in the chamber.

1. THEORETICAL BACKGROUND

An electroacoustic anechoic chamber is a room isolated from outside noises and vibrations where free field conditions are simulated [8]. Free field exists only when there are no reflecting surfaces and the sound energy spreads unlimitedly in all directions. Proper acoustic measurements are carried out in free field where the level of the direct signal is higher than the level of reverberation by 6÷10 dB. Practically there is no absolute free field, which leads to the necessity of either designing acoustic anechoic chambers or conducting acoustic experiments in wide open spaces. The second option is not always convenient from a logistic point of view. Thus, the electroacoustic anechoic chamber provides appropriate

conditions for all kinds of studies in the field of audiotecchnique, acoustics, architectural acoustics etc.

The most common purpose of an electroacoustic anechoic chamber is to isolate noises and vibrations from the outside sources, this way minimizing the sound distortions during acoustic measurements.

The anechoic chamber at Technical University – Varna is not situated on separate fundament. There aren't any air-layers between the chamber's walls and the adjacent rooms nor is the floor isolated by elastic elements. From an acoustic point of view all of these shortcomings render the measurements in the low audio frequencies (up to few hundred Hz) pointless. However, they will not affect the measurements at higher frequencies.

The dimensions of the anechoic chamber at Technical University – Varna are as follows: width – 3.3 m, length – 5.6 m and height – 3.1 m. The walls, floor and ceiling of the chamber are made of high density concrete (2200÷2500 kg/m³). They are also covered with three types of radio absorbing material – SA-150, SA-30 [9] and TORA9 [10]. The chamber, being electromagnetic, is coated with copper foil which prevents outer electromagnetic disturbances on the inside experimental setup.

The electroacoustic assessment of the electrodynamic anechoic chamber is based on the light-beam theory. The sound wave is regarded as similar to light-beam (Fig. 1).

At best, the pyramid-shaped cover of the walls, floor and ceiling will absorb the traveling sound wave in the chamber. More often than not diffusion will be observed – the falling wave will fragment into multiple reflected waves of small amplitude. In acoustic measurements the worst case scenario is for a high degree of reflection to occur, thus overlapping the direct signal. When the sound wave reaches an obstacle (wall,

floor or ceiling), a multitude of reflections will be observed. The determination of the sound field will become an extremely complicated task which will be impossible to describe through common mathematics. In this paper the image source method, represented on Fig. 2 is used to describe the process [11, 12].

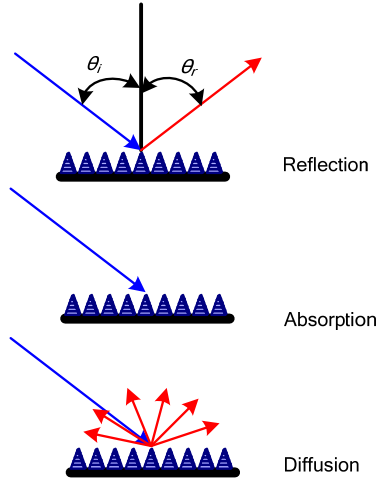


Fig. 1. Sound reflection, absorption and diffusion

The solid line rectangle shows the real chamber, while the dashed line rectangles show the mirror images of the chamber. Blue line between the loudspeaker (blue circle) and the microphone (the star) illustrates the direct signal. The red line represents the reflected signal (echo signal).

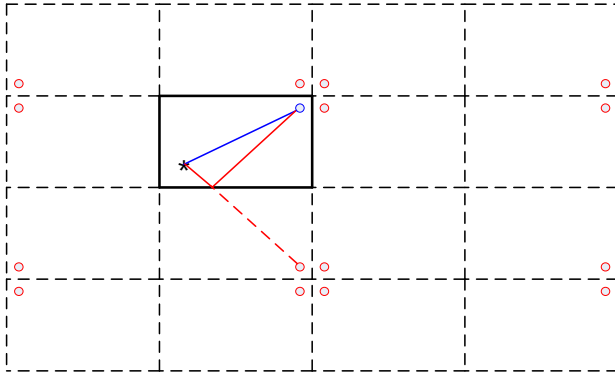


Fig. 2. Image source method

In the point where the microphone is situated, the reflected signals are perceived as direct signals emitted from the mirror images of the loudspeakers (red circles). The red dashed line represents the distance that the sound wave travels before it reaches the reflecting surface [14].

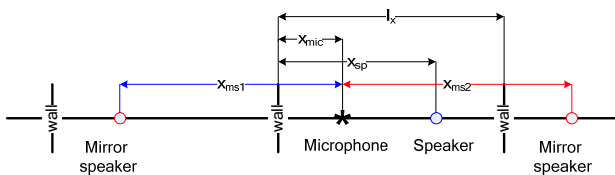


Fig. 3. Image source method (1-D)

To avoid overlapping between the direct and the reflected signals it is necessary to determine the exact moment of reception for each of them. The moment of detection depends on the distance traveled by the signal. In order to calculate distances between the microphone and all of the virtual sources (Fig. 3) one can use expression [15]:

$$(1) \quad x_{ms} = (-1)^i x_{sp} + \left[i + \frac{1 - (-1)^i}{2} \right] l_x - x_{mic},$$

where: x_{ms} is the distance between receiver and the image source;

x_{sp} - the distance between the real source and the wall;

x_{mic} - the distance between the microphone and the wall;

l_x - linear size of room (length),

while the integer i shows the image source's location in relation to the microphone – whether it is on the negative x-axis ($i = -1$) or on the positive x-axis ($i = 1$). When $i = 0$ the image source is actually the real source.

Subsequently, for the distances between microphone and all of the virtual sources along the y and z axes one can use:

$$(2) \quad y_{ms} = (-1)^j y_{sp} + \left[j + \frac{1 - (-1)^j}{2} \right] l_y - y_{mic};$$

$$(3) \quad z_{ms} = (-1)^k z_{sp} + \left[k + \frac{1 - (-1)^k}{2} \right] l_z - z_{mic}.$$

Thus, through (1), (2) and (3), one can calculate the distance d , traveled by a given signal from the loudspeaker to the microphone in 3-D [16]:

$$(4) \quad d = \sqrt{x_{ms}^2 + y_{ms}^2 + z_{ms}^2}.$$

The following function gives each signal's time delay:

$$(5) \quad a(u(t)) = \begin{cases} 1, & \text{ako } u(t) = 0, \\ 0, & \text{ako } u(t) \neq 0, \end{cases}$$

where:

$$(6) \quad u(t) = t - \frac{d}{c}.$$

In expression (6) the relation between the distance d and the sound speed c represents the time delay of each reflected signal.

The total magnitude of each signal will depend on both the covered distance and the reflective/absorbing qualities of the wall's coating material:

$$(7) \quad A = b \cdot r,$$

where: r is the reflection coefficient's average value for the given coating material;

$b = \frac{1}{r}$ - represents the decrease of the amplitude

inversely proportional to the distance [17].

All of the reflected signals can be calculated using:

$$(8) \quad h(t) = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 \sum_{k=-1}^1 a(u(t)) \cdot A.$$

A sine wave signal [19] is used for actual measurement in enclosed space (room) [18]:

$$(9) \quad x(t) = \sin(\omega_0 t),$$

where: ω_0 is angular frequency of the signal;

t - time.

The experimental setup used for measurements in [18, 20] is shown on Fig. 4.

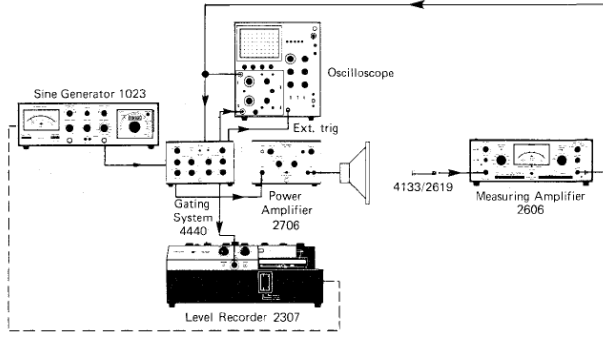


Fig. 4. Experimental setup [18, 20]

The signal has rectangular envelope in the continuous time domain [21, 22]:

$$(10) \quad w_r(t) = \begin{cases} 1, & |t| \leq \tau \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases},$$

where: τ pulse width.

In the discrete time domain is [21, 22]:

$$(11) \quad w_r[n] = 1 \text{ for } -\frac{N}{2} < n < \frac{N}{2},$$

where: n is number of the sample;

N - total number of the samples.

The spectrum of the signal envelope given with (10) is [22, 23]:

$$(12) \quad W_R(\omega) = \frac{2\tau \sin(\omega\tau)}{\omega\tau}.$$

where: ω is the angular frequency.

The spectrum of the signal envelope given in (11) is [23] :

$$(13) \quad W_R[\omega] = \exp\left(\frac{j\omega}{2}\right) \frac{\sin\left[\frac{N\omega}{2}\right]}{\sin\left[\frac{\omega}{2}\right]}.$$

After applying the properties of the Fourier transformation - time shifting [24]:

$$(14) \quad F\{x(t - t_0)\} = X(f) \cdot e^{-j2\pi f t_0},$$

and frequency shifting [24]:

$$(15) \quad F\{x(t) \cdot e^{j2\pi f t_0}\} = X(f - f_0),$$

the spectrum of the time and frequency shifted envelope shown in (10) becomes:

$$(16) \quad W_R(\omega) = \exp(-j\omega_0 t) \left(\frac{2\tau \sin((\omega + \omega_0)\tau)}{(\omega + \omega_0)\tau} + \frac{2\tau \sin((\omega - \omega_0)\tau)}{(\omega - \omega_0)\tau} \right).$$

Therefore the spectrum of the time and frequency shifted window function shown in (11) becomes:

$$(17) \quad W_R[\omega] = \exp(-j\omega_0 t) \left(\exp\left(\frac{j\omega + \omega_0}{2}\right) \frac{\sin\left[\frac{N}{2}(\omega + \omega_0)\right]}{\sin\left[\frac{1}{2}(\omega + \omega_0)\right]} + \exp\left(\frac{j\omega - \omega_0}{2}\right) \frac{\sin\left[\frac{N}{2}(\omega - \omega_0)\right]}{\sin\left[\frac{1}{2}(\omega - \omega_0)\right]} \right).$$

Time and frequency shifted standard measurement signal and its envelope are shown in Fig. 5.

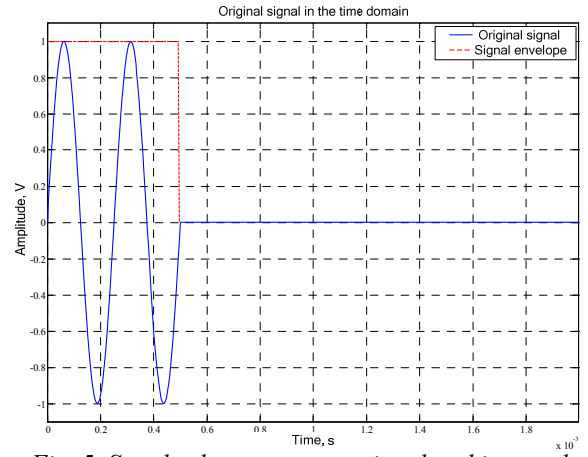


Fig. 5. Standard measurement signal and its envelope

The spectrum of the time and frequency shifted rectangular window (signal envelope) is shown in Fig. 6.

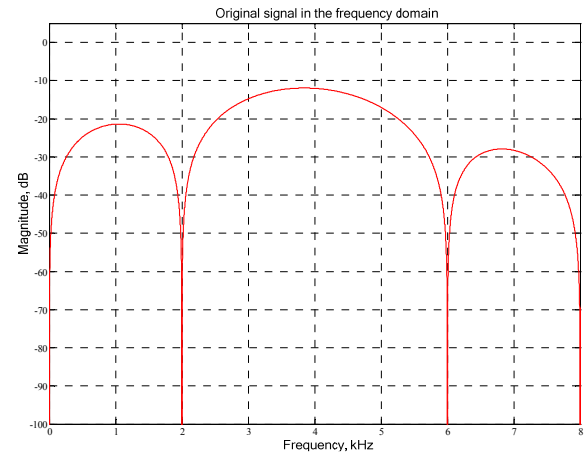


Fig. 6. Spectrum of rectangular window

2. EXPERIMENTAL SETUP AND RESULTS

To examine the potential of the anechoic chamber for conducting electroacoustic measurements NI DAQ USB-6211, Robotron Präzisions sound-meter with microphone MK221, Dynaudio 17W75 loudspeaker and original Matlab® based software are used. The experimental setup is shown in Fig. 7.

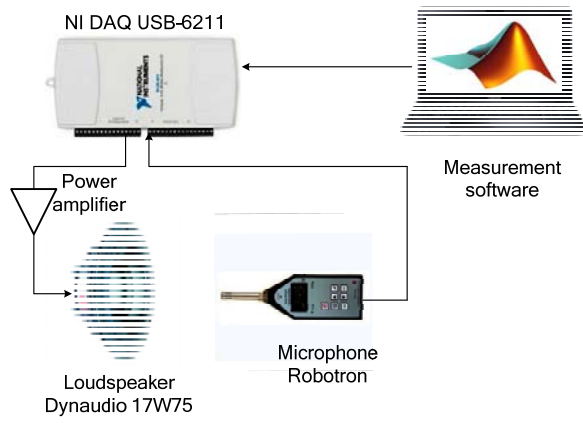


Fig. 7. Experimental setup

In order to provide experimental confirmation of the theoretical background the authors of this paper review two different cases.

In the first case (Fig. 8) the microphone and the loudspeaker are at a distance $d_{direct} = 1$ m from each other. The direct signal is expected to arrive at:

$$(18) \quad t_{direct} = \frac{d_{direct}}{c},$$

where: $c = 331.4 + 0.6^\circ C$ is the sound speed;

$^\circ C$ - temperature in the anechoic chamber (Celsius).

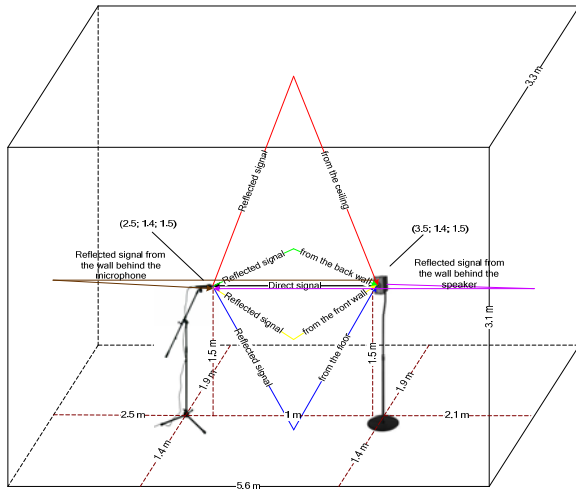


Fig. 8. Direct and reflected sound waves in the anechoic chamber at Technical University – Varna (first case)

During the experiment the temperature and the level of the intrinsic noise in the anechoic chamber were measured with professional environment meter MS6300 as follows: temperature – $28^\circ C$, level of the intrinsic noise – 26.8 dB.

Therefore the direct signal arrives at:

$$(19) \quad t_{direct} = \frac{1}{331.4 + 0.6 \cdot 28} = 0.00287 \text{ s.}$$

For instance, the distance traveled by the signal reflected from the ceiling can be calculated using Pythagorean theorem (Fig. 9):

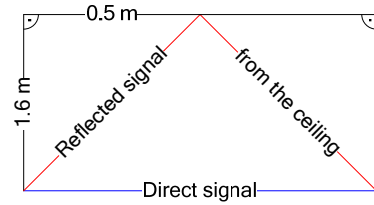


Fig. 9. Signal reflected from the ceiling

$$(20) \quad d_{ceilref} = 2 \cdot \sqrt{1.6^2 + 0.5^2} = 2.72 \text{ m}$$

and thus the signal arrives at:

$$(21) \quad t_{ceilref} = \frac{2.72}{331.4 + 0.6 \cdot 28} = 0.00781 \text{ s.}$$

Similarly, one can calculate the time of arrival for all of the other reflected signals.

The theoretically calculated delay times of all reflected signals are shown in Fig. 10, while Fig. 11 shows the distance traveled by each of every one of them.

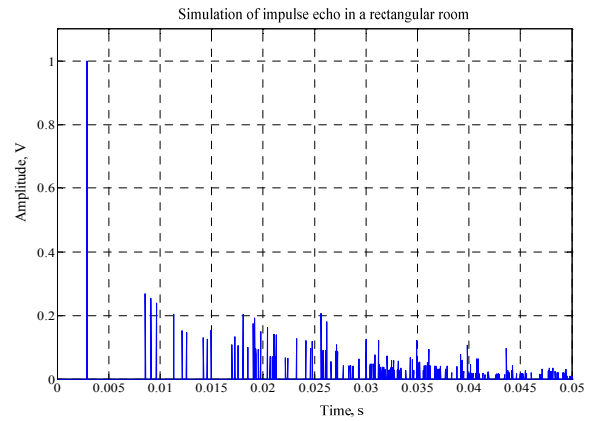


Fig. 10. Time delay of the reflected signals (first case)

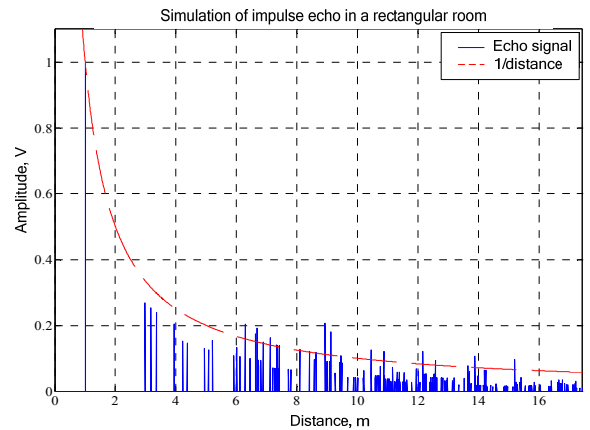


Fig. 11. Distance traveled by the reflected signals (first case)

In the second case (Fig. 12), the microphone and the loudspeaker are at distance $d_{direct} = 2.06$ m from each other and the direct signal arrives at:

$$(22) \quad t_{direct} = \frac{2.06}{331.4 + 0.6 \cdot 28} = 0.00591 \text{ s.}$$

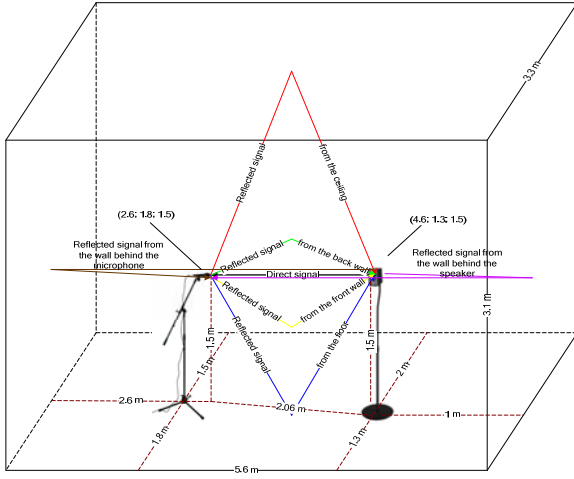


Fig. 12. Direct and reflected sound waves in the anechoic chamber at Technical University – Varna (second case)

The theoretically calculated time delays of all reflected signals are shown in Fig. 13, while Fig. 14 shows the distance traveled by each of them.

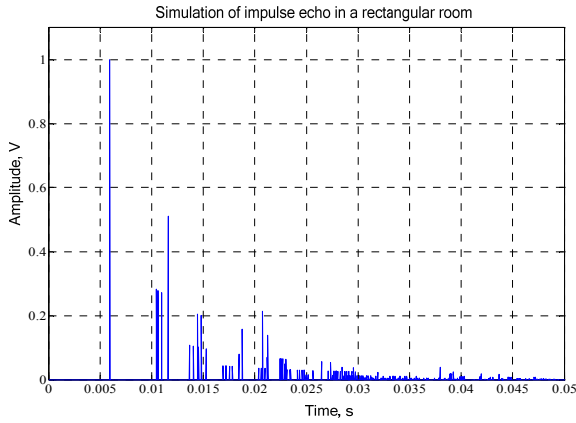


Fig. 13. Time delay of the reflected signals (second case)

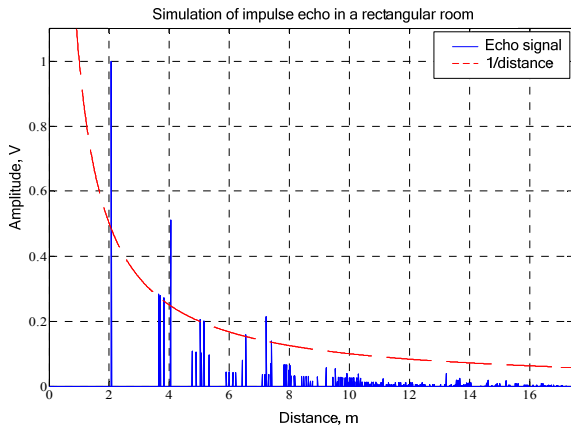


Fig. 14. Distance traveled by the reflected signals (second case)

Unlike the sine signal with rectangular envelope used in [18, 20], the measurements for the current paper were conducted by means of 4 kHz sine wave signal with raised cosine envelop (Hanning window) and 1 ms duration.

In the continuous time domain the latter is given by [22, 23]:

$$(23) \quad w_h(t) = \begin{cases} 0.5 \left(1 + \cos\left(\frac{\pi}{\tau} t\right) \right), & |t| \leq \tau \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases}$$

while in the discrete time domain it is given by [22, 23]:

$$(24) \quad w_h[n] = 0.5 \left(1 + \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) \right).$$

The spectrum of the Hanning window (23) is [22, 23]:

$$(25) \quad W_H(\omega) = \frac{\sin(\omega\tau)}{\omega\tau} + 0.5 \left[\frac{\sin(\omega\tau - \pi)}{\omega\tau - \pi} + \frac{\sin(\omega\tau + \pi)}{\omega\tau + \pi} \right]$$

The spectrum of the Hanning window (24) is [22, 23]:

$$(26) \quad W_H[\omega] = 0.5D(\omega) + 0.25 \left[D\left(\omega - \frac{2\pi}{N}\right) + D\left(\omega + \frac{2\pi}{N}\right) \right]$$

After applying the properties of the Fourier transformation (14) and (15), the spectrum of the time and frequency shifted envelope (23) becomes:

$$(27) \quad W_H(\omega) = \exp(-j\omega_0 t) \left[\frac{\sin((\omega + \omega_0)\tau)}{(\omega + \omega_0)\tau} + \frac{\sin((\omega - \omega_0)\tau)}{(\omega - \omega_0)\tau} + 0.5 \left[\frac{\sin\left(\left(\omega + \omega_0 + \frac{\pi}{\tau}\right)\tau\right)}{\left(\omega + \omega_0 + \frac{\pi}{\tau}\right)} + \frac{\sin\left(\left(\omega + \omega_0 - \frac{\pi}{\tau}\right)\tau\right)}{\left(\omega + \omega_0 - \frac{\pi}{\tau}\right)} + 0.5 \left[\frac{\sin\left(\left(\omega - \omega_0 + \frac{\pi}{\tau}\right)\tau\right)}{\left(\omega - \omega_0 + \frac{\pi}{\tau}\right)} + \frac{\sin\left(\left(\omega - \omega_0 - \frac{\pi}{\tau}\right)\tau\right)}{\left(\omega - \omega_0 - \frac{\pi}{\tau}\right)} \right] \right] \right]$$

The spectrum of the time and frequency shifted window function (24) becomes:

$$(28) \quad W_H[\omega] = \exp(-j\omega_0 t) \left(\begin{aligned} &0.5D(\omega + \omega_0) + \\ &+ 0.5D(\omega - \omega_0) + \\ &+ 0.25 \left[D\left(\omega + \omega_0 - \frac{2\pi}{N}\right) + \right. \\ &\quad \left. + D\left(\omega + \omega_0 + \frac{2\pi}{N}\right) \right] + \\ &+ 0.25 \left[D\left(\omega - \omega_0 - \frac{2\pi}{N}\right) + \right. \\ &\quad \left. + D\left(\omega - \omega_0 + \frac{2\pi}{N}\right) \right] \end{aligned} \right)$$

Time and frequency shifted signal and its envelope used for measurement in current paper are shown in Fig. 15.

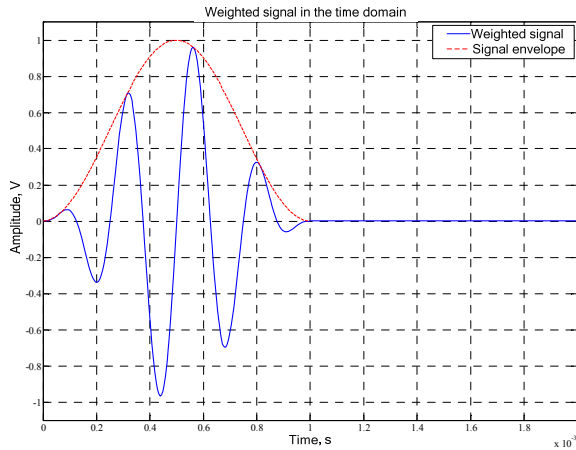


Fig. 15. The signal and its envelope used for measurement in this paper

The spectrum of the time and frequency shifted raised cosine window (signal envelope) is shown in Fig. 16.

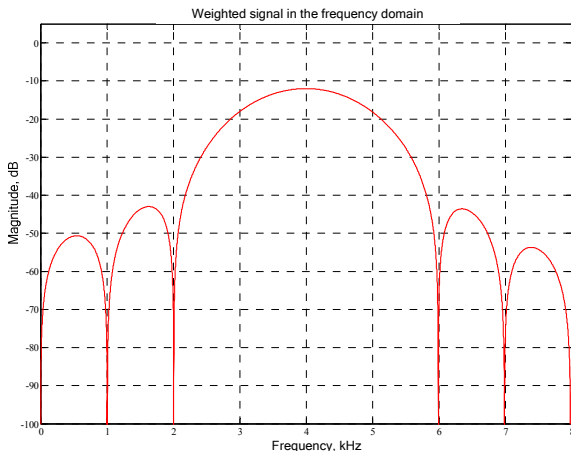


Fig. 16. Spectrum of the Hanning window

The use of such window contributes to the lower slew rate of the measurement signal, while maintaining its frequency. The latter protects the measuring system's mechanical parts - loudspeaker and microphone - from the onset of their inertia, both in the beginning and at the end of the measuring signal. The duration of the signal is determined by $t_{sig} < t_{direct}$ and depends on both - the configuration of the experimental design and the room's dimensions. The energy of the window function used is 75% of the energy of a conventional rectangular window [23], the duration of the package is twice as long (at 6 dB - the same). Furthermore, to achieve equality in terms of energy, the

amplitude of the package needs to be increased by a factor of 1,155. In the Hanning's window main lobe is concentrated 99.95% of the signal energy, while in the main lobe of rectangular window the percentage is 90.28% [23].

Results from practical measurements when the microphone and loudspeaker are in the positions presented in the first case are shown in Fig. 17.

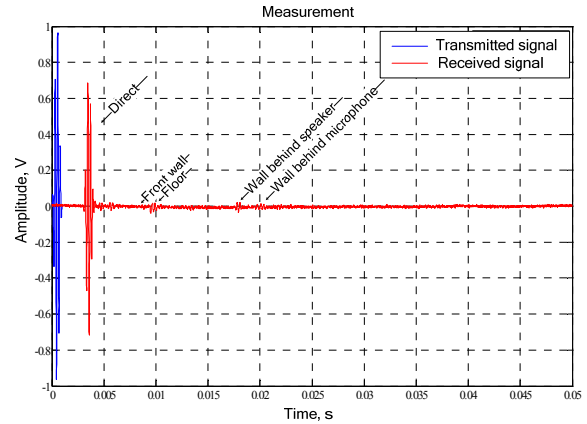


Fig. 17. Measurements - first case

Results from practical measurements when the microphone and loudspeaker are in the positions presented in the second case are shown in Fig. 18.

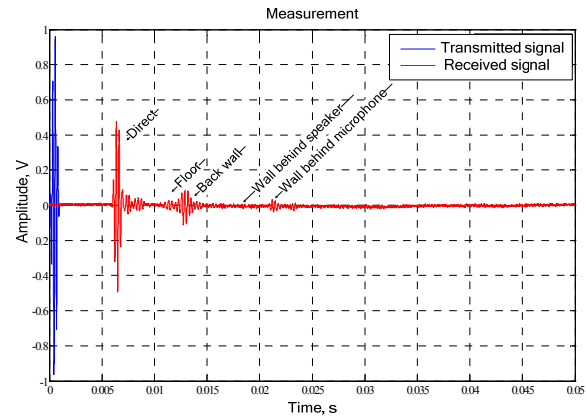


Fig. 18. Measurement - second case

3. CONCLUSION

From the results presented in Fig. 17 and Fig. 18 one can conclude that at 1 m distance there are almost no reflected signals, while at a distance of 2.06 m only primary reflections appear. The difference in amplitudes between the direct and the highest of the reflected signals at distance 2.06 m is 13.6 dB. The difference in amplitudes between the direct and the highest of the reflected signals at distance of 1 m is 26.4 dB.

There is a correspondence between the theory (shown in Figs. 10, 11, 13 and 14) and the results obtained from practical measurements (Fig. 17 and Fig. 18).

It can be assumed that the electromagnetic anechoic chamber at Technical University - Varna is suitable for electroacoustic measurements under the following conditions:

- measurements in the higher frequencies of the audible range (above 500 Hz);
- duration of the test signal ≤ 0.01 s - limited by the anechoic chamber physical dimensions;
- the ratio between the volumes of the measured object and the anechoic chamber - 1: 200 [8].

To get a better idea of the quality of electroacoustic measurements in an anechoic chamber in Figs. 19 ÷ 23 results

are compared when the measurement is not on-axis, respectively in an anechoic chamber and in a common room.

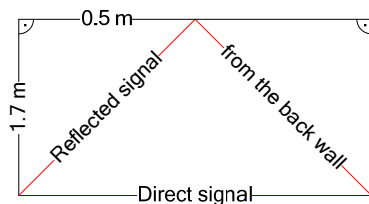


Fig. 19. On measuring the direct and reflected signal (not on-axis)

The first measurement's (Fig. 20 and Fig. 21) conditions are:

- microphone and loudspeaker are at 1 m distance from each other;
- measurement is not on-axis.

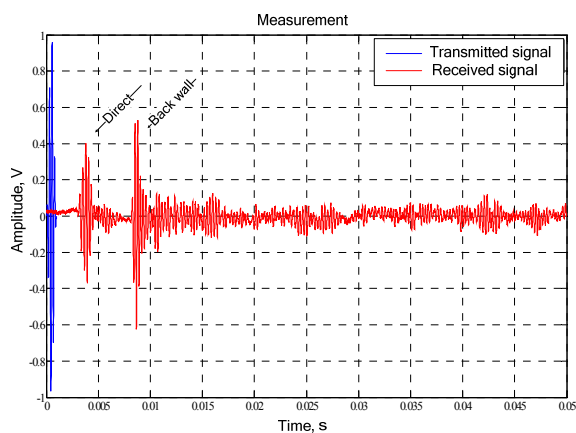


Fig. 20. Measurement in common room (1 m distance, not on-axis)

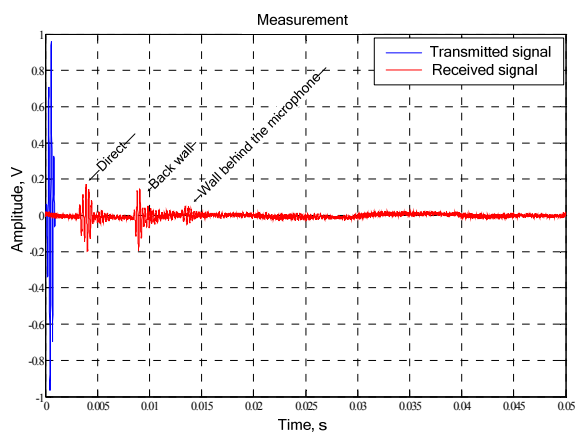


Fig. 21. Measurement in anechoic chamber (1 m distance, not on-axis)

In Fig. 22 and Fig. 23 results are shown when:

- microphone and loudspeaker are at 1.65 m distance from each other;
- measurement is not on-axis.

ACKNOWLEDGEMENTS:

The present paper is a part of scientific projects „Examination of electrodynamic antennas and acoustic transducers in a controlled environment”, sponsored by the Bulgarian Ministry of Education and Science, 2014.

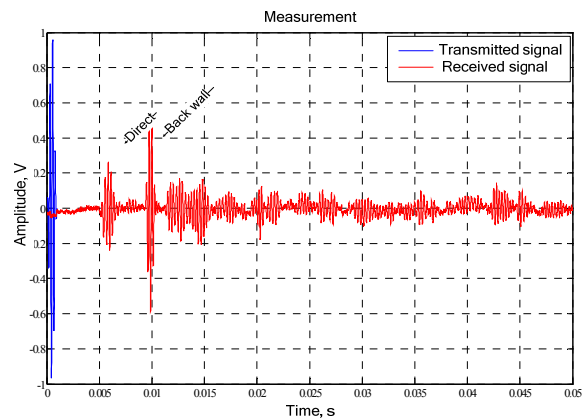


Fig. 22. Measurement in common room (1.65 m distance, not on-axis)

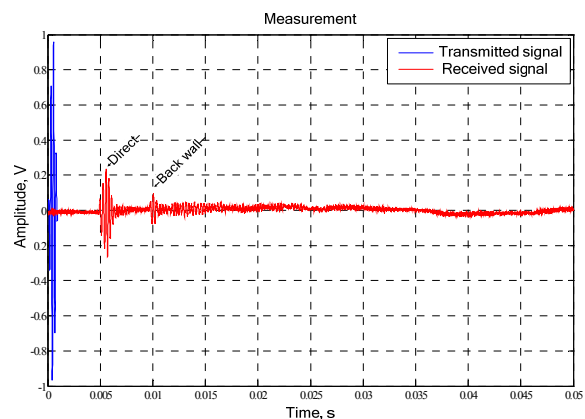


Fig. 23. Measurement in anechoic chamber (1.65 m distance, not on-axis)

REFERENCES:

- [1] Kirov, G., D. Mihaylova and A. Rahman. Some Studies of Circularly Polarized Broadband Aperture Coupled Microstrip Antennas. "Proceedings of Technical University of Varna", Vol. I, Varna, 2009, pp. 20-25;
- [2] Kamburov L. Method for analyzing the characteristics of the Fresnel type antennas. PhD autoreference, Varna, Technical university – Varna, 2012 (Bulgarian);
- [3] Chervenkov G. Investigation of directional short backfire antennas. PhD autoreference, Varna, Technical university – Varna, 2013 (Bulgarian);
- [4] Chervenkov G., L. Kamburov, G. Kirov. 40 years an anechoic chamber for automatic antenna measurements in Department of Communication Engineering and Technologies at Technical University of Varna, Journal "E+E", Bulgaria. (submitted for publication);
- [5] Kirov G., D. Mihaylova. Wideband circular polarized microstrip antenna whit resonance gap excitation. BPO. Patent application Reg. № 110 446/18.08.2009;
- [6] Chervenkov G., G. Kirov. Short backfire antenna whit multilayer printed peripheral screen. BPO. Patent application Reg. № 110 817/16.12.2010;
- [7] Kirov, G. S., G. T. Chervenkov, K. K. Abdoula. Circularly Polarized Microstrip Short Backfire antenna. BPO. Patent application Reg. No. 111 101/06.12.2011;
- [8] Rachev D., Bozilov G., Skordeva G. Noise and vibration of electric machines and transformers. Sofia, Technica, 1982;
- [9] <http://www.ritocn.com/UpLoad/20120825114653.pdf> (Accessed October, 2014);
- [10] <http://en.bsproduct.by/katalog/veschestva-i-materiali/proizvodstvenno-tehnicheskie/izoljacionnie-materiali/poglotitel-elektromagnitnih-voln-tora/> (Accessed October, 2014);

- [11] Allen J., D. Berkley. *Image Method for Efficiently Simulating Small Room Acoustics*. *J. Acoust. Soc. Of America*, pp 912-915, April 1979;
- [12] Kuttruff H. *Room acoustics*. New York, Taylor&Francis, 2009;
- [13] Rindel J. *The use of computer modeling in room acoustics*. *Journal of Vibroengineering* Vol. 3(4), pp 41-72, 2000;
- [14] Pedrotti F., L. Pedrotti. *Introduction to Optics*. Prentice-Hall International (UK) Limited, London, 2005;
- [15] McGovern S. *Fast image method for impulse response calculations of box-shaped rooms*. *Applied Acoustics*, Vol. 70.1, pp 182-189, 2009;
- [16] Polyanin A., A. Chernoutsan. *A Concise Handbook of Mathematics, Physics and Engineering Sciences*. Boca Raton, Taylor & Francis Group, 2011;
- [17] Sirakov E. *Electroacoustic*. Varna, Technical university – Varna, 2008 (Bulgarian);
- [18] Miller H. *3-dimensional acoustic measurements using gating techniques*, *Brüel&Kjær Application notes*, 17-163, 1976;
- [19] H. Zhivomirov, I. Iliev. *Generation of Measurement Signals with Matlab Implementation*. *Journal of Acoustics*, Vol. 15, pp 87-90, December 2013.
- [20] Miller H, T. Carsten. *Electro Acoustic free-field measurements in ordinary rooms using gating techniques*, *Brüel&Kjær Application notes*, 17-196, 1975;
- [21] Chu E. *Discrete and Continuous Fourier Transforms (Analysis, Applications and Fast Algorithms)*. Boca Raton, Taylor & Francis Group, 2008;
- [22] Harris F. *On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform*. *Proc. IEEE* vol. 66, pp. 51-83, Jan. 1978;
- [23] Prabhu K. *Window Functions and Their Applications in Signal Processing*. Boca Raton, Taylor & Francis Group, 2014;
- [24] Heinzl G., A. Rudiger, R. Schilling. *Spectrum and spectral density estimation by the Discrete Fourier transform (DFT), including a comprehensive list of window functions and some new flat-top windows*. Germany, Hannover, Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik, 2002;

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2014”	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

КОНЦЕПЦИЯ ЗА РЕАЛИЗИРАНЕ НА КАЛИБРАТОР ЗА НИСКОЧЕСТОТНИ УСИЛВАТЕЛИ

CONCEPT CALIBRATOR FOR CALIBRATION OF LOW FREQUENCY AMPLIFIERS

Иван Косев

Технически университет - Варна, България. E-mail: kosev_1988@abv.bg

Ментор: Христо Живомиров

Технически университет - Варна, България. E-mail: hristo_car@abv.bg

Abstract

In the current paper a concept of a calibrator for low frequency amplifiers are presented. This concept is inspired by a similar device, developed by Steave Meade Designs and D'Amore Engineering, respectively the Distortion Detector – 1. The DD-1 is founded entirely on an analog circuit, and it is designed to calibrate car audio equipment. The concept device, developed in this report aims to upgrade its predecessor and offer higher accuracy and a larger array of functions using the wide range of tools, provided by the program environment Matlab® and particularly by the Signal Processing Toolbox.

Keywords: amplifier, calibrator, distortion, Matlab®, measurement.

УВОД

В настоящия доклад е разгледана концепция за калибратор на нискочестотни усилватели. Тази концепция е вдъхновена от сходно устройство, разработено от Steave Meade Designs и D'Amore Engineering, съответно уредът Distortion Detector – 1 [1]. DD-1 е изцяло аналогово схемно решение, предназначено за настройка на автомобилно аудио оборудване. Концепционалният калибратор, разработен в този доклад, цели да надгради предшественика си и да предложи по-голяма точност и по-голям набор от функции.

В резюме, устройството е предназначено за измерване коефициента на нелинейни изкривявания (*total harmonic distortion, THD*) в аудио усилватели, с използване на сигнал с еталонна честота 1 kHz и ниво, съобразено с подходящото за конкретния усилвател [2]. Допълнително условие поставено при проектирането е устройството да работи и автономно. Обработката на резултатите от измерването, изчисляването и визуализацията на хармоничните изкривявания ще бъде осъществена с помощта на авторски програмен продукт, работещ в средата на Matlab®, като са използвани възможностите, предоставени от Instrument Control Toolbox [3] и Signal Processing Toolbox [4].

1. СЪЩНОСТ НА КОНЦЕПЦИЯТА И МЕТОД НА КАЛИБРАЦИЯ

На фиг. 1 е показана блок-схемата на калибратора. В основата му стои USB аудио интерфейс, разработен от фирмата Texas Instruments – PCM2902C. Интерфейсът се захранва от USB порта на компютър (стационарен или преносим) и ще играе ролята на опростено устройство за сбор на данни (DAQ) с аналогов вход/изход. Към неговият изход ще бъде поставен предусилвател, с две фиксирани нива на коефициента на усиление.

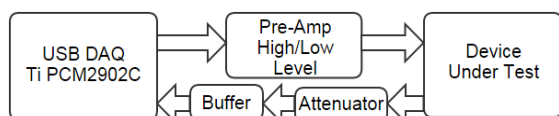
Тестовият синусоиден сигнал ще се генерира в програмната среда на Matlab® [5] като нивото и честотата ще бъдат прецизно зададени софтуерно. Сигналът ще бъде подаден към изследваното устройство (усилвателя), което ще бъде калибрирано. Успоредно на товарът, свързан към усилвателя се свързва атенюатор с предварително зададени нива на затихване в децибели (dB). Наличието на атенюатора е продиктувано от ниското входно напрежение на входа на аудио интерфейса. След атенюатора се намира буферно стъпало, с функция на амплитуден ограничител и галваничен разделител. Буферът цели да защити входа на DAQ-устройството от пренапрежение и да филтрира постояннотоковата съставна на сигнала. Ако максималното ниво на сигнала бъде превишено, той преминава в режим на ограничаване (*clipping*). Захранването на всички активни елементи от схемата ще бъде осъществено от повишаващ DC/DC преобразувател, който ще повиши захранващото напрежение до ниво, подходящо за захранване на устройството.

Калибраторът има два основни режима на работа: калибриране с тестов сигнал, подаден от калибратора и калибриране с тестов сигнал, възпроизвеждан от изследваното устройство. Първият режим е даден на фиг. 1. Тестовият сигнал генериран и изведен от аналоговия изход на DAQ-устройството, преминава през предусилвателя и бива усилен до ниво, съобразено с допустимото ниво на входа на изследваното устройство. След това, успоредно на товарът на изследвания усилвател се свързва веригата атенюатор, буфер, аналогов вход на DAQ-устройството.

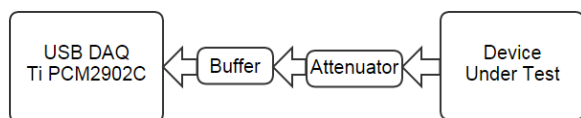
Процесът на калибриране се дефинира в следните стъпки. Управлението на коефициента на усиление на изследваното устройство, бива поставено на максимум. Нивото на тестовия сигнал бива променено софтуерно до детектиране на 0,5 % хармонични изкривявания в изходящия сигнал, уместно ново за висококачествени

усилватели на мощност [6]. При достигане на тази стойност се отбелязва нивото на входящия сигнал, при което изследваното устройство работи извън режим на ограничаване.

Вторият режим на работа е показан на фиг. 2. При този режим, тестовият сигнал е възпроизвеждан от изследваното устройство. Примери за такива устройства са: авто CD-плеъри, MP3 възпроизвеждащи устройства и пр. В този случай върху USB памет или оптичен носител се записват аудио файлове с еталонни параметри [7]. Калибраторът се свързва към товара по същия начин, както при първия режим и след това се процедира към калибриране. Към генераторът на тестовото устройство се зарежда файлът, съдържащ тестовия сигнал. Управлението на коефициентът на усилване бива поставено на минимум и при започване на калибрирането той бива повишен със съответната му стъпка. При достигане на 0,5 % хармонични изкривявания се отбелязва достигнатото ниво.



Фиг. 1. Блокова схема на постановката и първи режим на калибрация



Фиг. 2. Блокова схема на втория режим на калибрация.

2. СХЕМНИ РЕШЕНИЯ

В тази секция ще бъдат разгледани всички звена на концепционалното устройство, както и техните характеристики и функции.

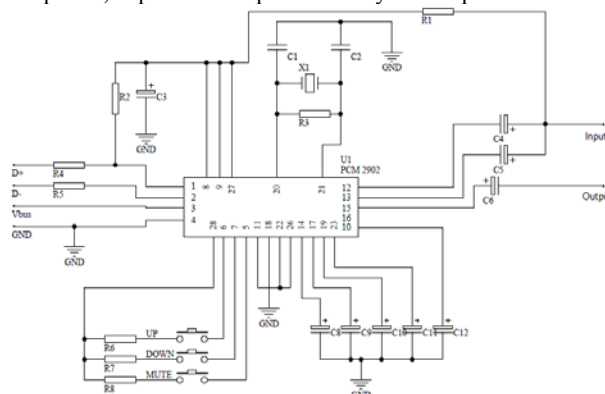
А) TI PCM2902

PCM2902 [8] е USB аудио интерфейс, разработен от Texas Instruments, отговарящ напълно на стандарта USB 2.0. Интерфейсът не изисква допълнителен софтуер за операция, т.к. работи на принципа SpAct™, разработен от TI, сходен с технологията Plug And Play. Устройството разполага с два аналогови изхода и един аналогов вход, както и управление на коефициента на усилване и функция Mute. Основните параметри на схемата са:

- Изходен преобразувател (DAC):
 - честота на дискретизация: 32000 ÷ 48000 Hz;
 - 16 bit DAC → ≈ 90 dB динамичен диапазон;
 - отношение сигнал-шум (SNR): ≈ 96 dB;
 - хармонични изкривявания (THD+N): ≈ 0,005 %;
 - тип на изхода – AC;
- Входен преобразувател (ADC):
 - честота на дискретизация: 8000 ÷ 48000 Hz;
 - 16 bit ADC → ≈ 90 dB динамичен диапазон;
 - отношение сигнал-шум (SNR): ≈ 89 dB;
 - хармонични изкривявания (THD+N): ≈ 0,01 %;
 - тип на входа – AC;
 - допустимо ниво на входа: ± 0.5 V.

В системата, устройството ще играе ролята на DAQ-устройство, което ще генерира тестови сигнал с предварително зададени параметри и ще извършва измерване на сигналите, получени от изследваното устройство. Примерна принципна схема е дадена на фиг. 3. Причината, поради която се използва отделен аудио интерфейс, а не вече наличният в съответния компютър е да се избегнат архитектурните разлики в различните

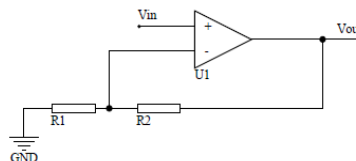
производители на звукови карти като: Realtek, Asus, Creative и др. Ако се използва вграденият интерфейс, то тогава калибраторът би имал нужда от индивидуална настройка, спрямо всяка различна звукова карта.



Фиг. 3. Схема на DAQ устройството

Б) Предусилвател

Схемата ще бъде реализирана с класически неинвертиращ усилвател (фиг. 4) с променлив коефициент на усилване, съгласно израз (1). Коефициентът на усилване ще бъде променян чрез манипулация на резисторите в обратната му връзка. Примерни интегрални схеми, подходящи за това приложение са висококачествените операционни усилватели LM4562 [9] и NE5532 [10], разработени от Texas Instruments. Целта на тази схема е да доведе изходящия сигнал на калибратора до стойност, съобразена с входа на изследваното устройство.

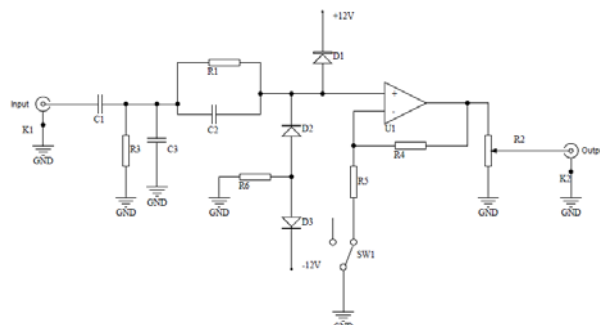


Фиг. 4. Схема на неинвертиращ усилвател

$$(1) \quad U_{out} = U_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right).$$

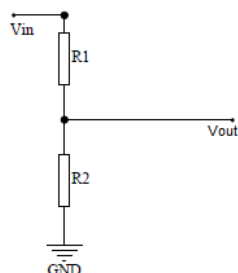
В) Буфер и атенюатор

Буферът и атенюаторът действат като защита на входа на интерфейса, както и като затихвател на входящия сигнал. Буферът (фиг. 5) цели да предпази входа на DAQ-устройството от напрежение с прекомерна стойност, да осигури галванично разделение на сигнала, както и да филтрира постояннотоковата съставна, като осигури голямо входно съпротивление на калибратора. Схемата ще се реализира на базата на усилвател, показан в [11], с приложение отново на LM4562 или NE5532.



Фиг. 5. Схема на буфера

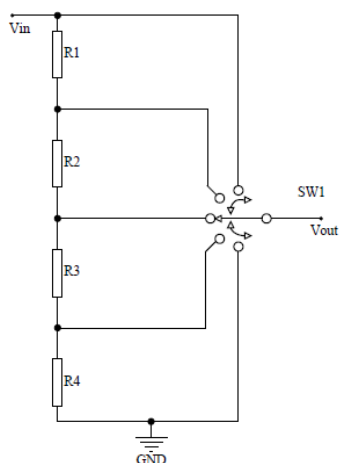
Атенюаторът е поставен с цел да ограничи амплитудата на входящия сигнал, до стойност, извън нивото на ограничаване. Примерна схема на фиксиран делител е представена във фиг. 6, а изчисленията се осъществяват, съгласно израз (2).



Фиг. 5. Схема на фиксиран атенюатор

$$(2) \quad U_{out} = U_{in} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right).$$

Атенюаторът (фиг. 6) ще се реализира с променливи стойности на затихване в децибели (dB), съобразени с изходящия сигнал от изследваното устройство, а комутацията ще бъде осъществена посредством галетен превключвател.

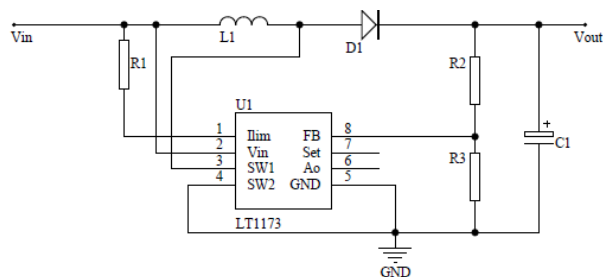


Фиг. 5. Схема на атенюатор с променливи нива на затихване

Г) DC/DC преобразувател

С цел постигане на автономност и портативност, захранването на активните компоненти в системата ще бъде реализирано чрез повишаващ DC/DC преобразувател, захранван от батерия. Пример за подобен преобразувател е LT1173 [12] (фиг. 7), разработен от Linear Technology. Максималното захранващо напрежение на преобразувателя е 12 V, а изходящото му напрежение – 24 V, с много ниска собствена консумация, което го прави подходящ за приложения, включващи захранване от батерии. Основните му параметри са:

- максимално входно напрежение в step-up режим: 12.6 V;
- максимална мощност на разсейване: 500 mW;
- максимален изходящ ток: 1.5 A;
- честота на превключване: 24 kHz;
- собствена консумация: 110 μA;



Фиг. 7. Схема на DC/DC преобразувателя.

3. ПРОГРАМНО ОСИГУРЯВАНЕ

Със средствата предоставени от програмната среда на Matlab®, е възможно обмяната (четене и запис) на информация от кой да е сериен порт на дадена компютърна конфигурация, в това число комуникация и с USB портовете. Това дава възможност за софтуерно надграждане на калибратора, което повишава гъвкавостта при използването му.

В средата на Matlab® се генерира и изпраща необходимия тестов сигнал, с предварително зададени параметри. След прочитане на постъпилите данни на входа на калибратора, данните постъпват за по-нататъшна обработка. Последната включва измерването на коефициента на хармонични изкривявания с използване на функцията thd от Signal Processing Toolbox, което ще се извършва динамично в реално време.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представения доклад се разглежда архитектурата и измервателната методика на аудио калибратор. Предстои физическа реализация на прототип, както и детайлно изследване на неговите звена и осъществяване на крайно изделие. Крайната цел на концепцията е да се реализира портативно автономно устройство, което да извършва прецизни измервания на аудио сигнали и калибрация на аудио системи с помощта на авторски програмен продукт, работещ в средата на Matlab®, като са използвани възможностите, предоставени от Instrument Control Toolbox и Signal Processing Toolbox.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. <http://www.damoreengineering.com/documents/Distortion%20Detector%20DD-1%20Ver.%205.pdf>
- [2]. D. Bohn. *Audio Specifications*. Mukilteo, Rane Corporation, 2000.
- [3]. *Instrument Control Toolbox User's Guide.pdf*. The MathWorks Inc, 2007;
- [4]. *Signal Processing Toolbox User's Guide.pdf*. The MathWorks Inc, 2014;
- [5]. Хр. Живомиров, И. Илиев. Генериране на измервателни сигнали с приложение на Matlab. Национална конференция с м.у. „Акустика I 2013“, 11 Октомври 2013, Варна / Списание Акустика, год. XV, бр. 15, стр. 87-90, 2013.
- [6]. D. Self. *Audio Power Amplifier Design Handbook*. Oxford, Focal Press, 2013.
- [7]. D. Keele, Jr. *Development of Test Signals for the EIA-426-B Loudspeaker Power Rating Compact Disk*. AES 111TH Convention, New York, September 21–24, 2001.
- [8]. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcm2902c.pdf>
- [9]. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm4562.pdf>
- [10]. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne5532.pdf>
- [11]. P. Horowitz, W. Hill. *The Art of Electronics*. Cambridge, Cambridge University Press, 1989.
- [12]. <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/lt1173.pdf>

	АКУСТИКА Национална конференция “Акустика 2014”	Варна 10 - 11.10.2014 г София 28 - 29.11.2014 г
Година XVI	□ Брой 16	Декември 2014 г.

КОМПЮТЪРНО МОДЕЛИРАНЕ НА РАБОТА НА АКТИВЕН СОНАР

COMPUTER MODELING OF THE PERFORMANCE OF ACTIVE SONAR

Илиян Веселинов Илиев
ВВМУ “Н. Й. Вапцаров”, ilieviliyan@ymail.com

Abstract

Sustainable operation of the sonar system depends on the signal used and the method of processing. The study of different signals in a real environment requires significant financial resources. The availability of powerful software platforms for computer modeling, LabView, MatLab possible to investigate systemic models of sonar working with different signals in the laboratory.

Keywords: model, sonar, CW signal, FM signal, machete filter

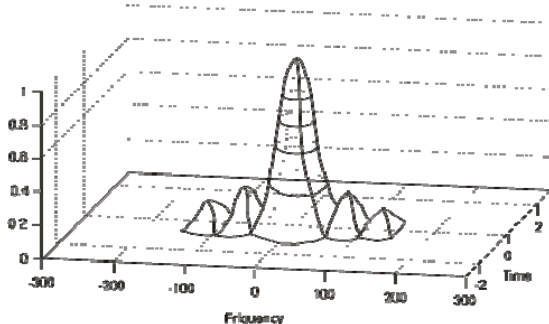
УВОД

Компютърният модел на активен сонар е предназначен за нагледно представяне на изходния честотно-временен сигнал на приемния канал в зависимост от вида на сигнала и отношението сигнал/шум (S/N) на входа. Решаването на тази задача изисква синтезирането на алгоритъм симулиращ работата на сонара в режим на излъчване на сондиращ сигнал и приемане на ехо-сигнала.

Въпреки многообразието на видовете сонари, които се използват за подводно наблюдение – еднолъчеви, многолъчеви, със страничен обзор и синтезирана апертура, всички те използват стандартни сондиращи сигнали и извършват пространствено-временна обработка на приетия ехо-сигнал.

Изборът на сигнал зависи от задачите, които решава сонара и условията, в които работи. Импулсен тонален сигнал (CW) се използва за откриване в условия на морски шум, докато в условия на силна реверберация по-шумозащитен е честотно-модулираният сигнал (FM). Двата сигнала позволяват да се измерват различни характеристики на подводните обекти – местоположение, курс, скорост.

Точността на тези характеристики зависи от остротата и страничните листи на изходния сигнал на приемния канал, който е пропорционален на честотно-временната корелационна функция на съгласувания филтър, фигура 1.



Фиг. 1. Общ вид на нормираната честотно-временна корелационна функция на изхода на съгласуван филтър.

Вида на корелационната честотно-временна функция зависи от това какъв сондиращ сигнал е използван и нивото и характера на шума. Тенелентовите сигнали имат висока

разрешаваща способност по скорост, но за разлика от сигналите с широка база притежават ниска разрешаваща способност по разстояние. В условията на шум изходният сигнал на оптималния филтър силно се изкривява, което превръща задачата за откриване в статистическа. [1]

Изследването на устойчивостта на изходния сигнал на оптималния филтър позволява да се определят границите му на приложимост в условията на шум.

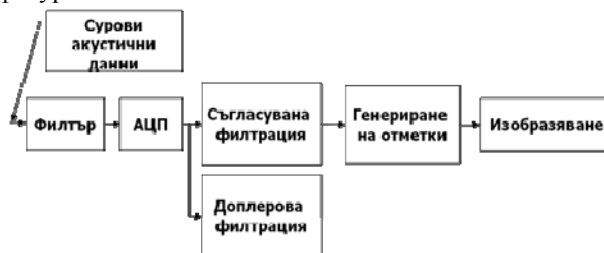
1. АЛГОРИТЪМ НА РАБОТА НА СОНАРНИЯ МОДЕЛ

Импулсните сонари излъчват сигнал с определена продължителност в пространствената диаграма на антената и приемат ехо-сигналите закъснели във времето, пропорционално на разстоянието им от антената, фигура 2. [2]



Фиг. 2. Сонарни диаграми на излъчване и приемане.

Приемният канал на сонара извършващ оптимална обработка на приетия ехо сигнал може да се представи със следната функционална схема, фигура 3.



Фиг. 3. Функционална схема на канала за временно-честотна обработка на приетия сигнал.

Суровите акустични данни постъпващи от антенното устройство се подлагат на предварителна обработка, включваща филтрация, усилване и аналого цифрово преобразуване с цел осигуряване на необходимия динамичен диапазон.

Съгласуваният филтър е процесор, който максимизира отношението сигнал/шум на изхода. Основната операция, която изпълнява филтърът, ако се обработват дискретни сигнали във временната област едискретната конволюция: [3]

$$(1) \quad y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k)h(n-k)$$

където, $h(n)$ е дискретната импулсна характеристика на филтърът.

Максималното отношение сигнал/шум на изхода на съгласувания филтър е:

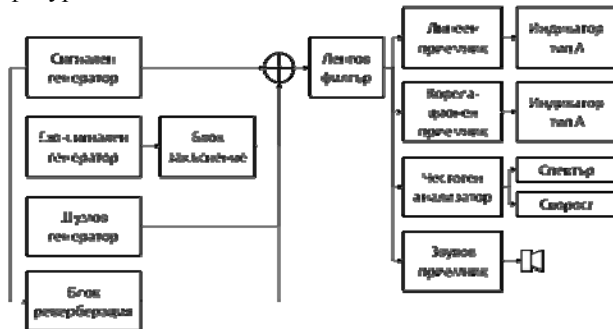
$$(2) \quad \left(\frac{S}{N} \right)_{\text{max}} = \frac{2E}{N_0}$$

където, E – енергията на сигнала; N_0 – спектралната плътност на мощността на шума.

Доплеровата филтрация се извършва за да се определи скоростта на движещите се обекти.

Изходният сигнал на съгласувания филтър след статистическа обработка се използва за генериране на отметки, които се изобразяват на индикаторно устройство позволяващо определянето на координатите им.

Описаната последователност на работа на сонара позволява да се състави следната блокова схема на алгоритъм за компютърна симулация показан на фигура 4.



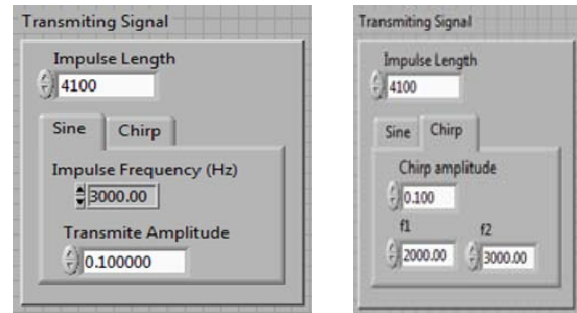
Фиг. 4. Блокова схема на компютърния модел.

Сигналният генератор симулира работата на предавателя. Той изработва радио импулси със зададена честота и модулация с честота на повторение една секунда. Тези сигнали се използват като опорни в блока на корелационния приемник. Ехо-сигналният генератор и блока за закъснение формират отразения сигнал. Влиянието на средата се симулира чрез шумов генератор и блок за реверберация. Сигналната смес представляваща сума от всички генерирани сигнали се подава като входен сигнал на четири каналния приемник. В канала на линейния приемник сигналът се подлага единствен на филтрация. В корелационния приемник сигналът освен на филтрация се подлага и на корелационна обработка. Извеждането на информацията на

различни индикатори позволява визуално да се сравнят резултатите от работата на двата канала в условия на смущения. Честотния анализатор на базата на FFT преобразува сигнала в честотната област, позволявайки да се определи спектъра и изместването му пропорционално на скоростта. Звуковият канал позволява прослушване на всички сигнали в процеса на симулацията.

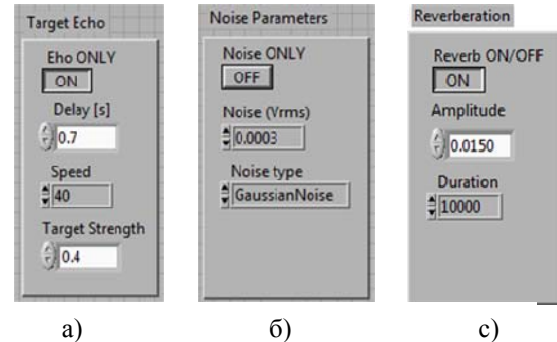
1.1. ПРОГРАМНА РЕАЛИЗАЦИЯ НА АЛГОРИТЪМА.

За реализация на гореописания алгоритъм е използвана програмната среда на LabView. Основните панели за управление са показани на фиурите по долу.



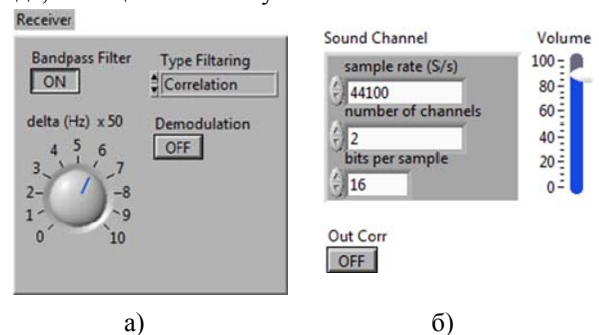
Фиг. 5. Панели за управление на сигналния генератор.

Основни параметри на сигналния генератор, които могат да се изменят са амплитудата, дължината на импулса, честота, девиация на честотата и модулацията.



Фиг. 6. Панели за управление на ехо-сигнала- а), шума – б) и реверберацията- с).

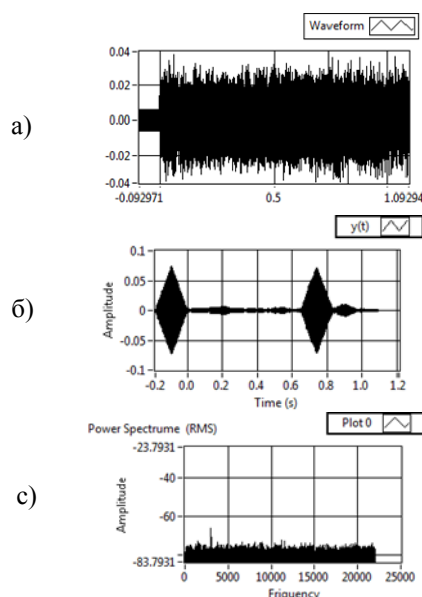
Управлението на тези обекти позволява да се изменя силата и времето на реверберация, сила на ехо сигнала, закъснение на ехо-сигнала, скорост на целта, вида, и мощността на шума.



Фиг. 7. Панели за управление на лентовия филтър - а) и аудио канала – б).

Панелите на фиг. 7 позволяват включване/изключване на лентовия филтър, задаване на честотната лента на ЛФ, включване/изключване на демодулацията, избор на операцията за корелиране и управление на звуковия канал.

Програмата извежда графична и текстова информация за работата на отделните канали. Графичната информация включва временна диаграма на сигнала и спектър на сигнала, фигура 8.



Фиг.8. Графика на изходния сигнал а) - линейния приемник, б) - корелационния приемник и в) - честотния анализатор.

В процеса на работа програмата изчислява отношението SINAD (Signal to Noise and Distortion) на входа и на изхода на корелационния приемник и честотата на ехо-сигнала, които се извеждат в текстови индикатори.

Отношението SINAD се изчислява по формулата:

$$(3) \quad \text{SINAD} = 10 \log \frac{E}{N}$$

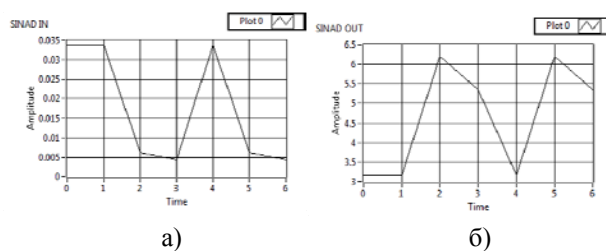
където, E – ефективната енергия на входния сигнал, N – ефективната енергия на сигнала намалена с енергията на фундаменталната честота.

2. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ.

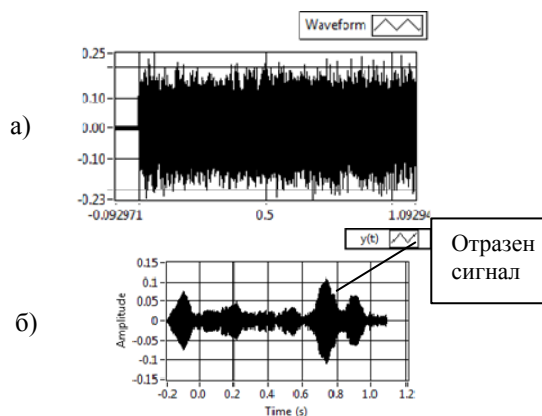
2.1. Изследване на устойчивостта на работа на корелационния приемник

С модела е изследвана работата на корелационния приемник с тонален сигнал в условия на Гаусов шум. Разгледани са два случая: полезен сигнал в условия на силен шум и полезен сигнал в присъствие на слаб шум.

На графики 9 и 10 са показани резултатите от работата на модела в условията на шум.



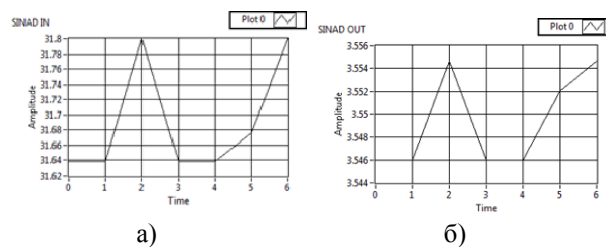
Фиг. 9. Графика на SINAD на входа на корелатора - а) и SINAD на изхода на корелатора – б) в присъствие на силен шум.



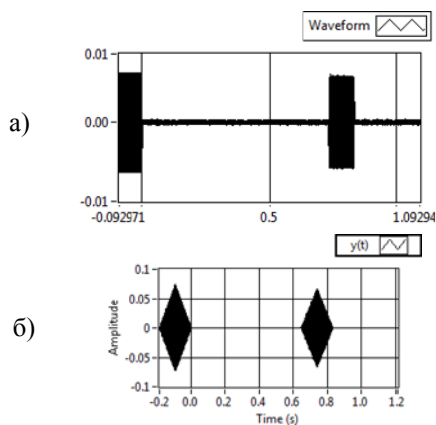
Фиг. 10. Графика на входния сигнал а) и сигнал на изхода на корелатора – б) в условия на силен шум.

От анализа на графиката на SINAD на изхода на корелатора, фиг.9 б), се вижда, че шумът предизвиква флуктуации на изходния сигнал, но като цяло той се колебае около едно средно ниво, в случая 3 dB. При това ниво на шума полезният сигнал не се открива от линейния канал, фиг. 10 а), но се наблюдава устойчиво на корелационния индикатор, фиг. 10 б).

На графики 11 и 12 са показани резултатите от работата на модела в условията на слаб шум.



Фиг. 11. Графика на SINAD на входа на корелатора - а) и SINAD на изхода на корелатора – б) в присъствие на слаб шум.



Фиг. 12. Графика на сигнала на изхода на линейния приемник - а) и сигнала на изхода на корелатора – б) в условия на слаб шум.

В условия на слаб шум полезният сигнал устойчиво се наблюдава и на индикатора на линейния канал, като нарастването на нивото на SINAD на входа не изменя средното ниво на SINAD на изхода на корелатора, но значително намалява случайните отклонения от това ниво.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеният компютърен модел нагледно показва измененията в работата на корелационния приемник в зависимост от външните условия и вида на използвания сигнал. Разработен на базата на математическия апарат от теорията на оптималната филтрация той позволява да се оценява поведението на корелатора при работа в гранични режими.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Боянов Б. Цифрова обработка на сигнали. Брягспринт – Варна, 2003.
- [2]. STN Atlas Elektronik, Hull Mounted Sonar System, BL 4013 G 940, Page 12, Issue 1.1.
- [3]. Алън Опенхайм, "Приложение на цифровата обработка на сигналите", ДИ "Техника", София, 1982 г.
- [4]. LabVIEW™ Help, June 2008, 371361E-01

ACOUSTICAL SYSTEM FOR SYNTHETIC IMAGING OF AN UNDERWATER OBJECT IN A HYDROACOUSTICAL TEST TANK

IVANOV P.V., KOLEV N. ZH,
NIKOLA VAPTSAROV NAVAL ACADEMY, VARNA.

ivanov5ar@abv.bg

nzkolev@abv.bg

Abstract

This paper describes an application of synthetic aperture method for imaging and location of objects with acoustic field. Experimental results for detection of a real object with this method in a test tank are presented.

Keywords: acoustic field, Fourier transform, synthetic aperture imaging

INTRODUCTION

When it is necessary to detect the presence of objects in a certain part of an area most commonly wave fields are used which can interact with such objects. But the information presented by this interaction should be done in a form convenient for perception. For this purpose a synthesis of understandable image is made. This image must match the impact of the object on the physical wave and contain the information from this interaction. Also, it must be a function of the spatial coordinates to determine the location of the interaction between the wave field and the object, which is present. In this way, the image must give the necessary information on the presence or absence of certain objects and their location in a given part of space.

1. AN ACOUSTICAL SYSTEM FOR SYNTHETIC IMAGING OF AN UNDERWATER OBJECT

The synthesis of the image of an object can be carried out using various algorithms, regardless of the physical nature of a particular wave field. The choice of such a field depends on the environment in which it will propagate, and the change, it will then undergo interacting with the objects in this environment. In the aquatic environment the acoustic field is mainly used because of very good propagation over long distances and the interaction with other objects can be found easily.

The aim of this study is to build a technical system to create acoustic field in a sonar test tank, to acquire measurement data and develop image synthesis signal processing algorithms.

1.1. A SYSTEM FOR ACOUSTICAL FIELD DATA ACQUISITION IN A TEST TANK

One of the tasks that must be solved in the beginning is to develop a system of hardware and software for creation of an acoustic field in the test tank to measure

the parameters of this field and data acquisition from these measurements. This system should be completely independent on what image synthesis algorithms are applied to these data.

System for acoustic measurements developed for this task includes the following elements:

- acoustical signals generator NI PXI-5402 (ASG);
- power amplifier BK 2713 (Amp);
- acoustical transmitter BK 8100 (Tx);
- acoustical receiver BK 8100 (Rx);
- preamplifier BK 2692 (Pre);
- signal digitizer NI PXI-5922 (SD);
- embedded controller kit NI PXI-8104 (ECK);
- motion control NI PXI-7330, NI UMI -7774, P70360-SDN (MC);
- stepper motor N33HRLGLEK-M2-00 (M);
- control and data acquisition software.

Block diagram of this system is presented in Fig. 1. It is composed of elements that are separate modules working together.

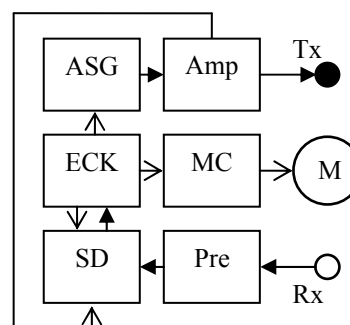


Fig. 1. Block diagram of the acoustical measurements system.

A system for acoustic measurements is developed using the universal transmission and reception console

PXI of National Instruments (NI). It is composed of rack and power supply NI PXI-1000B, embedded controller kit NI PXI-8104, digital signal generator NI PXI-5402, dual channel signal digitizer (receiver) NI PXI-5922, portable monitor accessory NI PMA-1115 and motion controller NI PXI-7330. The system additionally includes universal motion interface NI UMI - 7774, control unit for stepper motor P70360-SDN and stepper motor N33HRLGLEK-M2-00. Power amplifier BK 2713, two channel preamplifier BK 2692 and two hydrophone BK 8100 of Brüel & Kjær (BK) are added for transmission and receiving of acoustical signals.

The complete acoustic measurement system set is controlled by a main program created in LabVIEW, which uses separate subroutines for the management of each module.

Acoustical transmitter and receiver are located on the mobile platform at a same point of xy plane, parallel of the water surface, but at different depths. Their coordinates are respectively (x, y, z_T) and (x, y, z_R) . They are omnidirectional. In a working state pulse signals with a carrier frequency of 50 kHz, 0,1 ms duration and repetition period of 25 ms are fed to the transmitting hydrophone.

These electric signals are converted into acoustic and propagate in the water environment in all directions. The signal from the acoustic source comes first to the receiving hydrophone before all reflections from the water surface and the walls of the measuring pool. After the direct pulse for some time there are no acoustic signals present, while the first reflected signal from one of the boundaries arrives. Then come multiple reflections. This means that only within this time interval between the direct signal and the first reflection a reflected signal from an object located in the measuring test tank can be seen.

To synthesize a sonar image of an underwater object it must be located in the measuring pool at a certain point (x_0, y_0, z_0) , so that the received reflected signals during the measurement are not masked by other reflections from the boundaries.

The layout of the site and the movement of the receiver and the transmitter into the sonar test tank are presented in Fig. 2.

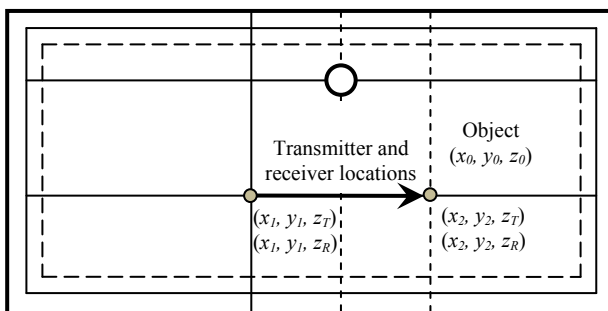


Fig. 2. Layout of the positions of the object, transmitter and receiver at the test tank and trajectory of their movement.

Platform with mounted transmitter and receiver hydrophones is driven straight and at a constant speed V_m by a stepper motor, controlled programmatically.

When the platform moves along a predetermined trajectory, a series of short rectangular pulse modulated with ultrasonic frequency are fed to the radiating hydrophone, and the digitizer converts analog signals from the receiving hydrophone in digital form. Digitizer has an internal memory which accumulates received and converted into numbers signals. He receives a synchronization signal from the power amplifier during the transmissions of each pulse and accumulates a certain number of digital samples. After that the accumulated measurement data in the board memory is written to an external disk file.

The number of transmitted acoustic pulses is set in the main control program. The number of recorded samples after each pulse is also set. Data from this file is used to create a two-dimensional signal matrix with number of rows corresponding to the number of transmitted pulses and the number of columns - the number of samples after each pulse.

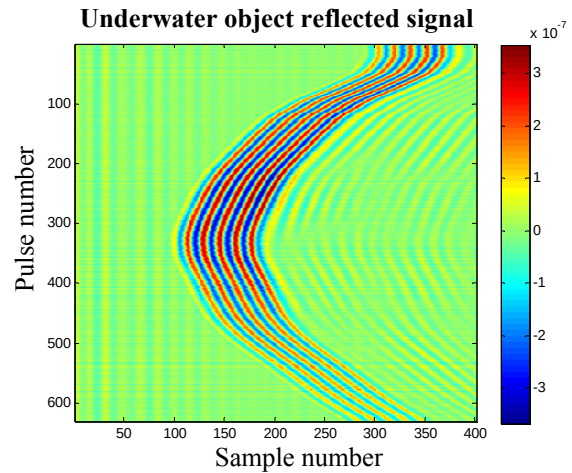


Fig. 3. Presentation of the echosignal from a single object into 2-d matrix form.

Data from this matrix is used for the synthesis of the image. Every matrix is saved as a separate file. In Fig. 3 the matrix signal reflected from a single submerged object is presented.

1.2. ALGORITHMS FOR PROCESSING OF THE RECEIVED ACOUSTIC SIGNALS AND SYNTHESIS OF AN IMAGE OF THE UNDERWATER OBJECT

There are many ways to synthesize an image by signal processing of acquisition data from several consecutive periods of the monitoring space. In early publications were considered methods of Doppler filtration, antenna approach, matched filtration [1]. First the antenna approach will be discussed, a method of synthesizing an image which is easy to implement

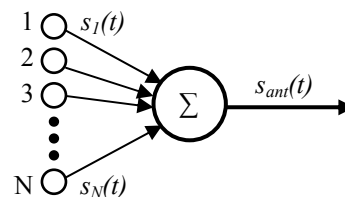


Fig. 4.A block diagram of equidistant linear array with inphase summation of the signals

Directional antennas are used for reception of weak signals from distant objects in radars and sonars. The action of these antennas is described by the same mathematical expressions, independently of the physical nature of acoustic and electromagnetic waves.

One of the most used directional antennas is the equidistant linear antenna array with inphase summation of the signals. A diagram of such an antenna which has N elements is represented in Fig. 4.

The following expression describes the function of such antenna system:

$$(1) \quad s_{ant}(t) = \sum_{n=1}^N s_n(t),$$

where $s_n(t)$ is the received signal from an arbitrary antenna element, $s_{ant}(t)$ is the total signal from the joint contribution of all elements.

If this approach is applied to the data from the 2D signal matrix, using only N rows, synthesized signal corresponding to the row $N/2$ can be build.

$$(2) \quad s_n(\kappa) = \sum_{i=n-N/2}^{n+N/2} s_i(\kappa),$$

where: N is the number of pulses of the synthetic aperture, n is the current number of the row. A new 2D matrix of the synthetic image is created with N rows less.

In the measurement the sampling frequency of the analog signal, the start point, end point and speed of motion of the hydrophones, the number of emitted pulses and also the period of their repetition are preset. This allows placement of linear spatial coordinates in the two axes of constructed image. A synthetic image of a single underwater object with coordinates: $x = 0,630$ m; $y = 2,948$ m; $z = 1,390$ m constructed by the method of the antenna approach is presented on Fig. 5.

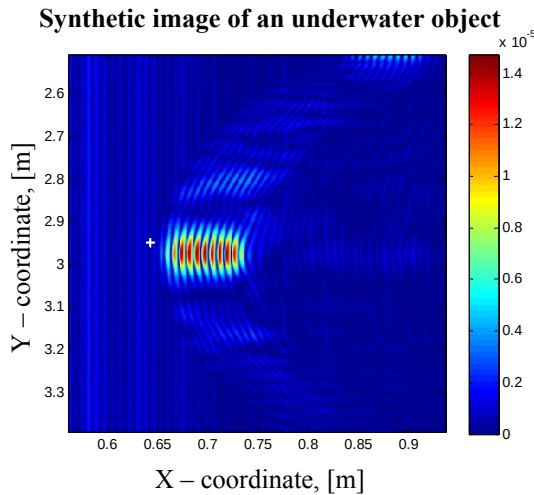


Fig.5. Synthetic image of a single underwater object.

There are other ways to synthesize an image in processing systems, but by their nature they are implementation of the optimum receiver theory [2]. The synthetic image is described by the expression:

$$(3) \quad J_i(\eta) = \left| J_i(\eta) \right| = \left| \int_{-T/2}^{+T/2} \xi_i(t+\eta) \dot{h}(t) dt \right|,$$

where $J_i(\eta) = J_i(\chi/V)$ is the signal corresponding to the image, $\dot{J}_i(\eta)$ is the signal at the output of the linear part of the processing system, T is the period of the synthetic imaging, $\dot{h}(t)$ is the reference function, η and χ are time and spatial displacement (axis X) between signal $\xi(t)$ and reference function $\dot{h}(t)$, representing coordinates of the image. The reference function represents the reflected from a point target phase referenced signal:

$$(4) \quad \dot{h}(t) = H(t) \exp[j\Phi(t)], \quad \Phi(t) = \omega_0 \left[t - \frac{2r(t)}{c} \right] + \varphi_0,$$

where $H(t)$ is a real weight function, dependent from the used approach for synthesis, and $\Phi(t)$ – the phase of the reference function.

Through a formal exchange of variables $t_1 = -t$ ratio (3) can be converted to an expression of convolution type:

$$(5) \quad J_i(\eta) = \left| \int_{-T/2}^{+T/2} \xi_i(\eta - t_1) \dot{g}(t_1) dt_1 \right| = \left| \int_{-T/2}^{+T/2} \xi_i(\eta - t) \dot{h}(t) dt \right|,$$

where $\dot{g}(t) = \dot{h}(-t)$ is the pulse response function of the synthetic aperture system. In side scan mode the reference function will be even and $\dot{g}(t) = \dot{h}(t)$.

From the theory of the signals is known that the convolution in the time domain is equivalent to the multiplication operation in the frequency domain. Therefore, the received signal $s(t)$ in the time domain is Fourier transformed and its frequencies spectrum $S(\omega)$ is determined.

$$(6) \quad S(\omega) = F\{s(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \exp(-j\omega t) dt,$$

where $F\{\bullet\}$ is the Fourier transformation operator.

The reference signal is subject to the same processing.

$$(7) \quad H(\omega) = F\{h(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t) \exp(-j\omega t) dt,$$

In order to construct the image $J(t)$ the two spectrums $S(\omega)$ and $H(\omega)$ are multiplied (8) and Fourier inverse transform is applied (9):

$$(8) \quad J(\omega) = S(\omega)H(\omega),$$

$$(9) \quad J(t) = F^{-1}\{J(\omega)\} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} J(\omega) \exp(j\omega t) d\omega,$$

For the practical realization of this method is important to create a reference function $\dot{h}(t)$, which corresponds to the point target reflected signal. The signal that is generated by the generator and transmitted as an acoustic field in space can be expressed in the form:

$$(10) \quad u(t) = \sum_{k=1}^K U(t - kT_r) \exp\{j\omega_0(t - kT_r) + j\varphi_0\},$$

where $U(t - kT_r)$ is the envelope of the transmitted pulse, φ_0 – its phase, T_r repetition interval, and K is the number of the transmitted pulses during the observation time and equals to the number of rows in the signal matrix. The

envelope of the transmitted pulse is rectangular function given with the expression:

$$(11) \quad U(t - kT_r) = U_0 \text{rect} \left[\frac{t - kT_r}{T_p} \right],$$

where U_0 is the transmitted pulse signals amplitude, T_p is the pulse width.

An important feature of the reference function is its change in angle and distance because it contains the phase information of the signal (4). Therefore, the weighing function $H(t)$ must repeat the envelope of the transmitted signal and has the form:

$$(12) \quad H(t) = H_s(t - kT_s) = H_0 \text{rect} \left[\frac{t - kT_s}{T_p} \right],$$

where $H_s(t - kT_s)$ is the pulse reference function, T_s is the repetition period of the function, and H_0 is the amplitude.

The impulse reference function is a window in the time domain within which the image synthesis is accomplished according to (5). In order to synthesize images in the entire range of distances for which this system is designed, this window must be generated repeatedly with phase change as a function of the different distance of a particular step.

$$(13) \quad \Phi(t) = \Phi_s(t - kT_s) = \omega_0 \left[t - \frac{2r(t - kT_s)}{c} \right] + \varphi_0,$$

where $\Phi_s(t - kT_s)$ is the phase of the reference function, with initial phase φ_0 .

The common expression of the reference function will be the sum of all particular functions synthesized for any distances within the working range of the system.

$$(14) \quad \dot{h}_s(t - kT_s) = H_s(t - kT_s) \exp \{ j\Phi_s(t - kT_s) \},$$

$$(15) \quad \dot{h}(t) = \sum_{k=1}^K \dot{h}_s(t - kT_s),$$

where K is the step number which covers the whole working distance range.

After substitution of (15) into (5), and performing a mathematical transformation to yield:

$$(16) \quad J_i(\eta) = \left| \sum_{k=1}^K \int_{-T/2}^{+T/2} \xi_i(\eta - t) \dot{h}_s(t - kT_s) dt \right|,$$

In a similar manner is obtained the image $J(t)$, by multiplying the spectra of the signal and the reference function:

$$(17) \quad J(t) = \sum_{k=1}^K F^{-1} \{ S(\omega) H_k(\omega) \},$$

where: $H_k(\omega) = F \{ \dot{h}_s(t - kT_s) \}$ is Fourier transform of the reference function, derived every one distance.

A synthesized image of a single submerged object coordinates: $x = 0,630$ m; $y = 2,948$ m; $z = 1,390$ m by the method of matched filter receiver with reverse Fourier transform of the sum of the multiplied spectra of the signal and the reference function by applying expression (17) is represented on fig. 6.

2. RESULTS AND DISCUSSION

Fig. 3 represents a signal matrix obtained as a result of the performed measurement. The signal reflected from a single submerged object received during the measuring platform motion with mounted transmitter and the

receiving hydrophone motion is seen. In this figure a shortcoming in the mechanical attachment of the hydrophones is clearly observed.

They are attached to a rope with weight and during the start of motion have some momentum, while maintaining its position unchanged during the transmission of the first few pulses. This attachment is necessary because the use of hard mechanical connection between the hydrophones and platform and the generated pulses are transmitted to it and it vibrated long after their termination. These vibrations of the platform going to the receiving hydrophone are masking signals reflected from the object. In uniform motion hydrophones waver slightly around its equilibrium position, but it had no effect on the received synthesized image. Only difference was observed between the position of the object and the maximum values of the synthesized image along the coordinate axis of movement. This problem can be solved by using an additional system to measure the exact location of hydrophones [3].

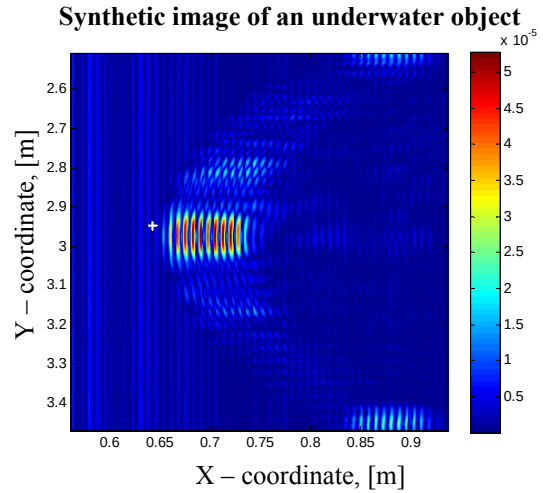


Fig. 6. A synthetic image of a single underwater object

Fig. 5 and Fig. 6 shows two synthesized images of a single underwater object that has the shape of a cylinder with a diameter $D_{obj} = 76$ mm. They are implemented by a signal matrix in the same length of the synthetic aperture $L_{sa} = 76,3$ mm containing 50 rows of this matrix but using different algorithms. The object itself is relatively large for simulating point target because $D_{obj} \approx 5\lambda$. This makes it impossible to assess the cross range resolution of each method. Furthermore, the object is located too close to hydrophones of acoustic measuring system and comparison of the advantages of each method could not be made.

CONCLUSION

The following conclusions can be drawn from the analysis of the results:

1. Although for the accumulation of the acoustic field data omnidirectional transmitter and receiver were used, the synthesized image of the underwater object corresponds to such as would result from the use of directional acoustic system.

2. Synthesized by the antenna approach method image is generated much more quickly, because less mathematical operations are used.

3 Synthesized reference signal which is used to create an image by the method of matched filter has a high degree of compliance with the real signal reflected from the object.

4. Shaking of the hydrophones around their equilibrium position, which is characteristic of acoustic systems that work in real conditions has no significant impact on the received synthesized image.

5. The use of a scrolling time window in creating the reference function (15) allows the synthesized image by the method of the matched filter to be focused within the entire range of all working distances of the system.

In this study results from experiments are presented conducted in the acoustic test tank of N. Vaptsarov Naval Academy. For their implementation opportunities were used to create acoustic field and measure it's variation in the volume of the test tank..

Non-directional sound pressure transmitter and receiver (hydrophones) were mounted on a mobile platform, which can be controlled programmatically. Joint work of the acoustic measurement system and mechanical motion system on preset trajectory provides great opportunities for providing a wide range of experiments under conditions close to reality.

Synthesized two-dimensional image contains information about the location of an underwater object, nevertheless for the data acquisition omnidirectional hydrophones working in transmission and reception modes are used. From the measured sound pressure level the target strength of this object can be estimated.

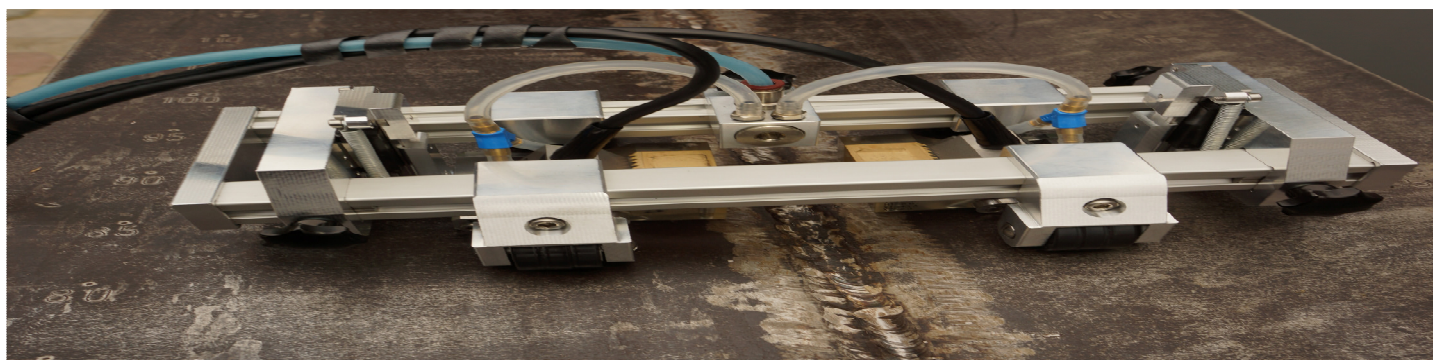
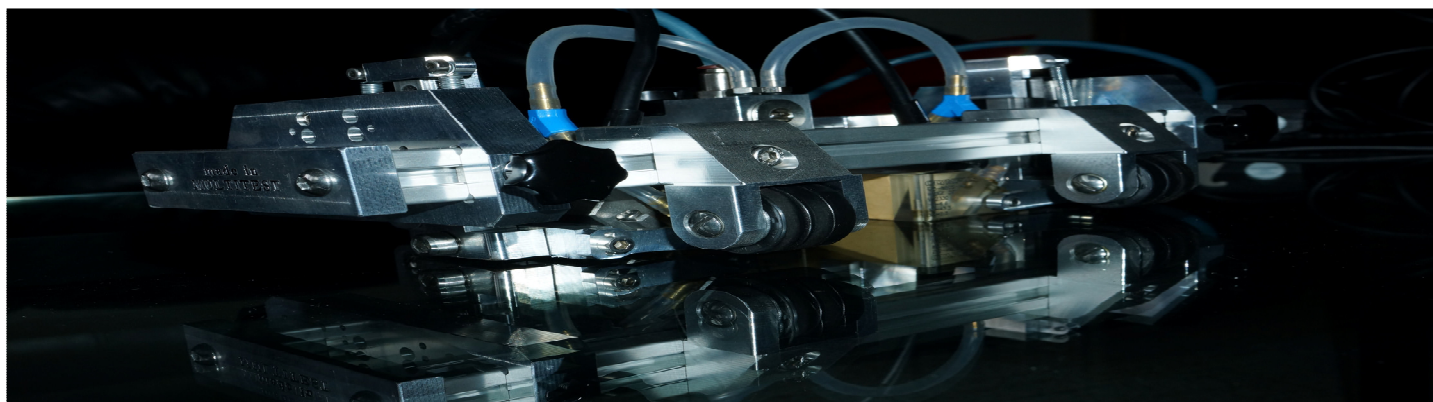
This acoustical measurement system is fully operational and could be the basis for the creation of sonar for underwater surveillance. This system can be developed to create a three-dimensional model of the observed space.

REFERENCES

- [1]. Verba V.S., Neronskiy L.B., Osipov I.G., Turuk V.E. *Space-borne Earth Surveillance Radar Systems. Edited by Prof. V.S. Verba.* – M.: Radiotekhnika, 2010 – 680 pp.
- [2]. *Радиолокационные станции с синтезированием апертуры антенны* / В. Н. Антипов, А. Н. Кулин и др.; Под ред. В. Т. Горяинова. – М.: Радио и связь, 1988 – 304 с.
- [3]. Ivanov P., Kolev N., *Localization of an underwater object with hydroacoustic multistatic system, National conference "Acoustics 2011", Vol. 13, December 2011, pp.35-40'*

КОНТРОЛ ПО МЕТОДА ФАЗОВА РЕШЕТКА НА ЧЕЛНО ЗАВАРЕНО СЪЕДИНЕНИЕ (ПЛАНКА)

ПАВЕЛ ЧУКАЧЕВ



ОБЩ ВИД НА АПАРАТУРАТА ЗА КОНТРОЛ

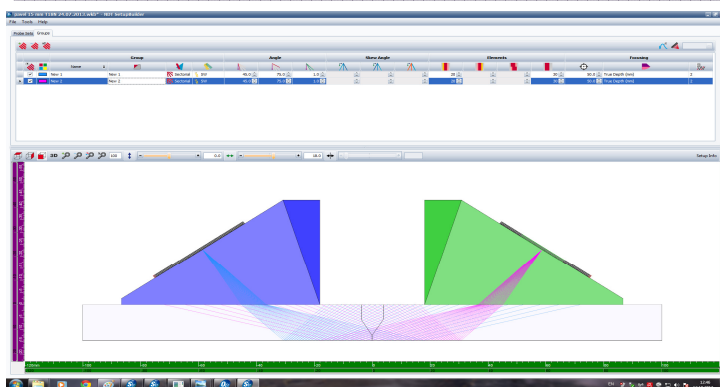
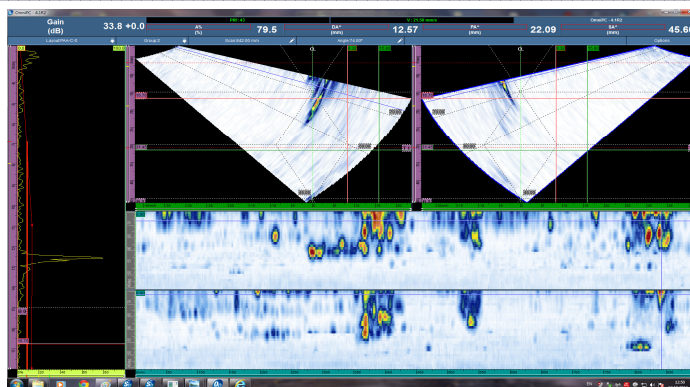


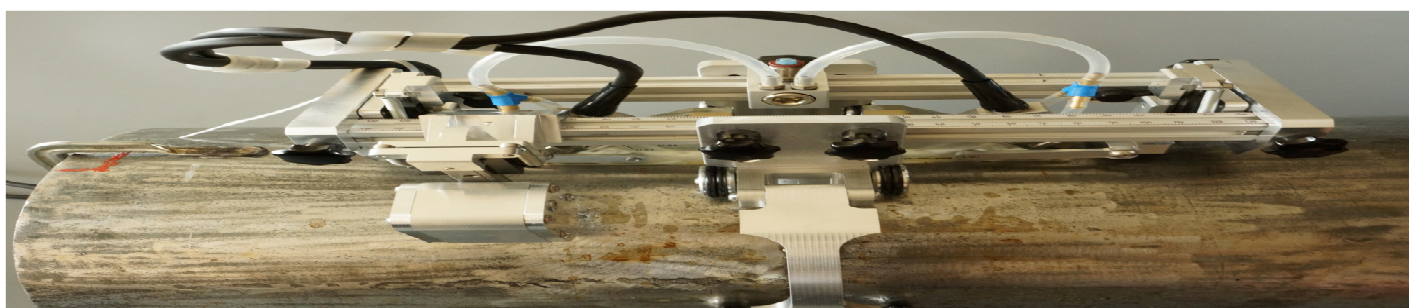
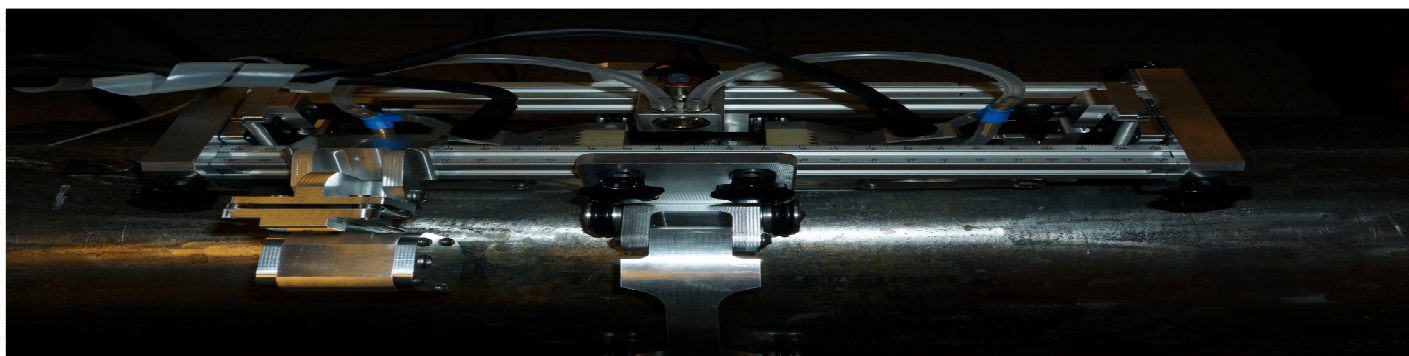
СХЕМА НА КОНТРОЛА



РЕЗУЛТАТИ ОТ КОНТРОЛА

КОНТРОЛ ПО МЕТОДА ФАЗОВА РЕШЕТКА НА ЧЕЛНО ЗАВАРЕНО СЪЕДИНЕНИЕ (ТРЪБА)

ПАВЕЛ ЧУКАЧЕВ



ОБЩ ВИД НА АПАРАТУРАТА ЗА КОНТРОЛ

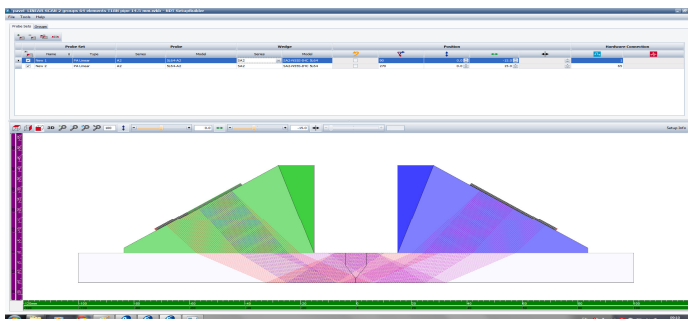
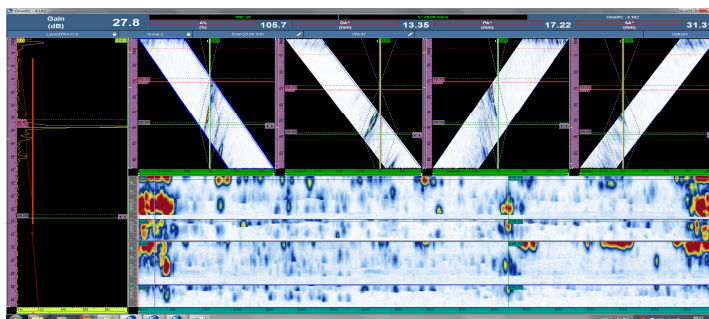
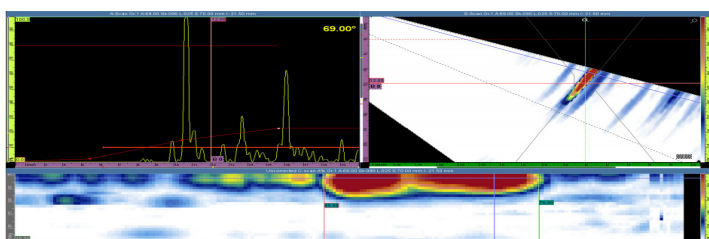
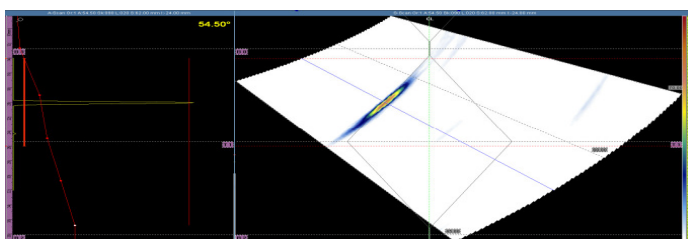
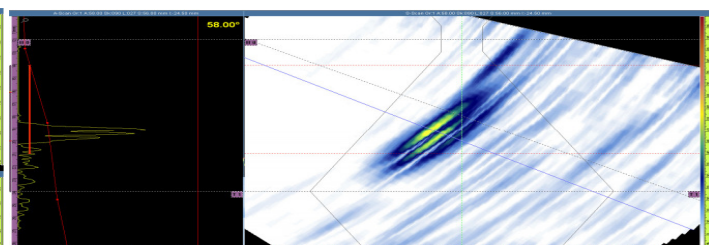
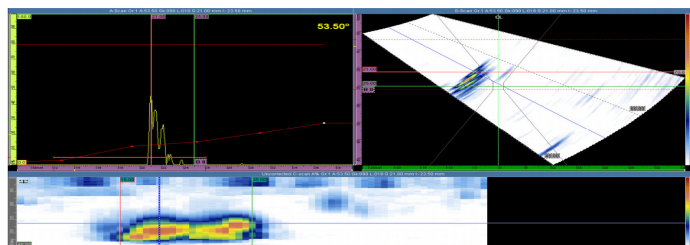


СХЕМА НА КОНТРОЛА



РЕЗУЛТАТИ ОТ КОНТРОЛА



РЕЗУЛТАТИ ОТ КОНТРОЛА

ПРОИЗВОДСТВО, ИНЖЕНЕРИНГ И ДОСТАВКИ НА ЦЯЛОСТНИ РЕШЕНИЯ И ОБОРУДВАНЕ

- системи за мониторинг на шум, вибрации, процес-параметри, вибрационни изпитания
 - вибрационен контрол и мониторинг
- мониторинг и контрол на сеизмични параметри, вибрации на сгради, промишлени и строителни обекти
 - микроклимат, газови емисии
- ултразвуково безконтактно измерване на дебит, утечки



Преносими шумомери и акустични анализатори



Многоканална, мултипараметърна и многозадачна система за шум и вибрации, PULSE LAN-XI



Преносими и стационарни терминали за мониторинг на шум, вибрации и параметри на околната среда



Преносими вибрационни анализатори и вибромери



Системи за звуков интензитет, звукова мощност и оценяване на шумови източници



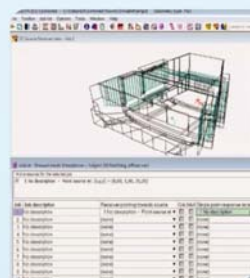
Системи за постоянен мониторинг и виброконтрол на въртящи се машини и съоръжения



Безконтактно ултразвуково измерване и контрол на дебит



Вибрационни и сеизмични мониторингови системи



Акустичното моделиране в строителната акустика. Акустика на помещения

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

spectri!
Специалисти по шум и вибрации



www.spectri.net