



*Приета: 18.03.2016 г.  
Преработена: 11.04.2016 г.  
Одобрена: 22.04.2016 г.*

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ НА ЛАБОРАТОРНА ЗВУКОИЗОЛИРАНА КАМЕРА ЗА ОЦЕНКА НА ШУМОИЗО- ЛАЦИЯТА НА СТРОИТЕЛНИ ЕЛЕМЕНТИ

С. Джамбова<sup>1</sup>, Ц. Недков<sup>2</sup>, И. Христов<sup>3</sup>

*Ключови думи: звукоизолация, звукоизолирана камера*

### РЕЗЮМЕ

Подобрена и окончателно завършена е лабораторна умалена звукоизолирана камера за оценка на шумоизолацията на строителни елементи за изследователски и учебни цели. Експериментите показват степен на звукоизолация на преградните стени на камерата  $R_w \sim 60$  dB. Установена е процедура за измерване на загуба на звуково налягане през образци от строителни материали като OSB, гипсокартон, плексиглас и листов стомана. Резултатите са валидни за честота на звука над 1000 Hz. Предстои измерване на времето на реверберация на приемащото помещение, както и оценка на честотата на вълновото съвпадение на строителни елементи.

### 1. Въведение

Експерименталната оценка на звукоизолацията на строителните елементи е важна от няколко аспекта:

#### – За по-добър комфорт на живот

Борбата с вредните въздействия на шума е борба за повишаване на комфорта на живот. Качеството на живот е основна тема не само в европейските програми Хоризонт

---

<sup>1</sup> Светлана Джамбова, доц. д-р, кат. „Физика”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: std\_fhe@uacg.bg

<sup>2</sup> Ц. Недков, докторант, ТУ, София, e-mail: tsvetan\_nedkov@abv.bg

<sup>3</sup> И. Христов, докторант, ТУ, София, e-mail: i.hristev@stivox.com

2020 (като част от темата „Интелигентни градове и общества“), но е и сред приоритетите на МОН и ФНИ. Отлични резултати има в областта на топлоизолацията и енергийната ефективност, но по отношение на звуковия комфорт има още много да се желае.

### **– За архитектурно-строителната практика**

В архитектурно-строителната практика на шумоизолацията се обръща внимание при изграждането главно на специализирани помещения (близо до летища, магистрали, производствени помещения, диспечерски кабинни и др.). И тогава слоевете на преградните елементи се полагат по метода на пробите и грешките, докато нежеланият шум затихне вътре в помещението или зад екрана. По-често срещаният шум от бани и асансьори в обществени и жилищни сгради е напълно пренебрегван и се смята за нормален.

Производителите на материали имат често в каталозите си данни на индекса на звукоизолация на материалите, но в практиката се използват комбинации от материали, например стени тип сандвич, които имат общ индекс на звукоизолация, различен от сбора на индексите на участващите материали.

Това също изисква измерването или поне оценка на звукоизолацията на строителните елементи.

### **– Като задължителна проверка за всеки теоретичен метод на изчисление**

Използването на звукоизолирани камери за практическа проверка на параметрите на преградни елементи е от изключително значение за строителната акустика. Поради значителните отклонения на изчисленията за загуби при преминаване на звукова енергия, тестовите измервания са важна част от изследванията на свойствата на материалите. Съществуват достатъчен брой методи за изчисляване на единични, двойни и многослойни прегради, които дават точни резултати в определени честотни диапазони. Също така повечето методи определят и диапазона на резонансната честота и честотите на вълново съвпадение. Трудности при теоретичните изчисления има и при събирането на точни стойности за определени параметри на конкретния материал (модул на еластичност, коефициент на Поасон, коефициент на вътрешни загуби). Също така загубите при преминаване на звукова енергия зависят и от определяне на граничните условия на елемента, ъгъла на падане на звуковата вълна, атмосферните условия. Поради изброените особености експерименталните измервания на образци са важна задължителна проверка за всеки един използван метод на изчисление.

### **Сертифицираното измерване на звукоизолацията на материалите включва:**

– Сертифицираните измервания на индекса на звукоизолация от въздушен шум изискват звукоизолирана камера с обем минимум  $50 \text{ m}^3$ . В България в момента има една такава лаборатория за измерване на шумоизолацията и измерванията с нея са доста скъпи и трудно достъпни.

– Стандартът, който описва изискванията към шумозаглушителните камери е EN ISO 140 – 1:1997 [1]. В него са описани изискванията към размерите на тестовите образци за преградни стени, врати, прозорци и подове. Площта на вертикални преградни елементи трябва да бъде между  $10$  и  $20 \text{ m}^2$  и минималната дължина на едната от страните –  $2,30 \text{ m}$ . Може да се използва изпитвателен отвор с по-малка площ, ако дължината на вълната на най-ниската разглеждана честота е по-малка от половината на минималния размер на образеца.

В [2] е описана лабораторна умалена звукоизолирана камера, изградена с цел: оценка на шумоизолацията на образци от строителни материали (утвърдени и новоразра-

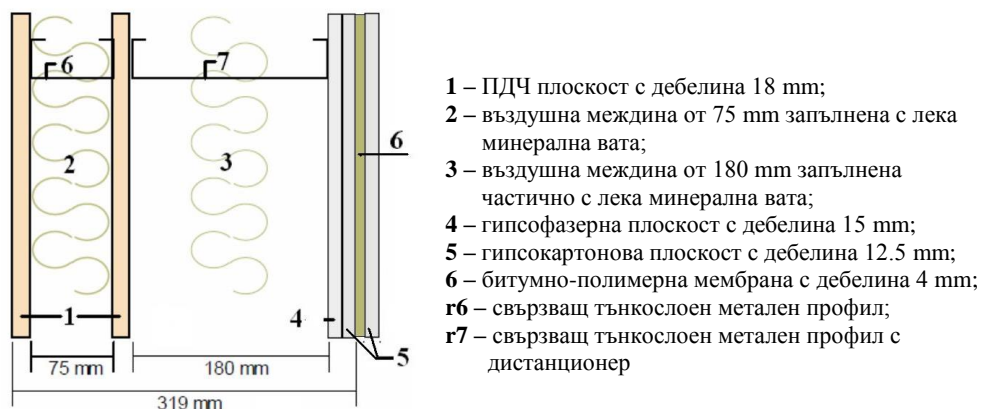
ботени), както и съвременно демонстриране на студентите от УАСГ на звукоизолационните свойства на строителните материали.

В настоящата работа са представени извършените подобрения на конструкцията на камерата и оценка на индекса ѝ на звукоизолация. Изследвани са възможностите на лабораторната камера за експериментално измерване на загубата на звуково налягане от въздушен шум за образци от различни строителни материали.

## 2. Подобрена и окончателна конструкция на лабораторната звукоизолирана камера

Стартовата конструкция на изградената лабораторна звукоизолирана камера е описана в [1] и се състои в следното: Преградите на камерата са изградени като трислоен сандвич, състоящ се от две различни по големина въздушни междини и три вида плътни плоскости. Различните въздушни междини обуславят различни резонанси на системите маса – гъвкавост – маса. С увеличаване на втората въздушна междина (180 mm) се цели подобряването на звукоизолацията в ниските честоти, което компенсира в известна степен сравнително ниското тегло на преградите. Използвана е лека минерална вата като пълнител във въздушните междини с цел подобряване на звукоизолацията в средния и високия честотен диапазон. Плоскостите са подбрани от материали с различна обемна плътност, дебелина, коефициент на Поасон и коефициент на вътрешни загуби с цел да се получат различни собствени честоти на трептене и съответно несъвпадащи резонансни честоти. Използвани са плоскости от ПДЧ, гипсофазер и гипсокартон. Плоскостите са свързани с тънкослойни (0,5 mm) профили и дистанционери от поцинкована ламарина. Експериментално бе установено, че с така конструираната камера може да бъде измерена разликата в наляганията от 45 dB (при фон ~ 28 dB), вж. [1].

В настоящото изследване, с цел разширяване областта на приложение на лабораторната звукоизолирана камера, са положени усилия за увеличаване на звукоизолационните характеристики на преградите на камерата. Именно те определят горната граница на загубите на звуково налягане, което може да бъде измерено с камерата. Конструкцията на камерата е подобрена чрез цялостното ѝ обличане с 2 нови слоя: от битумно-полимерна мембрана с дебелина 4 mm и от гипсокартон с дебелина 12,5 mm. Окончателна схема на слоевете на звукоизолационната камера е представена на фиг. 2.



Фиг. 1. Сечение на стената на звукоизолираната камера

Параметрите на плътните преградни плоскости, използвани при изграждането на звукоизолираната камера са дадени в табл. 1.

**Таблица 1. Параметри на плътните преградни плоскости, използвани при изграждането на звукоизолираната камера**

Вид на материала	Плътност	Модул на еластичност	Коефициент на Поасон	Коефициент на вътрешни загуби
---	kg/m <sup>3</sup>	GPa	$\nu$	$\eta$
ПДЧ плоскост 18 mm	662	3.00	0.36	0.018
Гипсофазер 15 mm	1180	3.9	0.15	0.01
Гипсокартон 12,5 mm	690	2.01	0.24	0.008

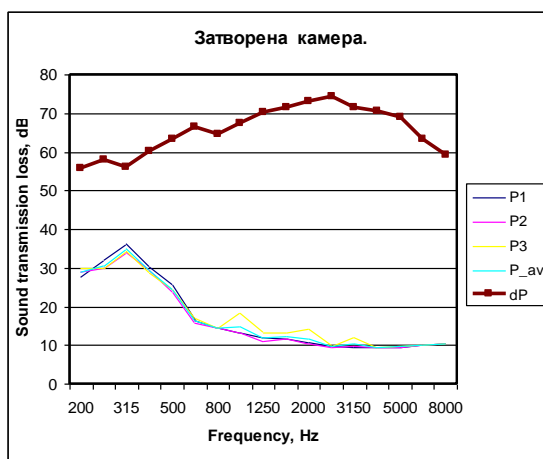
Като краен резултат общата дебелина на стените възлиза на 335 mm. Вътрешният размер на камерата е 0,778×0,778×1,00 m, а размерът на отвора за образца е 0,615×0,65 m.

### 3. Експериментална и теоретична оценка на индекса на звукоизолация от въздушен шум на камерата

Проведен е експеримент за оценяване на звукоизолацията на преградните стени на подобрената звукоизолирана камера. За целта в камерата се поставя източник на розов шум със звуково налягане 96.0 dB. При измерването на звукоизолацията на камерата отворът е запушен с капак, притежаващ същите звукоизолационни качества, каквито и страниците. Измерва се нивото на пропуснатото звуково налягане на 70 cm от стените на камерата в 3 различни точки. Измерването се извършва в децибели с калибриран октавен шумомер марка Pulsar, записващ сигнала в 3 точки на всяка октава от 200 Hz до 8000 Hz. Експерименталните резултати са представени от кривите **P1**, **P2** и **P3** на **фиг. 2**. Кривата **P<sub>av</sub>** е усреднената от трите измервания крива. За достоверни се считат стойностите за честоти > 630 Hz поради факта, че вътрешният размер на камерата е съизмерим с дължината на звуковата вълна  $\lambda$  за честоти до 630 Hz. Измереният полезен сигнал е в рамките на регистрирания по терц октави по време на експеримента фонов шум в приемащото помещение. Поради това точна експериментална стойност на индекса на звукоизолация  $R_w$  за целия честотен диапазон не е определена. Може да се твърди, че загубите на звуково налягане в камерата (т.е. разликата от нивото на звуковото налягане на източника на розов шум и усреднената крива **P<sub>av</sub>** във всяка терц октава), описани от крива **dP** на **фиг. 1** надвишават 60 dB. Подробното сравнение с експерименталните резултати от [2] показва убедително увеличение на звукоизолацията на преградните стени на камерата с от 6 до 15 dB за различните терц-октавни честоти, което увеличава значително чувствителността и възможностите на камерата. С това ограничението на измерванията поради недостатъчната звукоизолация на преградните страни на камерата отпада.

С добавянето на новите 2 слоя моделирането на преградните стени на камерата със софтуера Insul става много по-трудно поради ограниченията на броя на слоевете в програмата и сложността на конструкцията.

Въпреки това бе осъществено оригинално приблизително моделиране на преградните стени на камерата със специализирания софтуер Insul и бе получена теоретична стойност на индекса на звукоизолация от 60 dB, която е в съгласие с експерименталните резултати от **фиг. 2**. Това означава подобрене на тази характеристика на камерата спрямо предишната ѝ стойност с 15 dB [2].



Фиг. 2. Експериментални резултати при затворена камера

Поради това се счита, че конструкцията на преградните стени на лабораторната звукоизолирана камера е напълно завършена и звукоизолационните им характеристики са напълно удовлетворителни.

#### 4. Измерване на загубата на звуково налягане от въздушен шум по октавни ленти за различни образци с размер 600×600 mm

Конструирана и изпълнена беше подсилена уплътняваща рамка около образца на входа на звукоизолираната камера с цел уплътняване на фугите около образца за подобряване точността на измерването.

Подготвени бяха нови образци за тестване на звукоизолираната камера и демонстриране на звукоизолационните свойства на различни строителни материали, а именно: **OSB, гипсокартон, плексиглас и листов стомана.**

За 4-те образца бяха проведени измервания на загубата на звуково налягане от въздушен шум по октавни ленти. Използван беше същият източник на розов шум с налягане 96 dB, разположен вътре в камерата. Камерата се затваря със съответния образец. Пропуснатото от образца звуково налягане на 70 cm от него вън от камерата и в 3 различни пространствени точки се измерва с терц-октавен шумомер.

Кривата  $P_{av}$  е усреднената крива от трите измервания. Загубата на звуково налягане в образца  $TL(v)$  (sound transmission loss) в децибели се изчислява като разлика между нивото на звуково налягане на източника  $L_p(v)$  в dB и нивото на звуковото налягане  $P_{av}(v)$  в dB, пропуснато от образца, за всяка терц-октавна честота:

$$TL(v) = L_p(v) - P_{av}(v) . \quad (1)$$

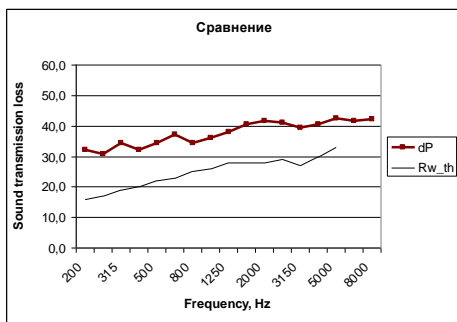
На този етап не е достигнато до експериментална стойност на индекса на звукоизолация  $R_w$  на образците, което изисква и експериментално измерване на времето на реверберация на приемащото помещение. За сравнение с теоретичните данни се използва обобщена стойност на загубата на звуково налягане в образца  $TL$  за целия честотен обхват на измерването. Стойностите за различните образци могат да се видят в табл. 2.

Таблица 2.  $TL_{exp.}$  – загубата на звуково налягане в образците – експериментални стойности;  $Rw_{th}$  – индекс на звукоизолация на образците – теоретични стойности

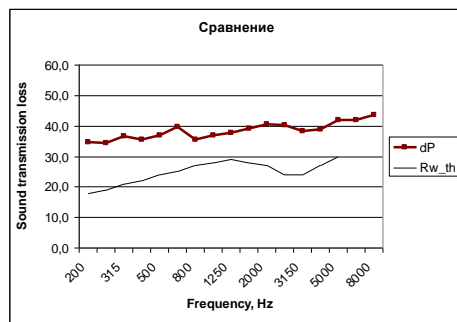
Образец	$TL_{exp.}, dB$	$Rw_{th}, dB$
OSB	31	25
Гипсокартон	32	26
Плексиглас	29	21
Листова стомана	31	28

### 5. Изчисляване на загубата на звуково налягане от въздушен шум по октавни ленти за различните образци

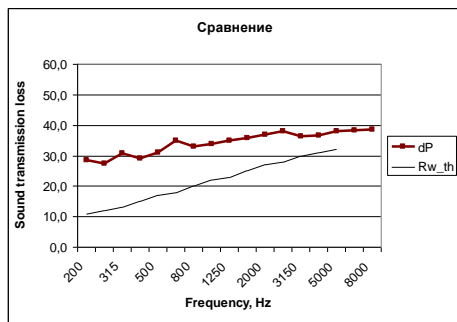
За всеки от изследваните образци се публикува и една графика – сравнение между експерименталната стойност на загубата на звуково налягане в образеца по терц-октавни честоти  $TL(v)$  и теоретичната стойност на индекса на звукоизолация на образците  $Rw_{th}(v)$ , изчислена с използването на специализирания софтуер Insul (фиг. 3, фиг. 4, фиг. 5 и фиг. 6). При изчисляването на  $Rw_{th}(v)$  на единичните прегради е използван методът на Sharp [4] за изотропни плоскости. Определени са резонансната честота на образеца и показването на звукоизолацията след резонансния пад с до 9 dB на октава.



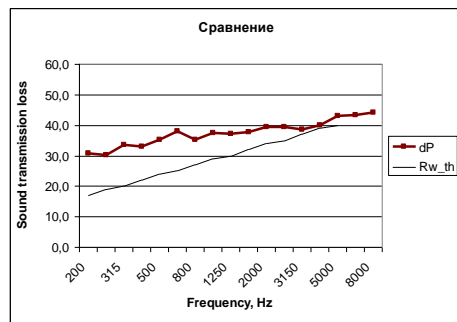
Фиг. 3. Единична преграда от OSB 10 mm;



Фиг. 4. Единична преграда от гипсокартон 12,5 mm



Фиг. 5. Преграда от плексиглас 3 mm



Фиг. 6. Преграда от листова стомана 1 mm

Трябва да се подчертае, че  $TL(v)$  и  $Rw_{th}(v)$  са различни величини. Коментира се по-скоро и само сходното поведение на кривите и най-вече областта на вълново съвпадение, която добре проличава и в експерименталната, и в теоретичната крива, при това на едно и също място в спектъра. С прилагането на Приложение 2 т.6 от релевантната Наредба № 06/4 [5] са изчислени честотите на вълнови съвпадения на два от образците: на гипсокартон и на листовата стомана. Получените стойности от 3040 Hz и 12 kHz съответно се съгласуват много добре с експерименталните графики. Този факт е много ценен, предвид бъдещите намерения да се използва лабораторната звукоизолирана камера за оценка на честотите на вълновите съвпадения на образци от утвърдени и нови строителни материали [6].

## 6. Заключение

- Извършени са подобрения върху конструкцията на лабораторната умалена звукоизолирана камера. Камерата е облечена с 2 допълнителни слоя.
- Проведените експерименти показват достатъчна степен на звукоизолация на преградните стени на камерата  $Rw \sim 60 \text{ dB}$ . Конструкцията на камерата е завършена.
- Установена е процедура за измерване на загуба на звуково налягане в децибели през образци от строителни материали като (**OSB, гипсокартон, плексиглас, листовата стомана**).
- С използването на специализиран софтуер са изчислени теоретичните стойности на индекса на звукоизолация на образците.
- Предстои експерименталното изследване да се доведе до изчисляване на експериментална стойност на индекса на звукоизолация на образците.
- Ограниченията от малкия вътрешен размер на камерата (**валидност на резултата над 1000 Hz**) и малкия размер на образца трайно си остават. Но са възможни убедителни качествени демонстрации на акустичните свойства на строителните материали за учебни цели.

## Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор БН-178/2015 „Изследване на възможностите на лабораторна звукоизолирана камера за оценка на шумоизолацията на строителните елементи“ е подкрепена финансово от Център за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. EN ISO140-1:1997. Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Requirements for laboratory test facilities with suppressed flanking transmission. 1997.

2. Джамбова, С., Пleshкова-Бекярска, С., Недков, Ц. Лабораторна шумозаглушена камера за оценка на звукоизолацията на преградни елементи. Юбилейна международна научно-техническа конференция “65 години Хидротехнически факултет и 15 години немско-езиково обучение”, 6 – 7 ноември 2014.

3. *Marshall Day Acoustics*, INSUL V7.0 “Sound Insulation Prediction Software”. 2012.

4. *Sharp, B. H.* Prediction Methods for the Sound Transmission of Building Elements. *Noise Control Engineering* Vol. 11, 1978.

5. НАРЕДБА № 06/4 „За ограничаване на вредния шум чрез шумоизолиране на сградите при тяхното проектиране и за правилата и нормите при изпълнението на строежите по отношение на шума, излъчван по време на строителството“. 2006.

6. *Chung Y. Tsui, Carl R. Voorhees et al.* The design of small reverberation chambers for transmission loss measurement. *Applied Acoustics* (9), p. 165 – 175, 1976.

7. *Ciric, D. G., Pantic, A.* Numerical Compensation of Air Absorption of Sound in Scale Model Measurements. *Archives of Acoustics*, Vol. 37, No. 2, pp. 219 – 225, 2012.

## **ABILITY TEST OF LABORATORY SOUNDPROOFED CHAMBER FOR EVALUATION OF BUILDING ELEMENTS NOISE INSULATION**

**S. Djambova<sup>1</sup>, Ts. Nedkov<sup>2</sup>, I. Hristev<sup>3</sup>**

*Keywords: sound insulation, soundproofed chamber*

### **ABSTRACT**

A laboratory scaled soundproofed chamber to assess the sound insulation of building elements has been improved and finalized for research and educational purposes. Experiments show the degree of sound insulation of the partition walls of the chamber  $R_w \sim 60$  dB. A procedure is established to measure the sound transmission loss in samples of construction materials such as OSB, gypsum board, plexiglass and steel plates. The results are valid for frequency of the sound wave over 1000 Hz. A measurement of the reverberation time of the receiving room, as well as evaluation of the frequency of the wave coincidence for different building elements is in preparation.

---

<sup>1</sup> Svetlana Djambova, Assoc. Prof. Dr., Dept. “Physics”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: std\_fhe@uacg.bg

<sup>2</sup> Tsvetan Nedkov, PhD student, Technical University – Sofia, e-mail: tsvetan\_nedkov@abv.bg

<sup>3</sup> I. Hristev, PhD student, Technical University – Sofia, e-mail: i.hristev@stivox.com