

ЛАБОРАТОРНА ШУМОЗАГЛУШЕНА КАМЕРА ЗА ОЦЕНКА НА ЗВУКОИЗОЛАЦИЯТА НА ПРЕГРАДНИ ЕЛЕМЕНТИ

С. Джамбова¹, С. Плешкова-Бежарска², Ц. Недков³

Ключови думи: звукоизолация, шумозаглушена камера

Научна област: строителна физика

РЕЗЮМЕ

Описано е изграждането на малка шумозаглушена камера, поставена в учебна зала, за демонстриране на акустичните свойства на образци от строителни материали. Целта е да се оценява загубата на звукова енергия при преминаването ѝ през образци като разлика в звуковите налягания и да се дава нагледен пример на студентите от Университета по архитектура, строителство и геодезия за основните физични принципи на затихване на звуковото налягане при взаимодействието му с прегради. Ограниченията на камерата са обусловени от вътрешните ѝ размери и размерите на тестовия образец, поради което коректни измервания могат да бъдат провеждани за честоти над 1000 Hz. Експериментално са оценени загубите на преминаване през стените на камерата, както и през две утвърдени в практиката преградни конструкции. Експерименталните криви се съгласуват много добре с теоретичните, получени с програмния продукт INSUL. Използването на лабораторната шумозаглушена камера ще доведе до повишаване на вниманието към жизненоважните въпроси за „шумовото замърсяване“ на околната среда и шумовия дискомфорт.

1. Въведение

Използването на шумозаглушени 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

¹ С. Джамбова, Доц. д-р, катедра „Физика“ – ХТФ, УАСГ, std_fhe@uacg.bg

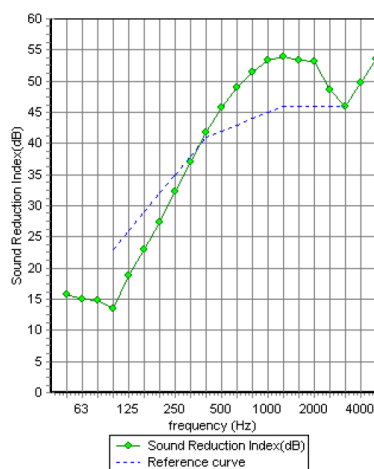
² С. Плешкова- Бежарска, Проф. д-р, Факултет по телекомуникации, ТУ- София, snegpl@tu-sofia.bg

³ Ц. Недков, докторант, ТУ- София, tsvetan_nedkov@abv.bg

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, ъгълът на падане на звуковата вълна, атмосферни условия. Поради изброените особености експерименталните измервания на образци са задължителна проверка за всеки един използван метод на изчисление.

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 м² и минималната дължина на едната от страните – 2.30 м. 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.

При вертикалните преградни елементи в строителството честотния диапазон, който е важен за осигуряването на разбираемост на речта е от 500 до 4000 Hz. Ако една преградна стена е с достатъчна изолация в този диапазон и региона на вълнови съвпадения е изнесен извън този диапазон, то тогава тя се счита за осигуряваща неразбираемост на речта. При съвременните двуслойни и трислойни конструкции от гипсофазер и гипсокартон този проблем е ясно изразен чрез поведението на преградите при вълновите съвпадения. Обикновено за щендерни конструкции този диапазон е между 2000 и 4000 Hz. На **Фиг. 1** може да се види кривата на загуби на звукова енергия на двуслойна преградна стена от един слой гипсокартон 12.5 мм + въздушна междина от 50 мм запълнена с лека минерална вата + 12.5 мм гипсокартон. Диапазона на вълновите съвпадения е в региона около 3000 Hz с ясно изразен пад при 3040 Hz.



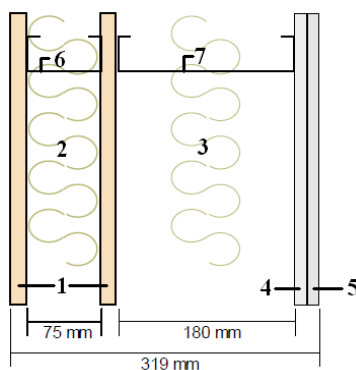
Фиг. 1. Индекс на звукоизолация на преградна стена изградена от две плоскости гипсокартон с въздушна междина 50 мм запълнена с лека минерална вата

Изследванията, които могат да бъдат провеждани в разглежданата шумозаглушена камера, могат да бъдат валидни за честотния диапазон от 1000 до 5000 Hz и да дават предварителна представа за поведението, както на утвърдени, така и на новоразработени строителни материали. Целта на провежданите упражнения пред студентите е да бъдат показани чрез четири различни примера звукоизолационните свойства на единична и двоена преграда, две прегради с въздушна междина със и без звукопоглъщащ материал в нея. Размерите на образците са 615 x 650 мм.

При сравнението между първия и втория образец се показва, че чрез удвояването на теглото на преградата се постига увеличение на звукоизолацията общо с 6 dB. При третия опит се демонстрира, че чрез добавянето на въздушна междина индекса на звукоизолация може да се покачи с 8 dB докато запълвайки въздушната междина с лека минерална вата звукоизолацията се покачва с до 19 dB.

2. Конструкция на изградената шумозаглушена камера

При изграждането на преградите на камерата е използван 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 мм) 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 трепетене и съответно несъвпадащи резонансни честоти. Използвани са плоскости от ПДЧ, гипсофазер и гипсокартон. Плоскостите са свързани с тънкослойни (0.5 мм) профили и дистанционери от поцинкована ламарина. Схема на слоевете на шумозаглушената камера е представена на **Фиг. 2**.

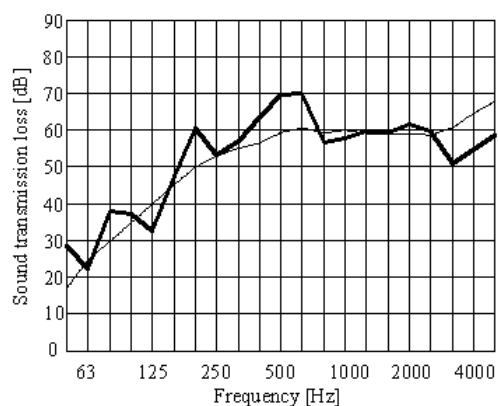


Фиг. 2. Сечение на стената на шумозаглушената камера: 1- ПДЧ плоскост с дебелина 18 мм; 2 – въздушна междина от 75 мм запълнена с лека минерална вата; 3- въздушна междина от 180 мм запълнена частично с лека минерална вата; 4 – гипсофазерна плоскост с дебелина 15 мм; 5 – гипсокартонова плоскост с дебелина 12.5 мм; 6 – свързващ тънкослоен метален профил; 7 – свързващ тънкослоен метален профил с дистанционер

Като краен резултат общата дебелина на стените възлиза на 319 мм. Вътрешният размер на камерата е 0.778 x 0.778 x 1.00 м, а размерът на отвора за образца е 0.615 x 0.65 м.

3. Експериментално оценяване на натуралния индекс на звукоизолация на изградената шумозаглушена камера

Проведен е експеримент за оценяване на натуралния индекс на звукоизолация на изградената шумозаглушена камера. В камерата е поставен източник на розов шум със звуково налягане 95.1 dB/A. При измерването на звукоизолацията на камерата отворът е запушен с капак, притежаващ същите звукоизолационни качества, каквито и страниците. Измереното ниво на звуково налягане на 50 см от стените на камерата е 50.1 dB/A. Това определя разлика в наляганията 45 dB, което е една добра стойност за натурален индекс на звукоизолация на лабораторна умалена шумозаглушена камера за учебни цели. Фонът измерен в приемното помещение е под 28 dB/A. На **Фиг. 3.** са представени графично теоретичната и измерената крива на загуби на звукова енергия при преминаване през стената на камерата.



Фиг. 3. Крива на загуби на енергия при преминаване през страничните прегради на шумозаглушената камера:— теоретично изчислени стойности; — измерени стойности.

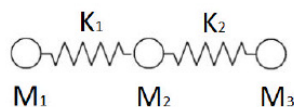
Параметрите на плътните материали, използваните при изчисленията, са дадени в **Таблица 1.**

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

Вид на материала	Плътност	Модул на еластичност	Коефициент на Поасон	Коефициент на вътрешни загуби
---	kg./m ³	GPa	ν	η
ПДЧ плоскост 18 мм	662	3.00	0.36	0.018
Гипсофазер 15 мм	1180	3,9	0.15	0.01
Гипсокартон 12.5 мм	690	2.01	0.24	0.008

3.1. Теоретично оценяване на параметрите на шумозаглушената камера

За изчисляването на загуби при преминаване на звукова енергия за двуслойни прегради е използван методът на Sharp [2] и нискочестотен модел за изследване на загуби на трислойни прегради на Ballagh [3] като симулациите са проведени със софтуер INSUL [4]. Това е приведен числов подход, в който могат да бъдат зададени крайни размери на елементите (но не достатъчно малки, за да опишат точно разглеждания случай), отчитат се вътрешните загуби в елементите, както и може да бъде зададен ъгъл на падане на звуковата вълна. Методът отчита и връзките между плоскостите, като за метални тънкослойни профили са зададени и еластичните им свойства. Чрез метода се определя резонансната честота на системата, използвайки масите на плоскостите и големината на въздушните междини. Опростената механична система показана на **Фиг. 4.** за изчисляването на преминала енергия се основава на използването на маси и гъвкавости.



Фиг. 4. Механична система описваща взаимодействието между плоскостите и въздушните междини в преградата на шумозаглушената камера: M₁, M₂ и M₃ са масите на плътните плоскости; K₁ и K₂ са гъвкавостите на въздушните междини.

Опростената система от три маси M₁, M₂ и M₃, и две гъвкавости (пружини) с еластичност K₁ и K₂ може да бъде изразена чрез уравнението на собствената честота на цялата система:

$$[m_1 m_2 m_3] (\omega^2)^2 - [k_1 m_3 (m_1 + m_2) + k_2 m_1 (m_2 + m_3)] (\omega^2) + [k_1 k_2 (m_1 + m_2 + m_3)] = 0, \quad (1)$$

където $k_1 = \frac{\rho c^2}{d_1}$ и $k_2 = \frac{\rho c^2}{d_2}$. В уравнението d_1 и d_2 са дебелините на въздушните междини, c е скоростта на звуковата вълна във въздушна среда, ρ е обемното тегло на въздуха, ω е резонансната честота.

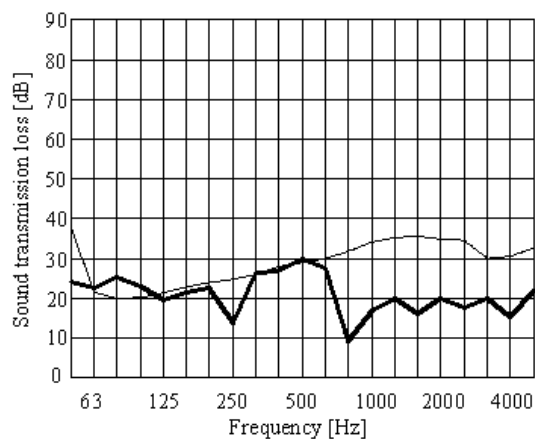
При изчисляване на звукоизолацията на структури съдържащи три и повече прегради трансфериращата функция е отношение на падналото звуково налягане към скоростта на трептене на излъчващия панел. Rindel [5] описва загубите на звукова енергия със следното уравнение:

$$R = 10 \log \left(\frac{\langle p_s^2 \rangle}{4(\rho c^2) \langle v_r^2 \rangle} \right), \quad (2)$$

където $\langle p_s^2 \rangle$ е падналото налягане, а $\langle v_r^2 \rangle$ е скорост на трептене на излъчващия панел. Използвайки трансформации по Фурие е изведена трансфериращата функция. След като веднъж е дефинирана трансфериращата функция използвайки софтуер тя е решена и получен теоретичния резултат за загубите на преминалата звукова енергия.

3.2. Теоретично и експериментално оценяване на параметрите на тестови прегради

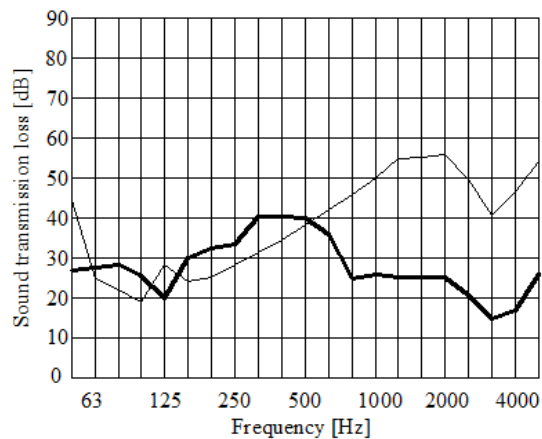
При изчисляването на загубите на звукова енергия на единичните прегради е използван методът на Sharp [2] за изотропни плоскости. Определени са резонансната честота на панела и покачването на звукоизолацията след резонансния пад с до 9 dB на октава. На **Фиг. 5** е показано сравнение между изчислените и измерените стойности на образца:



Фиг. 5. Крива на загуби на енергия при преминаване през единична преграда на тестовия образец: — теоретично изчислени стойности; — измерени стойности.

При изчисляването на загубите на звукова енергия на двойните прегради с въздушна междина отново е използван методът на Sharp [2] за изотропни плоскости. Определени са резонансната честота на системата маса – гъвкавост - маса и покачването на звукоизолацията между резонансния пад и вълновите съвпадения с до 6 dB на октава. След вълновите съвпадения покачването на звукоизолацията е до 15 dB на октава.

Проведени са измервания на щендерна конструкция от един слой 10 мм гипсофазер + 60 мм въздушна междина + 10 мм гипсофазер свързани посредством тънкослони метални профили. На **Фиг. 6** е показано сравнение между изчислените и измерените стойности на образца:



Фиг. 6. Крива на загуби на енергия при преминаване през двойна преграда с въздушна междина на тестовия образец: — теоретично изчислени стойности; - - измерени стойности.

4. Заключение

Предварително изчислените загуби на звукова енергия за стените на шумозаглушената камера показват задоволителни резултати при проведените експериментални измервания. Наблюдаваните акустични аномалии до 1000 Hz са очаквани, като диапазона на вълновите съвпадения е чувствително по-изразен от теоретичните очаквания. При изследваните тестови образци разликите между теоретично изчислените и измерени стойности особено в средно и високочестотния диапазон се дължат основно на недостатъчно уплътняване на фугите около образца, както и на обходни пътища на преминаване на звукова енергия. Предстои да бъде конструирана подсилваща уплътняваща рамка около образците и проведени съответните измервания. Също така ще бъде проведен подробен анализ за разликите между експерименталната и теоретичната оценка.

Ограниченията от малкия вътрешен размер на камерата (валидност на резултата над 1000 Hz) и малкия размер на образца трайно си остават. Но остава и увереността за възможни убедителни качествени демонстрации на акустичните свойства на строителните материали за учебни цели, както и възможността за предвиждане на честотата на вълново съвпадение на образца, когато тя принадлежи на областта на високите честоти.

5. Благодарности

Този доклад е реализиран със съдействието на НИС при ТУ-София по договор 145 PD0017-07 «Разработване на алгоритми за изследване на акустични свойства на

материали за облицовка на студия и концертни зали» в подкрепа на докторанти, както и по договор с ЦНИП 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. *Sharp B.H.*. “Prediction Methods for the Sound Transmission of Building Elements”. Noise Control Engineering Vol 11, 1978.
3. *Ballagh K.H.*. “Sound Transmission through Triple Panel Walls – Low Frequency Model. XXIst Biennial Conference of the Acoustical Society of New Zealand, 2012.
4. *Marshall Day Acoustics*. INSUL V7.0 “Sound Insulation Prediction Software”. 2012.
5. *Rindel J.H.*. “Sound Radiation from Building Structures and Acoustical Properties of Thick Plates”. COMMET-SAVOIR Course, CSTB, 1995.

LABORATORY SOUNDPROVED CHAMBER FOR EVALUATION OF SOUND INSULATION OF BUILDING PARTITION ELEMENTS

S. Djambova¹, Snejana Pleshkova-Bekjarska², Ts. Nedkov³

Keywords: *sound insulation, sound proved chamber*

Research area: *building physics*

ABSTRACT

The building of a small soundproofed chamber is described. It is placed in an university lab to demonstrate the acoustic properties of samples from building materials. The aim is to evaluate sound transmission loss as difference in sound pressures and to teach UACG students about basic physical principles of sound – wall interaction. Some limitations are set by the small sizes of the chamber and of the test sample, therefore correct measurements can be done for sound frequencies above 1000 Hz. Sound transmission loss has experimentally been evaluated for the chamber walls and for two types of most used building partition elements. The experimental results agree very well with the theoretical ones, obtained with the help of INSUL software. The utilization of the lab sound proved chamber will increase the attention to life quality problems of environment like “noise contamination” and noise discomfort.

¹ S. Djambova, Assoc.Prof. Dr., Physics Department, FHE, UACEG, std_fhe@uacg.bg
Snejana Pleshkova-Bekjarska

² S. Pleshkova-Bekjarska, Assoc.Prof., Faculty of Telecommunications, Technical University – Sofia, snegpl@tu-sofia.bg

³ Ts. Nedkov, Ph.D. student, Technical University – Sofia, tsvetan_nedkov@abv.bg