



Получена: 17.07.2023 г.

Приета: 25.10.2023 г.

ИЗМЕРВАНЕ ПО СТАНДАРТ НА МЯСТО НА ЗВУКОИЗОЛАЦИЯТА НА ПРЕГРАДНИ ЕЛЕМЕНТИ МЕЖДУ УЧЕБНИ ПОМЕЩЕНИЯ

С. Джамбова¹, Н. Иванова², И. Христов³

Ключови думи: звукоизолация, акустика, учебни помещения, преградни елементи

РЕЗЮМЕ

По изискванията на стандарт БДС EN ISO 16283-1 е измерена честотната характеристика и е изчислен индексът на звукоизолацията в децибели на преградни елементи: преградна стена между учебни стаи. Експерименталната стойност $R'_w = 47$ dB е сравнена с изискванията на Наредбата за ограничаване на вредния шум. Измерено е времето на реверберация на същото учебно помещение по стандарт БДС EN ISO 3382-2. Получените стойности по честоти: 2,86 s при 500 Hz, 3,23 s при 1000 Hz и 2,53 s при 2000 Hz са сравнени с изискванията за максимална продължителност на времето за реверберация T , s в свободни, напълно завършени класни стаи и в други учебни пространства.

1. Въведение

В съвременната градска урбанизирана среда все повече се увеличават източниците на шумово замърсяване като същевременно разстоянията между тях намаляват. Във връзка с това се усъвършенстват решенията на подходящи конструкции, удовлетворяващи

¹ Светлана Джамбова, доц. д-р, кат. „Физика“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: std_fhe@uacg.bg

² Наталия Иванова, гл. ас. д-р инж., кат. „Физика“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: bobeva_fhe@uacg.bg

³ Ивайло Христов, инж. акустик, кат. „Жилищни сгради“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: i.hristev@stivox.com

строително-физичните изисквания. Разработват се изчислителни програми, работещи с данните от лабораторни измервания в съответствие с конкретното изпълнение на обекта и отчитане на влиянието на страничните пътища съгласно европейските стандарти. Основна тенденция е установяването на все по-точни норми за звукоизолация, както и методи за осигуряване на акустичен комфорт в помещенията на жилищни и обществени сгради.

Намаляването на нивото на вредния шум в обитаеми помещения, посредством звукоизолация на преградните елементи, е борба за повишаване на комфорта на живот. Качеството на живот е основна тема не само в европейските програми Хоризонт Европа [1], 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.

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.). По-често срещаният шум от технически оборудване в обществени и жилищни сгради е напълно пренебрегван и се смята за нормален. Въпреки че в Наредба 4 [2] са заложени минимални изисквания, те по много причини не са се наложили в практиката като проектантско изискване и остават на заден план. По тази причина се налагат практически измервания на място за установяване на реалните стойности и търсене на мерки за постигане на здравословен начин на живот по отношение на шума.

В същото време изискванията на европейските стандарти стават все по-строги и всеобхватни и изискват нови подходи и данни за удовлетворяването им. От страна на производителите нараства интересът относно разработване на нови продукти с доказани звукоизолационни качества, като при това се налагат измервания на място за проверка на резултатите и консултиране с цел подобряване на акустичните показатели.

Все по-широко в сградите намират приложение леките преградни стени и конструкции. Това се дължи на тенденциите на съвременната архитектурна мисъл, на голямото разнообразие от строителни изделия и материали и възможностите за прилагане на нови проектантски решения. С оглед на осигуряването на необходимата звукоизолация леките конструкции се изпълняват като многослойни. Тези конструкции намаляват пренасянето на звуковата енергия вследствие на различното акустично поведение на слоевете и намаляват шума от другата страна на конструкцията спрямо източника. Целта е резонансните честоти да са по възможност под 80 Hz, тъй като за тях възниква намаляване на звукоизолационната способност. Относно честотата на вълново съвпадение стремежът при леките конструкции е тя да се изтегли максимално във високите честоти и по възможност да попада над 5 kHz [3].

Производителите на материали често имат в каталозите си данни за индекса на звукоизолация на отделните материали, но в практиката често се използват комбинации от материали, например стени тип сандвич, които имат общ индекс на звукоизолация, различен от сбора на индексите на участващите материали. Освен това при проектирането рядко се правят изчисления с отчитане на страничните пътища на предаване на звука, както е заложено в европейските стандарти. Тази слабост е следствие от липса на обучени специалисти и на задължително изискване в Наредбата за проектиране [2]. Това придава изключително значение на практическата проверка на звукоизолацията на строителните елементи чрез измерване на място за получаване на реалната оценка на звукоизолацията на преградните елементи съгласно БДС EN ISO 16283-1 [4] – като източник на данни и като задължителен коректив за всеки теоретичен метод на изчисление.

Времето на реверберация е един от основните критерии за акустичното качество на залите и зависи от големината на помещението и от коефициента на поглъщане на

заграждащите го повърхности. Измерването на времето на реверберация съгласно БДС EN ISO 3382-2 [5] е от съществено значение за постигане на акустичен комфорт и изпълнение на стандартните изисквания. Неотдавна в НАРЕДБА № РД-02-20-3 [6] бяха поставени нови изисквания за максималната продължителност на времето за реверберация T , s в свободни, напълно завършени класни стаи и в други учебни пространства. Тези изисквания налагат практически измервания по стандарт. В тази връзка е необходимо събирането на опит за изготвяне на становища и препоръки.

Целта на настоящата публикация е експериментално по стандарт на място да се установи състоянието на акустичния комфорт в учебно помещение и да се предложат мерки за неговото подобряване в съответствие с изискванията на релевантните наредби. Основните задачи включват:

- Измерване на звукоизолацията на преградни елементи на място според изискванията на стандарт БДС EN ISO 16283-1 [4].
- Сравнение на резултатите от измерванията с изискванията съгласно НАРЕДБА № 4 [2].
- Измерване на времето на реверберация на учебно помещение в УАСГ по стандарт БДС EN ISO 3382-2 [5].
- Сравняване с изискванията за максимална продължителност на времето за реверберация T , s в свободни, напълно завършени класни стаи и в други учебни пространства, съгласно НАРЕДБА № РД-02-20-3 [6].

2. Използвани методи на изследване

- При определяне на изолацията от въздушен шум се използва **Стандартен метод за измерване на нивото на звуково налягане**, описан в стандарт БДС EN ISO 16283-1 [4].
- Времената на реверберация се измерват с **Метода на изключения шум** за честоти 100 Hz – 5000 Hz [4, 5].

3. Измерване на звукоизолацията на преградни елементи по стандарт БДС EN ISO 16283-1 [4]

3.1. Крива на честотната характеристика и числена стойност на индекса на звукоизолация в dB на преградна стена между учебни стаи

Изследването бе проведено изцяло според изискванията на Стандарт БДС EN ISO 16283-1 [4]. За експеримента бяха подбрани учебни стаи 403 и 402 в сградата на Ректората на УАСГ след ремонт. Учебна стая 403 бе установена като шумно помещение източник, в което се създава високо ниво на звук, а учебна стая 402 бе съответно тихото приемно помещение. Между двете стаи се намира изследваната стена с площ 25 m², чиято звукоизолация ще определяме.

Измерени бяха:

- високото ниво на звук L_1 в dB в помещението източник за честоти 100 Hz – 5000 Hz;

- нивото на звук в помещението приемник L_2 в dB за честоти 100 Hz – 5000 Hz;
- нивото на фонен шум, което съществува в помещението приемник B в dB за честоти 50 Hz – 5000 Hz (С него се коригират измерените по-горе данни.);
- времето на реверберация на помещението приемник, което е описано към следващия експеримент – T в s.

Високото ниво на звук L_1 се създава от вътрешен за акустичния анализатор генератор, усилва се от усилвател Audac ERA 152 и се излъчва в помещението източник от многопосочен високоговорител с форма на додекаедър (вж фиг. 1). Нивото L_1 е от порядъка на 80 dB, еднакво за всички честоти в областта 50 Hz – 5000 Hz, което по дефиниция е така нареченият „Розов шум“. Измервания на звукоизолацията на преградната стена са извършени при 2 различни положения на източника, отговарящи на изискванията на Стандарта, а именно: Разстоянието между границите на помещението и високоговорителя са по-големи от 0,5 m, а между преградата и високоговорителя – повече от 1 m.



Фиг. 1. Снимка на помещението източник по време на измерванията

Нивото на звук L_2 в помещението приемник (което има като преобладаваща съставна пропуснатата през изследваната преградна стена звукова енергия) се измерва в 5 различни позиции на акустичния анализатор (шумомера) за всеки 2 положения на звуковия източник. Спазва се изискването позициите на шумомера да не попадат в една равнина спрямо границите на помещението.

Нивото на фонения шум B се измерва аналогично в помещението приемник. То трябва да отговаря на изискването да е с поне 6 dB по-малко от нивото на звук L_2 . Ако разликата в нивата е по-малка от 10 dB, се извършва корекция на нивото L_2 с нивото B по определена формула.

Комбинацията от различни позиции на звукоизточника и шумомера осигурява достатъчна статистика на получените резултати, предвидена и от Стандарта.

Индексът на действителната звукоизолация R' на преградния елемент се определя за всяка терц октавна честота по следния алгоритъм:

$$R' = D + 10 \lg \frac{S}{A}, \quad (1)$$

където S е площта на общата преграда, в квадратни метри;

A – еквивалентната площ на звукопоглъщане в помещението приемник, в квадратни метри (получава се от измереното в следващия експеримент време на реверберация);

D – разликата в нивата на звуковете налягания в двете помещения:

$$D = L_1 - L_2, \quad (2)$$

L_1 – енергетично осредненото ниво на звуковото налягане в помещението източник;

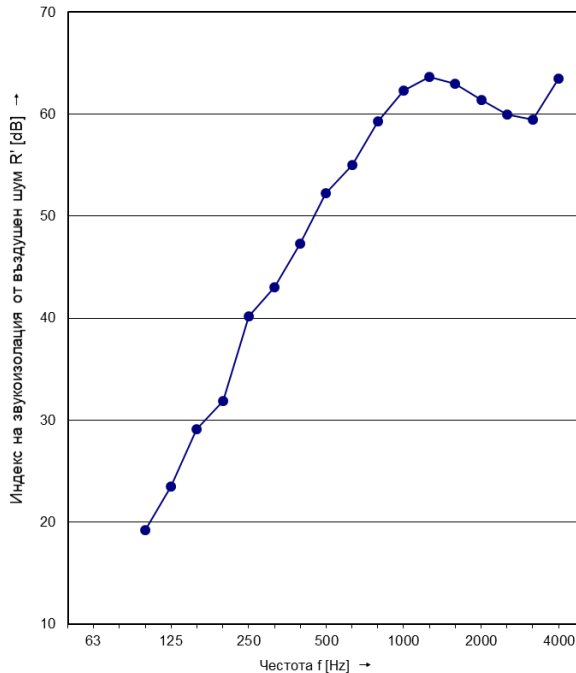
L_2 – енергетично осредненото ниво на звуковото налягане в помещението приемник.

Площта на звукопоглъщане се изчислява при използване на формулата на Сабин съгласно формула:

$$A = \frac{0,16V}{T}, \quad (3)$$

където V е обемът на помещението приемник, в кубични метри;

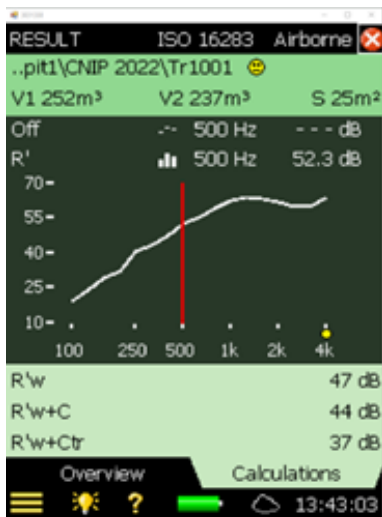
T – времето на реверберация в помещението приемник, в секунди.



Фиг. 2. Крива на честотната характеристика на индекса на звукоизолация в dB на преградна стена между учебни стаи

Измерената изолация от въздушен шум е честотно зависима. Кривата на честотната характеристика на индекса на звукоизолация в dB на преградната стена е представена на фиг. 2. Измерените данни се преобразуват от акустичния анализатор в едночислена величина при използване на методите за оценка съгласно БДС ISO 717-1 [7].

Получена е числена стойност на индекса на звукоизолация на преградната стена между двете учебни стаи $R'_w = 47 \text{ dB}$ (фиг. 3).



Фиг. 3. Претеглена числена стойност на индекса на звукоизолация в dB на преградната стена между учебните стаи – екран от шумомера

Реалните стойности на измерванията на място на R' може да се използват при сравнителна оценка и контрол на лабораторните измервания на индекса на звукоизолацията R .

Резултатите от изпитването могат да бъдат използвани за качествена и количествена оценка и сравнение на изолацията от въздушен шум в необзаведени или обзаведени помещения, където звуковото поле може да се или да не се доближава до дифузно поле.

3.2. Сравнение на резултатите от измерванията с изискванията съгласно НАРЕДБА № 4 [2]

Експерименталната стойност е сравнена с изискванията съгласно НАРЕДБА № 4 от 27 декември 2006 г. 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, доп. ДВ. бр. 77 от 4 октомври 2016 г.

Изискването за минимален индекс на звукоизолация от въздушен шум за стени между учебни стаи (кабинети) и между учебни стаи (кабинети) и коридори в Наредбата, дадено в Приложение № 3 към чл. 23, ал. 1 е 47 dB .

Получената експериментална стойност за звукоизолацията на преградната стена между учебни стаи 403 и 402 възлиза също на 47 dB , което означава, че изискванията на Наредбата са удовлетворени.

3.3. Изчисления с програмата INSUL [8] и сравняване с измерванията по стандарт

Сравнението между експерименталната и теоретичната стойност на индекса на звукоизолация за преградната стена показва разлика до 10 dB в полза на изчислената стойност. Тази голяма разлика се обяснява с:

- влиянието на обходните пътища на преминаване на звука, което намалява звукоизолацията, измерена на място;
- непълното познаване на строителното изпълнение на стената;
- използваните приближения, заложи в програмата, касаещи вид, площ и характеристики на материалите.

Измерванията на място безспорно дават най-точна оценка на действителния индекс на звукоизолация и са меродавни за окончателни становища.

4. Измерване на времето на реверберация на учебно помещение в УАСГ по стандарт БДС EN ISO 3382-2 [5] и сравняване с изискванията за максимална продължителност на времето за реверберация T , s в свободни, напълно завършени класни стаи и в други учебни пространства, съгласно НАРЕДБА № РД-02-20-3 [6]

Това измерване е от съществено значение за доказване на акустичната среда в помещенията, а също и взема участие в измерванията на звукоизолацията на преградни елементи по стандарт. Извършено е изцяло по стандарт БДС EN ISO 3382-2.

По дефиниция: Времето на реверберация на едно помещение или зала е времето T в секунди след спиране на източника, за което нивото на звуковото налягане намалява с 60 dB.

Измерванията се извършват в едно помещение: в нашия случай – учебна стая 402.

Високото ниво на звук, приблизително еднакво за всички честоти в изследвания честотен диапазон 100 Hz – 5000 Hz, се създава аналогично на предишния експеримент и има аналогични стойности.

Използват се 2 различни разположения на звуковия източник. За всяко от тях се извършва измерване в 4 различни позиции на акустичния анализатор.

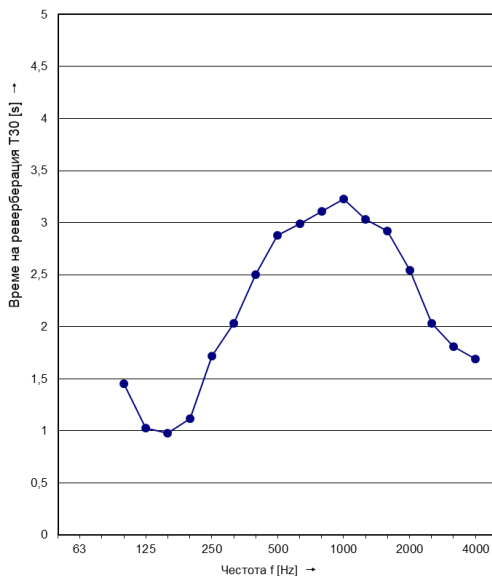
За всяка от 8-те позиции с помощта на акустичния анализатор се измерват и записват (осреднени от 3 пускания на източника) криви на затихване на звука в помещението след спиране на източника по терц октавни честоти и във времето. Експериментална крива на затихване на звука във времето след спиране на източника за 500 Hz за една от позициите на микрофона в помещение 402 е представена на фиг. 3.

Всяка записана честотна характеристика на звуковите нива е осреднена от акустичния анализатор за 3 отделни включвания на звуковия източник.

От тези криви се отчитат стойностите на времето на реверберация T_{20} и T_{30} в секунди, за което се наблюдава съответно 20 dB спад и 30 dB спад на звуковото налягане в помещението след спиране на източника за определени от стандарта честоти.

4.1. Експериментални стойности на времето на реверберация на учебно помещение – по честоти

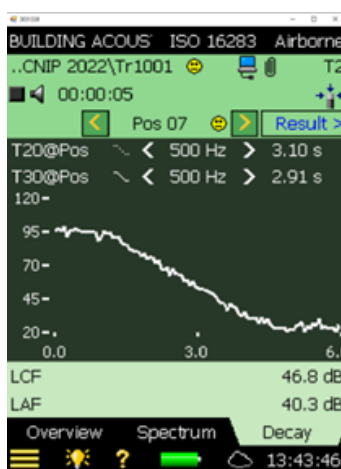
Експерименталните стойности на времето на реверберация T_{30} в секунди за учебното помещение 402 – по честоти е представено на фиг. 4.



Фиг. 4. Експериментални стойности на времето на реверберация T_{30} в секунди на учебно помещение 402 – по честоти

Получените експериментални стойности за контролираните от Наредбата честоти са както следва:

За учебна стая 402: 2,86 s при 500 Hz (фиг. 5); 3,23 s при 1000 Hz и 2,53 s при 2000 Hz.



Фиг. 5. Експериментална крива на затихване на звука във времето в помещение 402 след спиране на източника за 500 Hz за една от позициите на микрофона – екран от шумомера

Получените стойности по честоти са сравнени с изискванията за максимална продължителност на времето за реверберация T, s в свободни, напълно завършени класни стаи и в други учебни пространства, съгласно НАРЕДБА № РД-02-20-3 от 21.12.2015 г. за проектиране, изпълнение и поддържане на сгради за обществено обслужване в областта на образованието и науката, здравеопазването, културата и изкуствата.

За учебна зала с обем, по-малък от 283 m^3 , максималните стойности за времето на реверберация за 500 Hz, 1000 Hz и 2000 Hz са 0,6 s.

Тъй като измерените стойности за учебна стая 402 надхвърлят значително изискванията, в следваща публикация е представено проектно предложение за акустична обработка.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор № БН-264/2022 е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.consilium.europa.eu/bg/policies/horizon-europe/>.
2. Наредба 4. 2006, за ограничаване на вредния шум чрез шумоизолiranje на сградите при тяхното проектиране и за правилата и нормите при изпълнението на строежите по отношение на шума, излъчван по време на строителството, доп. ДВ 77. 2016.
3. *Sharp, B.* Prediction Methods for the Sound Transmission of Building Elements. // Noise Control Engineering, 1978, 11.
4. BDS EN ISO 16283-1. 2014/A1:2018, Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation.
5. BDS EN ISO 3382-2. 2008, Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms.
6. Наредба РД-02-20-3. 2015, за проектиране, изпълнение и поддържане на сгради за обществено обслужване в областта на образованието и науката, здравеопазването, културата и изкуствата.
7. BDS EN ISO 717-1. 2021, Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation.
8. *Marshall Day Acoustics.* INSUL V7.0 Sound Insulation Prediction Software, 2012.

ON-SITE STANDARD MEASUREMENT OF SOUND INSULATION OF PARTITION ELEMENTS BETWEEN EDUCATIONAL PREMISES

S. Djambova¹, N. Ivanova², I. Hristev³

Keywords: sound insulation, acoustics, classrooms, building elements

ABSTRACT

According to the requirements of the BDS EN ISO 16283-1 standard, the frequency characteristics have been measured and the sound insulation index has been calculated in decibels of partition elements: partition wall between classrooms. The experimental value $R'_w = 47$ dB is compared with the requirements of the Regulation on the limitation of harmful noise. The reverberation time of the same classroom was measured according to the BDS EN ISO 3382-2 standard. The obtained values by frequencies: 2,86 s at 500 Hz, 3,23 s at 1000 Hz and 2,53 s at 2000 Hz are compared with the requirements for the maximum duration of the reverberation time T , s in free, fully finished classrooms and in other learning spaces.

¹ Svetlana Djambova, Assoc. Prof. Dr., Dept. "Physics", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: std_fhe@uacg.bg

² Natalia Ivanova, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Physics", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: bobeva_fhe@uacg.bg

³ Ivailo Hristev, Acoustics Eng., Dept. "Residential Buildings", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: i.hristev@stivox.com