

Експериментално изследване на акустичните характеристики на врати

Росен Русанов, Красимир Неделчев, Величка Руйкова

Резюме—Настоящата статия представя резултатите от изследване на звукоизолиращите характеристики на три вида врати – стъклени, пожароустойчиви /с пълнеж от минерална вата/ и дървени /шперплат с пълнеж от дървени профили/. За разлика от стандартните лабораторни изпитвания, целта на изследването е да се измери реалната звукоизолация на вратите в условията на тяхната крайна експлоатационна среда, т.е. на мястото на монтаж. Измерванията са извършени в няколко помещения с различни функции, като са използвани прецизни устройства за определяне на нивото на звуково налягане. Анализирани са резултатите от изследването. Резултатите показват, че въпреки различната конструкция, и двата типа врати демонстрират ограничени звукоизолиращи способности, особено при ниски и средни честоти. Направените изводи подчертават необходимостта от предприемането на допълнителни мерки или алтернативни решения, когато е необходимо осигуряване на висока стойност на звукоизолационните характеристики на използваните врати.

Ключови думи—звукоизолация; ниво на звуково налягане; индекс на намаляване на звук; терцоктавна честотна лента; бял шум, врата.

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Звукоизолацията на ограждащите конструкции е ключов фактор за постигане на акустичен комфорт в сградите, особено в пространства с високи изисквания за уединение и спокойствие като болници, административни сгради, хотели и жилищни помещения. Макар че масивните стени и подове традиционно осигуряват добра звукоизолация, именно вратите остават едни от най-уязвимите елементи по отношение на преминаването на въздушен шум.

Резултатите от изпитванията на звукоизолацията на различни видове врати – стъклени и пожароустойчиви конструкции с минерална вата – ясно показват, че техните акустични характеристики варират значително в зависимост от конструкцията, масата и площта на елемента. По-ниските стойности на звукоизолация при стъклените врати се обуславят от специфичните им материали и ограничената им маса, докато по-масивните пожароустойчиви врати с дебел слой минерална вата демонстрират съществено по-добри резултати в целия честотен диапазон.

Ефективността на вратата като звукоизолиращ елемент зависи не само от дебелината и пълнежа, но и от правилното изпълнение на уплътнителните детайли и монтажа. Анализът на честотните характеристики по-

казва, че дори висококачествени конструкции проявяват спад на звукоизолацията в определени честотни диапазони (най-често около 400–1000 Hz), което е резултат от резонансни явления и звукови течения.

В съвременната архитектура изборът на подходящи врати с доказани звукоизолационни свойства е важна предпоставка за постигане на нормативни нива на шум в помещенията. Следователно, акустичните характеристики на вратите трябва да се разглеждат като неразделна част от общата стратегия за звукоизолация на сградата, наред с останалите ограждащи конструкции и елементи.

Целта на изследването е да се изследват експериментално акустичните характеристики на три вида врати монтирани на различни помещения.

II. МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Изследването се състои в измерване на нивото на звуково налягане в терцоктавна честотна лента в една до пет точки в помещението и също от една до пет точки извън помещението (положението на измервателните точки са означени с трицифрени числа на схемите от фиг.: 1.2; 2.2; 3.2; 4.2; 5.2; 6.2 и 7.2) в зависимост от широчината на вратата. След това се определя разликата между нивото на звуково налягане в помещението и това извън помещението. От полученият резултат се изчислява индекс на звукоизолация от въздушен шум – „ R_w “. Изчисленията са реализирани съгласно стандартите [9÷12]. Параметърът „Индекс на звукоизолация от въздушен шум“ – R_w , се получава в dB и се използва като основен критерий за оценка на шумоизолацията на изследваните обекти – стъклени и пожароустойчиви врати, като са използвани съкращенията съответно „CB“ и „PB“. „Дебелината“ е 10 mm за стъклените и 50 mm за пожароустойчивите. Акустичният сигнал от източника, с който е реализирано изследването е бял шум.

A. Използвана апаратура и принадлежности

При експерименталното изследване е използвана следната апаратура и принадлежности:

- Преносим шумомер XL2, SN: A2A-12928-E0 с микрофон NTi Audio M2230, SNo. 6749, свързан към шумомера с 5 m кабел;
- Акустичен калибратор: SVANTEK SV 36, SN: 93277;
- Източник – високоговорител с вграден усилвател, излъчващ насочен бял акустичен шум във всички посоки: Thunder Model: THS-B801;
- Стойки за микрофон и източник на шум;

Received: 01.07.2026

Published: 26.07.2026

<https://doi.org/10.47978/TUS.2026.76.03.014>

Rosen Rusanov is with the Technical University of Sofia, Sofia, 1000, 8 Kl. Ohridski Blvd, Bulgaria (rusanov@tu-sofia.bg)

Krasimir Nedelchev is with the Technical University of Sofia, Sofia, 1000, 8 Kl. Ohridski Blvd, Bulgaria (krasined@tu-sofia.bg)

Velichka Ruykova is with the Technical University of Sofia, Sofia, 1000, 8 Kl. Ohridski Blvd, Bulgaria (velichka.ruykova@tu-sofia.bg)

В. Обекти на изследването

1) Стъклени врати (СВ) с дебелина на стъклото 10 mm:

1.1) с едно крило с височина 2,03 m и ширина 0,82 m (площ 1,9 m²) от фиг. 1.1;

1.2) с едно крило с височина 2,78 m и ширина 0,99 m (площ 2,75 m²) от фиг.2.1;

1.3) два почти еднакви броя с две крила с височина 2,40 m и ширина 2,80 m/ 2,81 m (всяка с площ 6,7 m²) от фиг. 3.1.

2) Пожароустойчиви врати (ПВ) с дебелина на крилото 55 mm и пълнеж минерална вата:

2.1) ПВ(1) с едно крило с височина 2,04 m и ширина 0,84 m (площ 1,7 m²) от фиг. 4.1;

2.2) с две крила с височина 1,98 m и ширина 2,13 m (площ 4,2 m²) от фиг.5.1;

2.3) с две крила с височина 2,76 m и ширина 3,36 m (площ 9,3 m²) от фиг.6.1;

2.4) с едно плъзгащо крило с височина 2,95 m и ширина 3,43 m (площ 10,1 m²) от фиг.7.1.

3) Два броя дървени врати, с приблизителна плътност 15kg/m² с добавена тапицерия (ТВ и ТВМ) и площ 2m², показани на фиг. 8.1 и фиг. 9.1.

Вратата ТВМ е запечатана с каменна вата и лист гипсокартон. От вътрешната страна е поставена каменна вата с дебелина 50 mm и плътност 100 kg/m³, и един лист гипсокартон с дебелина 12,5 mm, след което е измазан и боядисан гипсокартона.

С. Методика на измерването

Измервателните схеми на опитните постановки на реализираното изследване са показани на фиг.1.2; 2.2; 3.2; 3.2; 4.2; 5.2; 6.2; 7.2; 8.2 и 9.2.

Последователност на действията при измерването на различните варианти на изследване:

1) Осигуряване на напълно затворено състояние на изследваната врата;

2) Поставяне на микрофона на стойка във вътрешното помещение в хоризонтално положение на разстояние 1 m от изследваната врата и височина 1.4 m от пода;

3) Калибриране на преносимия шумомер с микрофона и с петметровия кабел и записване на естествения шумов фон;

4) Поставяне на източника на шум на предварително определеното разстояние от 2 m при външното помещение (за вратата от фиг. 4.2 е направен допълнителен опит с разстояние 1 m);

5) Поставяне на микрофона на стойка на разстояние 1 m от източника на акустичен шум и височина 1.4 m от пода;

6) Настройване на преносимия шумомер за запис на информация по терцооктави;

7) Пускане на акустичния източник с „бял шум“. Регулира се еквивалентното ниво на звуково налягане на генерирания „бял шум“ да е между 90 и 100 dB. След това настройките на източника се запазват същите при всички останали измервания.

8) Записва се нивото на звуков налягане по терцооктави за период от време поне 20 s,

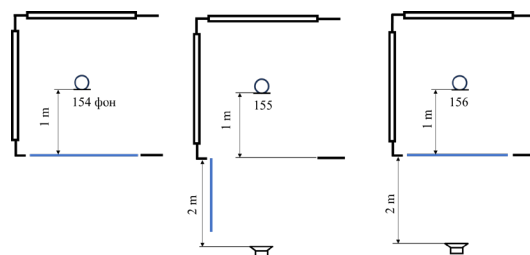
9) Премества се микрофона от вътрешната страна на врата в хоризонтално положение на височина 1.4 m от пода. Позиционира се на разстояние 1 m от вратата (източникът на шум не се мести).

10) Записва се нивото на звуков налягане по терцооктави за период от време поне 20 s,

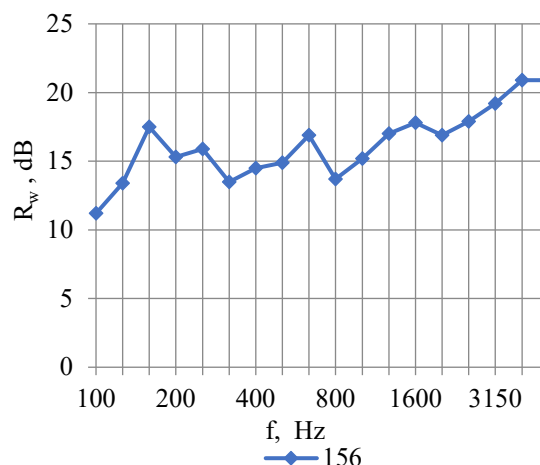
11) За вратите с ширина над 1 m се повтарят процедурите по т. 2; ;4; 5; 7 и 10 при съседно положение в помещението. При вратата от фиг. 5.2.2 е правено допълнително измерване без да се променя положението на източника на шум.



Фиг. 1.1. СВ(1) 1,9 m²



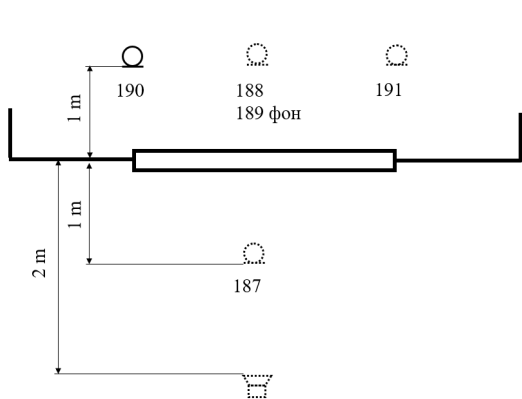
Фиг. 1.2. СВ(1) 1,9 m²



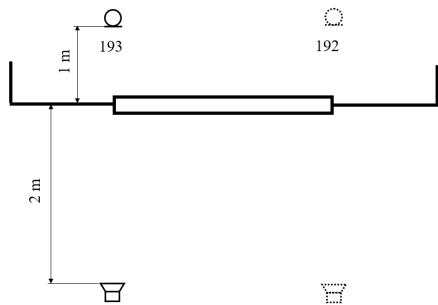
Фиг. 1.3. СВ(2) 1,9 m²



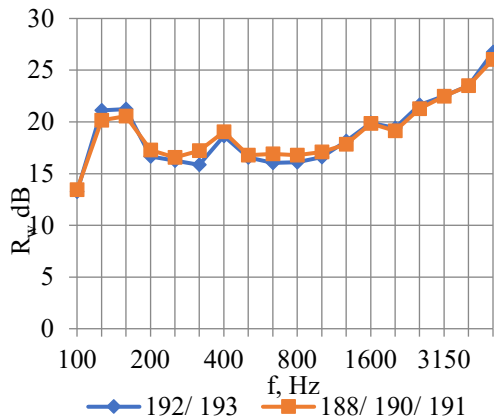
Фиг. 2.1. CB(2) 2,8 m²



Фиг. 2.2.1. CB(2) 2,8 m²



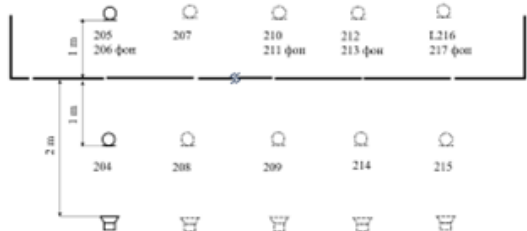
Фиг. 2.2.2. CB(2) 2,8 m²



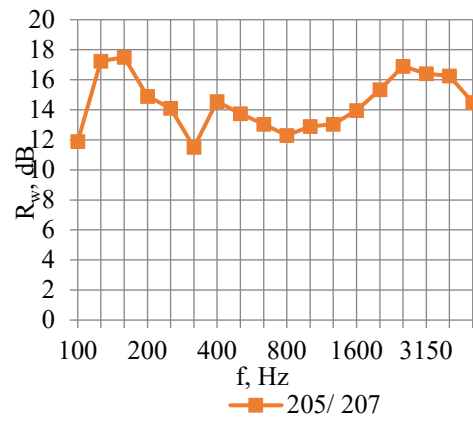
Фиг. 2.3. CB(2) 2,8 m²



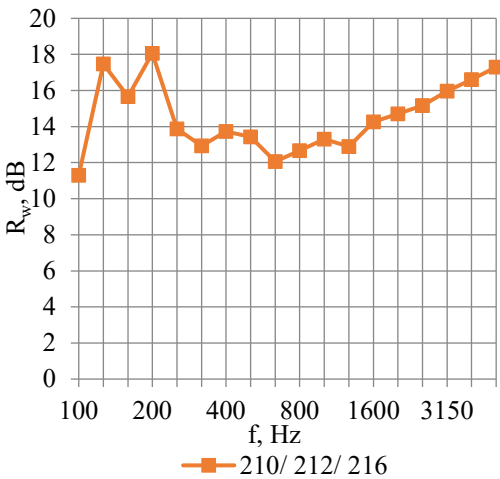
Фиг. 3.1 CB(3) 6,7 m²



Фиг. 3.2 CB(3) 6,7 m²



Фиг. 3.3.1 CB(3) 6,7 m²



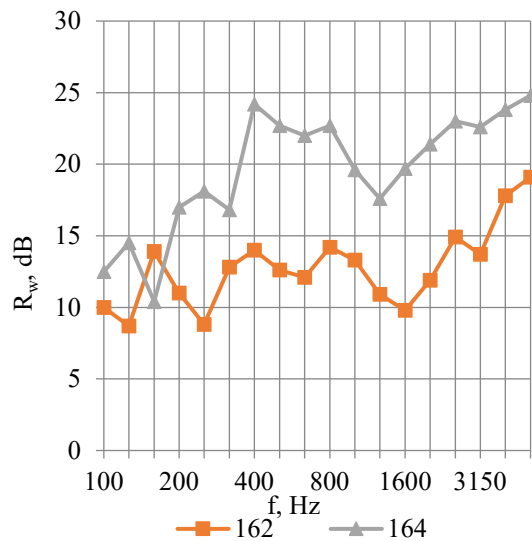
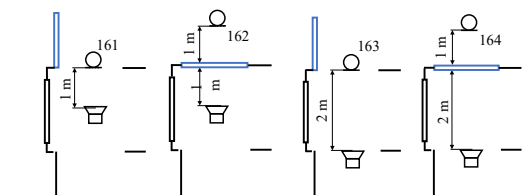
Фиг. 3.3.2 CB 6,7 m²



4.1 ПВ 1,7 m²



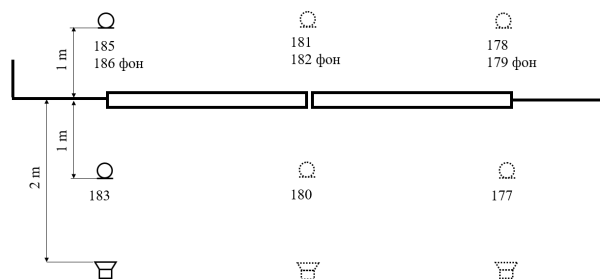
Фиг. 4.2 ПВ 1,7 m²



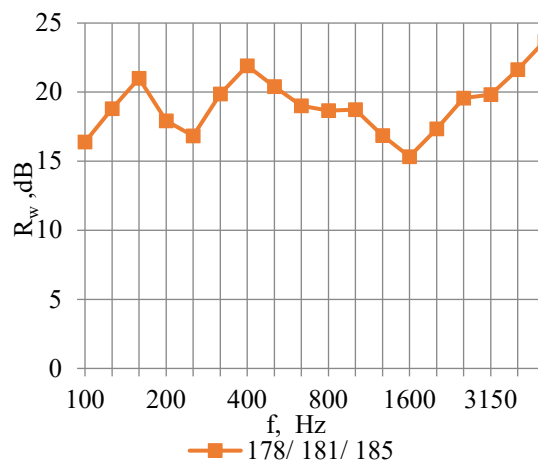
Фиг. 4.3. ПВ 1,7 m²



Фиг. 5.1 ПВ 4,2 m²



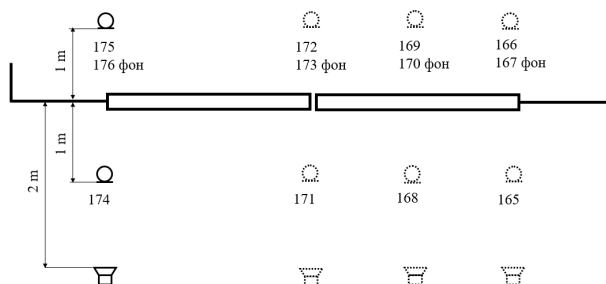
Фиг. 5.2. ПВ 4,2 m²



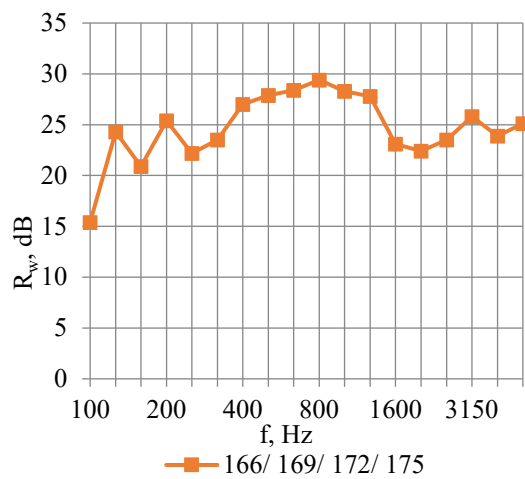
Фиг. 5.3. ПВ 4,2 m²



Фиг. 6.1 ПВ 9,3 m²



Фиг. 6.2 ПВ 9,3 m²



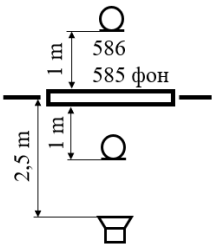
Фиг. 6.3 ПВ 9,3 м²



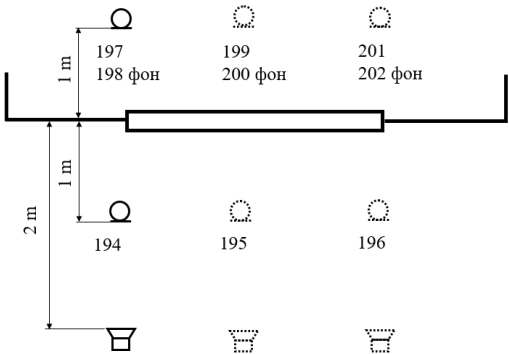
Фиг. 8.1 ТВ 2 м²



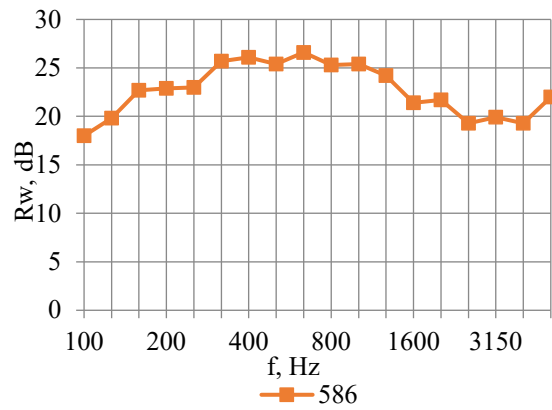
Фиг. 7.1 ПВ 10,2 м²



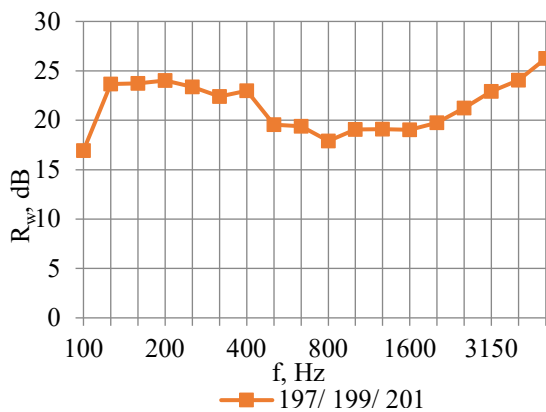
Фиг. 8.2 ТВ 2 м²



Фиг. 7.2 ПВ 10,2 м²



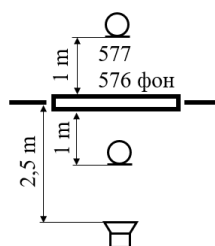
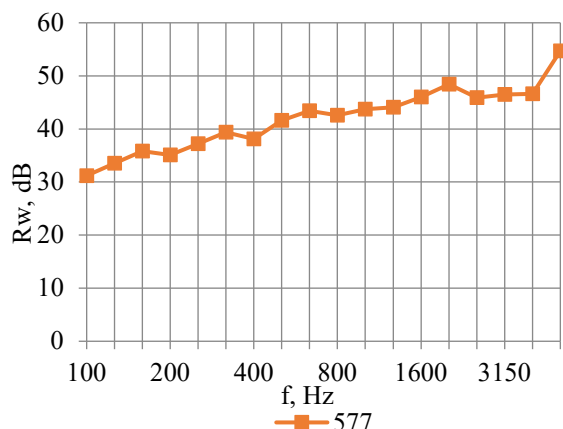
Фиг. 8.3 ТВ 2 м²



Фиг. 7.3 ПВ 10,2 м²



Фиг. 9.1 ТВМ 2 м²

Фиг. 9.2 ТВМ 2 m²Фиг. 9.3 ТВМ 2 m²

III. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

При сравнението на звукоизолационните свойства на трите типа врати спрямо тяхната конструкция и площ, базирайки се на стойностите на R_w и формата на честотните характеристики може да се установят следните стойности на избрания параметър, показани в таблица I:

ТАБЛИЦА I
РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

Тип врата	Дебелина, mm (относителна маса, kg/m ²)	Площ, m ²	R_w , dB	Ефективност
СВ1	10	1.9	18	ниска
СВ2	10	2.8	21	ниска
СВ3	10	6.9	17	ниска
ПВ1	50	1.7	(14*) 22	(ниска*) средна
ПВ2	50	4.2	20	ниска
ПВ3	50	9.3	25	средна
ПВ4	50	10.2	22	средна
ТВ	(15)	2.0	24	средна
ТВМ	(15)	2.0	45	висока

* - при разположение на източника на шум на 1m (на Фиг. 4.2)

От резултатите за стъклените врати може да се направи следните обобщения:

Вижда, че при стъклените врати се получава най-ниска звукоизолация. При тях също така се наблюдават най-големи въздушни междини между вратата и рамката, което определя също ниските им шумоизолиращи характеристики. Не са подходящи за помещения с високи изисквания за шумоизолация, ако не са поставени

плътнo един до друг отделните стъклени панели, врата е с малки хлабина спрямо касата.

Индекса на шумоизолация на стъкло с дебелина 10 mm е 30 dB(A) [12], което показва, че в конкретният случай имаме намаляване на шумоизолацията с над 30 % за всички изследвани варианти.

От резултатите за пожароустойчивите врати може да се направят следните обобщения:

- Минералната вата действа ефективно за абсорбиране на средни и високи честоти;

- Най-висока стойност на звукоизолация е при врата с площ 9,3 m².

Извода за пожароустойчивите врати е че са получени стабилни резултати. Подходящи са за технически и административни помещения. Осигуряват по-добра звукоизолация от стъклените.

От резултатите може да се обобщи:

Най-високи стойности на звукоизолация сред всички изпитани видове за обекта от фиг. 9.3;

Характеристиките са равномерни по целия честотен диапазон.

Тапицерията най-вероятно подпомага допълнителното затихване на звука, особено при високите честоти.

Извода за тапицираните врати от дърво е че са най-ефективни за звукоизолация – отличен избор за помещения с високи изисквания за тишина.

Обобщеното представяне на вратите от изследването е показано в таблица II.

ТАБЛИЦА II
ОБОБЩЕНИ РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО ПО ВИДОВЕ ВРАТИ

Тип врата	Дебелина, mm (относителна маса, kg/m ²)	Площ, m ²	R_w , dB	Ефективност
СВ	10	1.9 - 6.9	17 - 21	ниска
ПВ	50	1.7 - 10.2	(14*) 20 - 25	средна
ТВ	(15)	2.0	24 - 27	средна
ТВМ	(15)	2.0	45	висока

* - при разположение на източника на шум на 1m (на Фиг. 4.2)

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

- Стъклените врати са с най-ниска звукоизолация, особено при по-големи площи;

- Пожароустойчивите врати предлагат добра изолация, с подобрение при по-големи размери;

- Тапицираните врати от дърво имат най-висока изолационна способност.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] S. Secchi, N. Setola, L. Marzi and V. Amodeo, Analysis of the Acoustic Comfort in Hospital: The Case of Maternity Rooms, Buildings 2022, 12(8), 1117, <https://doi.org/10.3390/buildings12081117>.
- [2] J. Liu, X. Li, M. Li and Jiying Liu, A Numerical Investigation of the Trade-Off Between Sound Insulation and Air Ventilation for a Partially Open Door, Eng 2025, 6(9), 223; <https://doi.org/10.3390/eng6090223>.
- [3] M. Luiza, A. Borges, C. Maciel, R. Calixto, Laboratory Measurements Of Sound Insulation Of Commercial Doors, 19th International Congress of Mechanical Engineering Copyright © 2007 by ABCM November, 5 - 9, 2007, Brasília, DF.
- [4] V. Hongisto, Sound Insulation Of Doors - Part 1: Prediction Models For Structural And Leak Transmission, Journal of Sound and Vibration (2000) 230(1), 133-148, doi:10.1006/jsvi.1999.2609, <http://www.ideallibrary.com>.

- [5] V. Hongisto, J. Keragnen And M. Lindgren, Sound Insulation Of Doors - Part 2: Comparison Between Measurement Results And Predictions, Journal of Sound and Vibration (2000) 230(1), 149-170, doi:10.1006/jsvi.1999.2610, <http://www.idealibrary.com>.
- [6] Myung-Jun Kim, In-situ Sound Insulation Performance of Interior Doors with Slit-shaped Apertures, JAABE vol.11 no.1 May 2012
- [7] M. Carvalho, A. Oliveira, Laboratory measurements of sound insulation of commercial doors, 19th International Congress of Mechanical Engineering, 2007
- [8] J. Mahn, J. Pearse, Calculation of the Resonant Sound Reduction Index for use in EN12354, EURONOISE, 2012
- [9] ISO 26602.3-2016 - Window and door blocks. Method of measurement of sound insulation
- [10] ISO 3382-1:2009 Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 1: Performance spaces.
- [11] ISO 18233:2006 Acoustics – Application of new measurement methods in building and room acoustics.
- [12] <https://www.macocco.com/en/acoustic-insulation-index-r.html>

Comparison of sound insulation of glass and fire doors

Rosen Rusanov, Krasimir Nedelchev, Velichka Ruykova

Abstract: This article presents the results of a study of the soundproofing characteristics of three types of doors – glass, fire-resistant /with mineral wool filling/ and wooden /plywood filled with wooden profiles/. Unlike standard laboratory tests, the aim of the study is to measure the real soundproofing of doors in the conditions of their final operating environment, i.e. at the installation site. The measurements were carried out in several rooms with different functions, using precise devices for determining the sound pressure level. The results of the study were analyzed. The results show that despite the different construction, both types of doors demonstrate limited soundproofing capabilities, especially at low and medium frequencies. The conclusions drawn emphasize the need to take additional measures or alternative solutions when it is necessary to ensure a high value of the soundproofing characteristics of the doors used.

Keywords: soundproofing; sound pressure level; sound reduction index; third-octave frequency band; white noise; door.