

Изследване на акустичните характеристики на двукрила врата при различно положение на крилата

Росен Русанов¹, Валери Трифонов и Красимир Неделчев

Технически университет – София, бул. „Кл. Охридски“ №8, 1000 София, България

¹ E-mail: rusanov@tu-sofia.bg

Резюме. В работата се изследва влиянието на положението на крилата на двукрила врата на полубезехова камера върху акустичните характеристики на проходното сечение на вратата. Измерването е реализирано при три положения на вратата. Анализирани са резултатите и са оценени акустичните характеристики при изследваните варианти.

1. Въведение

При съвременните жилищни и нежилищни помещения има редица специфични изисквания по отношение осигуряването на необходимата им звукоизолация. Това се постига, чрез осигуряване на високи шумоизолиращи характеристики на четирите структурни елемента на жилищата: стени, прозорци, врати и под. За постигането им се правят стандартизирани измервания в лабораторни условия на характеристиките на материалите, които се вграждат в структурните елементи [1÷8]. За подобряване на шумоизолиращите характеристики на структурните елементи се разработват различни конструктивни решения, които се изследват и оценяват със стандартизирани методи в лабораторни условия [9÷12]. Осигуряването на необходимата ефективност на звукоизолация при вратите представлява сериозна техническа трудност, защото от една страна има геометрични ограничения при тяхното проектиране, а от друга - вратата е подвижен конструктивен елемент, при който възникват проблеми по отношение на акустичната херметизация в местата на контакт и с нейната каса. Друг проблем за постигането на необходимата висока ефективност на звукоизолация е реално постигнатите параметри при лабораторни условия, да бъдат осигурени и след строителния монтаж. В повечето случаи те са с по-ниски стойности от декларираните от производителя, реализирани при изпитване в стандартизирани лабораторни условия. Това налага необходимостта от експериментално определяне на шумоизолиращите характеристики на врата след нейния монтаж.

Целта на работата е опитно да се оцени звукоизолиращата способност на монтирана, индустриална двукрила врата. Като параметър за оценка се използва „индекс за намаляване на звука“.

2. Методика на изследването

Изследването се състои в измерване на нивото на звуково налягане в терцоктавна честотна лента в една точка в помещението (безеховата камера) (L_S) и в три точки извън помещението (L_R) (фиг. 1). След това се определя разликата между нивото на звуково налягане в помещението (т. 1, фиг.1) и това извън помещението (т.2, фиг.1) от полученият резултат се изчислява „Индекс на

намаляване на звука“, изчисленията са реализирани съгласно стандарта [9÷12]. Параметърът „Индекс на намаляване на звука“ - R_w , се получава в dB и се използва като основен критерий за оценка на шумоизолацията на изследвания обект – двукрила врата. Акустичният сигнал от източника, с който е реализирано изследването е бял шум.

2.1. 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;

2.2. Обект на изследването

Обект на изследването е двукрила врата със следните характеристики:

- 1) Размери:
 - a. Височина: 2000 [mm];
 - b. Ширина: 2000[mm];
 - c. Дебелина: 60 [mm].
- 2) Носеща конструкция: стоманена ламарина;
- 3) Пълнеж на вратата: гипс;
- 4) Праг от ламарина и пълнеж от гипс с височина: 60 [mm];
- 5) Уплътнение: двойно, едно на вратата и едно на касата на вратата;
- 6) Отваряне на крилата на вратата: навън;

2.3. Методика на измерването

Измервателна схема на опитната постановка на реализираното изследване е показана на фиг.1.

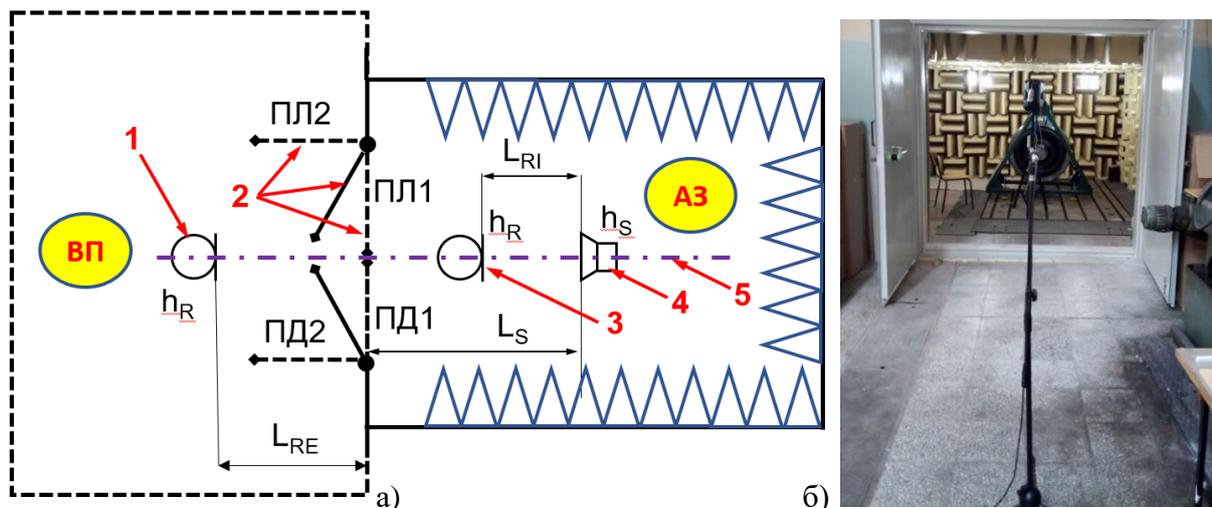
Измерването е реализирано при общо девет измервателни схеми, получени в зависимост от:

- 1) *Разстояние между микрофона (1 от фиг.1) и изследвания обект.* Микрофона е разположен на разстояние: 1, 2 и 3 m от външната страна на вратата в равнината на симетрия на отвора на вратата.
- 2) *Положение на елементите (крилата на вратата) на изследвания обект:* затворени крила на вратата (ПЛ1-ПД1); отворено едно крило на вратата (ПЛ2-ПД1 или ПЛ1-ПД2) и отворени две крила на вратата (ПЛ2-ПД2).

Последователност на действията при измерването на различните варианти на изследване:

- 1) Поставяне на източника на шум на предварително определеното разстояние ($L_s = 1.95$ m) и височина ($h_s = 1.4$ m).
- 2) Затваряне на вратите на акустичната зала (Вариант 1 на разположение на вратите);
- 3) Калибриране на преносимия шумомер с микрофона и с петметровия кабел.
- 4) Поставяне на микрофона на стойка в акустичната зала в хоризонтално положение на разстояние $L_{R1} = 1$ m от източника на акустичен шум и височина $h_s = 1.4$ m от пода.
- 5) Настройване на преносимия шумомер за запис на информация по терцооктави.
- 6) 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.
- 7) Записва се нивото на звуково налягане по терцооктави за период от време поне 20 s, както и L_{Aeq} и L_{Zeq} .

- 8) Премества се микрофона от външната страна на врата в хоризонтално положение на височина $h_R = 1.4 \text{ m}$ от пода. Поставя се последователно на разстояние (L_{RE}) 1 m, 2 m и 3 m (положение 1, фиг.1) от вратата (източникът на шум не се спира).
- 9) Записва се нивото на звуков налягане по терцооктави за период от време поне 20 s, за всяко от трите положения на микрофона.
- 10) След това се отваря едното крило на вратата и се извършват следващите четири измервания, като се повтарят процедурите по точки 4, 7, 8 и 9.
- 11) Последните три измервания се реализират при отворени и двете крила на вратата. Повтарят се процедурите по точки 4, 7, 8 и 9.



Фигура 1. а) Обща измервателна схема на проведеното изследване. б) Снимка на опитната постановка и обекта на изследване.

На общата измервателна схема показана на фиг. 1 а) са използвани следните обозначения:

АЗ – акустична зала;

ВП – външно помещение;

1 – микрофон разположен от външната страна на вратата на акустичната зала;

2 – крило на акустичната врата в различно положение;

3 – микрофон разположен от вътрешната страна на вратата на акустичната зала;

4 – източник на акустичен шум;

5 – равнина на симетрия на изследвания обект (не съвпада с равнината на симетрия на нито едно от помещенията);

$h_R = 1.4 \text{ m}$ – височина на разположение на микрофона разположен от външната страна на вратата на акустичната зала;

$h_S = 1.4 \text{ m}$ – височина на разположение на микрофона разположен от вътрешната страна на вратата на акустичната зала;

L_{RE} – разстояние между микрофона и външната страна на вратата: 1 m, 2 m и 3 m;

$L_{RI} = 1 \text{ m}$ – разстояние между микрофона и източника на акустичен сигнал;

$L_S = 1.95 \text{ m}$ – разстояние между източника и вътрешната страна на вратата;

ПЛ1 – положение (1) на лявото крило на акустичната врата, затворено;

ПЛ2 – положение (2) на лявото крило на акустичната врата, отворено на 90° ;

ПД1 – положение (1) на дясното крило на акустичната врата, затворено;

ПД2 – положение (2) на дясното крило на акустичната врата, отворено на 90° ;

3. Резултати от изследването

В таблица 1 са показани резултатите от измерените и изчислени индекси за намаляване на звука по терцооктави различните положения на крилата на вратата при различно разстояние на микрофона от тях.

Таблица 1. Индекса за намаляване на звука по терцооктави при различно разположение на крилата на вратата и разстояние на измервателния микрофон.

$f_{1/3\text{октави}}$ Hz	R ₁₁ dB	R ₁₂ dB	R ₁₃ dB	R ₂₁ dB	R ₂₂ dB	R ₂₃ dB	R ₃₁ dB	R ₃₂ dB	R ₃₃ dB
50	19.6	20.2	14.9	4,4	4,3	8,3	3,7	7,0	11,1
63	16.1	18.1	18.2	-4,8	-2,0	-0,2	-2,3	0,4	2,4
80	12.6	13.9	16.0	-9,0	-7,6	-6,4	-3,4	-1,4	-0,2
100	28.0	29.9	29.1	10,7	10,8	9,4	8,5	9,8	9,0
125	30.8	35.4	32.1	11,1	16,6	12,5	12,0	12,1	7,3
160	38.4	40.9	43.5	8,7	13,8	16,4	5,1	13,5	7,9
200	32.0	36.7	39.9	8,0	11,8	17,4	6,4	9,4	10,9
250	29.7	30.4	34.2	4,1	5,5	9,3	5,5	4,0	7,3
315	33.2	30.3	32.4	7,9	5,2	7,4	7,6	3,6	5,1
400	32.5	31.4	35.8	9,1	7,3	7,9	3,7	3,9	1,8
500	32.0	33.5	36.5	8,0	11,8	11,9	4,7	8,3	7,5
630	34.0	35.8	39.0	6,1	5,9	10,4	0,7	0,6	9,1
800	30.2	30.2	33.6	10,1	0,9	7,1	8,6	-2,9	6,1
1000	26.3	28.6	28.3	10,7	11,6	8,9	5,0	8,8	2,9
1250	24.5	27.0	26.6	6,3	9,9	9,8	3,3	6,2	7,4
1600	27.7	28.7	30.3	10,3	10,2	10,3	6,3	6,5	6,4
2000	30.5	30.7	33.9	9,2	11,3	12,5	4,7	6,1	7,1
2500	33.2	32.5	33.7	8,6	9,9	10,9	3,3	5,3	7,5
3150	35.9	36.6	39.2	8,5	12,0	12,9	3,8	7,7	9,3
4000	36.9	38.8	39.2	11,9	11,8	11,3	6,6	6,8	6,6
5000	39.5	41.0	42.2	12,5	13,8	17,6	6,5	8,5	8,7
6300	41.5	42.4	43.5	14,3	15,6	17,5	7,9	9,9	11,0
8000	40.7	40.4	42.1	13,4	15,4	17,3	7,1	10,1	8,4
10000	37.6	37.0	36.6	9,2	9,9	12,6	2,3	3,9	3,1
R _w	31	32	33	10	10	12	6	6	8

В таблиците са използвани следните обозначения:

$f_{1/3\text{октави}}$ – терцооктавна честота [Hz];

L_{Aeq} – еквивалентно ниво на звуково налягане по скала A, [dB];

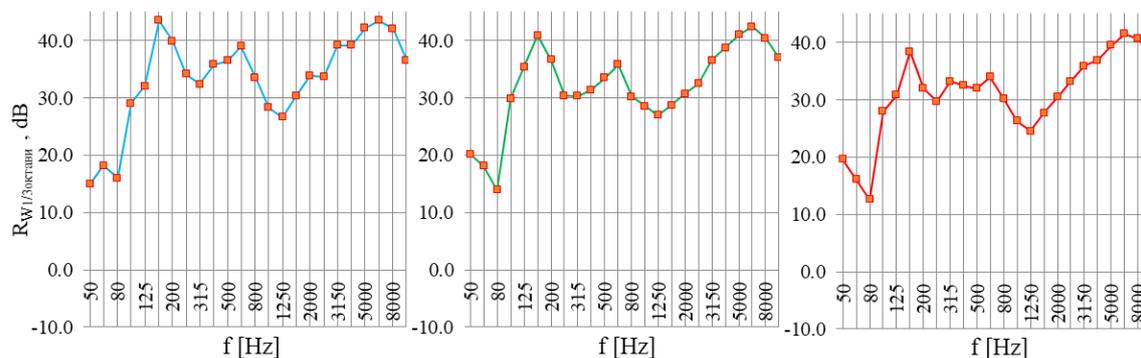
L_{Zeq} – еквивалентно ниво на звуково налягане по скала Z, [dB];

$R_{i,j}$ – индекса за намаляване на звука по терцооктавни честоти, [dB];

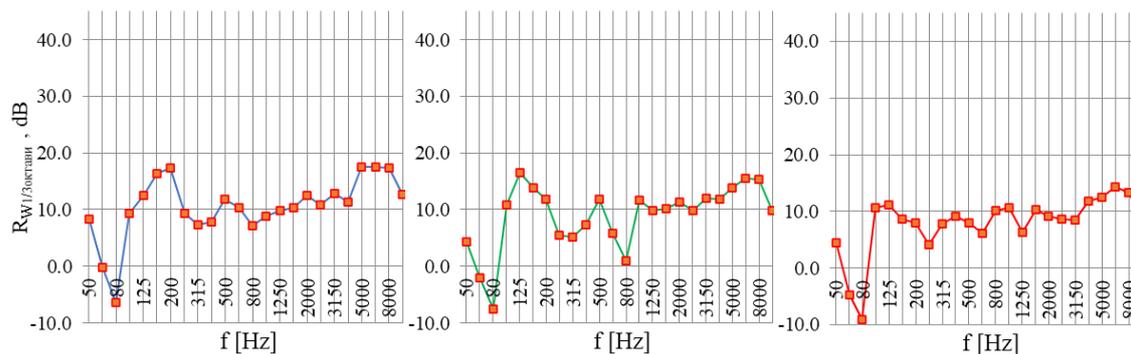
i – индекс показващ положението на вратите: 1 – затворени крила на вратата; 2 – отворено едно от крилата на вратата; 3 – отворени и двете крила на вратата;

j – индекс, показващ положението на микрофона, разположен от външната страна вратата: 1 – на 1 m от вратата; 2 – на 2 m от вратата; 3 – на 3 m от вратата;
 R_w – теглови индекс за намаляване на звука, [dB];

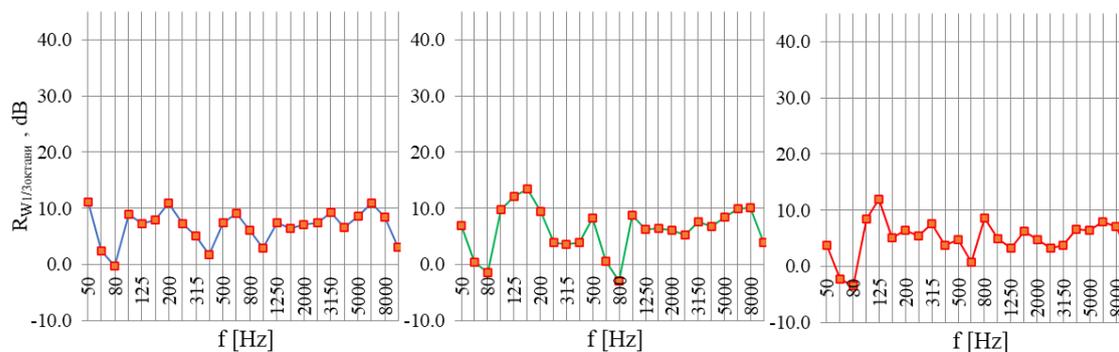
На фигури 2, 3 и 4 са показани графиките на изменение на индекса за намаляване на звука при различно положение на крилата на вратата и разстояние на микрофона от нея.



Фигура 2. При затворени крила на вратата. Индекс за намаляване на звука по терцооктави - $R_{1/3\text{октави}}$, при разположение на микрофона на разстояния 3; 2 и 1 m от вратата.



Фигура 3. При отворено едно крило на вратата. Индекс за намаляване на звука при разположение на микрофона на разстояния 3; 2 и 1 m от вратата.



Фигура 4 При отворени и двете крила на вратата. Индекс за намаляване на звука по терцооктави - $R_{1/3\text{октави}}$, при разположение на микрофона на разстояния 3; 2 и 1 m от вратата.

4. Анализ на резултатите от изследването

4.1. В съответствие с очакванията, видно от данните при почти всички измервателни схеми и честоти, индекса за намаляване на звука се увеличава с увеличаване на разстоянието между микрофона и източника на шум.

4.2. При затворени крила на вратата се наблюдават три ясно изразени максимума индекса за намаляване на звука. Те са при честоти 160, 630 и 6300; Hz, като стойността на индекса за намаляване на звука е между 38 dB и 44 dB.

4.3. От резултатите се вижда, че в диапазона 630 – 2500 Hz намалява ефективността на шумопоглъщането, като най-ниската стойност на индекса за намаляване на звука се получава при затворени крила на вратата и честота 1250 Hz (24 dB до 27 dB).

4.4. При измервателната схема със затворени крила на вратата при честота 80 Hz е установена най-ниска стойност (2-3 пъти от тази за целия честотен диапазон) на индекса за намаляване на звука (между 12.6 dB и 16 dB).

4.5. Поради ефекта на отразяване и наслагване на вълните при честоти 63Hz и 80 Hz се наблюдава усилване на нивото на звуково налягане, което се вижда от ниските и отрицателните стойности индекса за намаляване на звука (табл.1, от -9 до 0.4 dB). Аналогични са резултатите (от -2,9 dB до 0.6 dB) при честоти 630 Hz и 800 Hz и две отворени крила на вратата (при микрофон разположен на 2 m от вратата). При отворено едно крило на вратата този ефект е силно изразен при 800 Hz (0.9 dB) и при микрофон разположен на 2 m от вратата.

4.6. От резултатите се вижда, че теглови индекса за намаляване на звука намалява приблизително три пъти (30dB/10dB) при отваряне на едното крило на вратата и около пет пъти (30dB/6dB) при отваряне и на двете крила на вратата.

4.7. При измервателната схема с отворено едно крило на вратата поради ефекта на отразяване и наслагване на вълните при честоти 100, 315, 400, 800, 1000, 1600 и 4000 Hz се наблюдава усилване на нивото на звуково налягане, което се вижда от по-високите стойности индекса за намаляване на звука при микрофона разположен на разстояние 1 [m] (с до 4 dB) в сравнение с тези измерени от микрофона разположен на 3 [m].

5. Заключение

Получените от измерванията резултати показват, че при затворени крила на вратата теглови индекса за намаляване на звука (R_w) има стойности в диапазона 32 – 33 dB, което е един много добър показател за шумоизолацията на вратата.

Благодарности

Публикацията е реализирана с финансовата подкрепа на проект към ФНИ: КП-06-ПН37/45 от 06.12.2019 г - “Идентификация и изследване на акустичните параметри на шумозащитни прегради чрез Съвременни Инженерни Технологии” /рък. проф. дн. инж. Иван Кралов, 12.2019-2023/

Литература

1. P. Bonfiglio, P. Fausti, Determination of Sound Reduction Index by impulse response measurements, *acoustica*, 2004
2. E. Lumnitzer, M. Andrejiova and A. Yehorova, Analysis of the Dependence of the Apparent Sound Reduction Index on Excitation Noise Parameters, *Applied Sciences*. 2020, 10, 8557; doi:10.3390/app10238557.

3. V Erofeev and D Monich, Sound insulation properties of sandwich panels, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 896 (2020) 012005, IOP Publishing, doi:10.1088/1757-899X/896/1/012005.
4. A. Saarinen, Sound insulation of facade and the evaluation of the tolerances of standard pren 12354-3, The 29th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, France, 2000.
5. W. Larbi, C. Soussi, J Deü, R. Sampaio, Sound transmission loss through double glazing windows in low frequency range, Proceedings of the XV International Symposium on Dynamic Problems of Mechanics, 2019.
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 354:2003 Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room
12. ISO 18233:2006 Acoustics – Application of new measurement methods in building and room acoustics.

Investigation of the acoustic characteristics of a double-leaf door at different wing positions

Rosen Rusanov¹, Krasimir Nedelchev, Valeri Trifonov

Technical University – Sofia, Department of Mechanics, Faculty of Transport,
8 Kliment Ohridski Blvd., 1000 Sofia, Bulgaria

¹ E-mail: rusanov@tu-sofia.bg

Abstract: The paper examines the influence of the position of the wings of a double-leaf door of a semi-aperture chamber on the acoustic characteristics of the passage section of the door. The measurement is performed in three positions of the door. The results were analyzed and the acoustic characteristics of the studied variants were evaluated.