



DOI: [10.71167/uaceg.2026.590115](https://doi.org/10.71167/uaceg.2026.590115)

Получена: 02.09.2025 г.

Приета: 05.01.2026 г.

## ПРЕНАСЯНЕ НА ШУМА ПРЕЗ ПРОСТРАНСТВОТО МЕЖДУ ДВОЙНИ СТРОИТЕЛНИ ЕЛЕМЕНТИ

Н. Иванова<sup>1</sup>

*Ключови думи:* акустика, звукоизолация, строителна физика, строителни материали и конструкции, строителни елементи

### РЕЗЮМЕ

В съвременните сгради все по-широко намират приложение леките двойни преградни стени и остъклени фасади. Това се дължи на тенденциите на съвременната архитектурна мисъл, на голямото разнообразие от строителни изделия и материали и на стремежа от прилагането на нови проектантски решения. Основна тенденция е и установяването на все по-точни норми за звукоизолация, както и методи за осигуряване на акустичен комфорт в помещенията на жилищни и обществени сгради. Във връзка с това се усъвършенстват решенията на подходящи конструкции, удовлетворяващи строително-физичните изисквания.

Някои съвременни конструкции показват все пак недостатъци, които влошават звукоизолацията и водят до нежелани ефекти. За да се установи влиянието на звукоразпространението във въздушната междина и звукопреминаването през отворите за вентилация на двойни стъклени фасади, беше разработен модел от шперплат. Това позволи изследването на някои фактори, играещи роля върху надлъжната звукоизолация при двойни конструкции като големината на въздушната междина от 20 до 120 cm и размерите и местоположението на отворите за вентилация. Направени бяха изводи и препоръки за подобряване на акустичните показатели на двойни конструкции.

Подобни ефекти възникват както в стъклените фасади, така и в леките преградни стени, окачените тавани, повдигнатите подове, предстенните обвивки и др., при които за отчитане на комплексното влияние на обходните пътища има нужда от различни акустични изследвания. Това изследване може да даде насока за перспективите за бъдещото развитие на строително-физичните изследвания на двойни конструкции.

<sup>1</sup> Наталия Иванова, гл. ас. д-р инж., кат. „Физика“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: [bobeva\\_fhe@uacg.bg](mailto:bobeva_fhe@uacg.bg)

## 1. Въведение

Развитието и все по-широкото прилагане на модерните сглобяеми конструкции е следствие на стремежа към намаляване на сроковете за изпълнение, търсенето на възможности за олекотяване на конструкциите, както и на желанието за гъвкавост на планировъчните решения в зависимост от променените функции на помещението в процеса на експлоатация.

Освен това започва да се цени не само външният вид, доброто разпределение и функция, а и здравословният начин на обитаване. Като основен фактор се явява шумът, влияещ освен на здравето и на работоспособността, концентрацията и благоразположението на обитателите. Затова започва да се обръща все по-голямо внимание за осигуряване на акустичен комфорт в помещенията на жилищни и обществени сгради.

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. Във връзка с това са усъвършенстват решенията на подходящи конструкции, удовлетворяващи строително-физичните изисквания [1, 2].

Някои съвременни конструкции показват все пак недостатъци, които влошават звукоизолацията и водят до нежелани ефекти. Малко изследвано е досега звукоизолацията във въздушната междина, както и звукопреминаването през отвори за вентилация на двойни стъклени фасади.

Подобни ефекти възникват и в леки преградни стени, окачени тавани, повдигнати подове, предстенни обшивки и др., които също се нуждаят от акустични изследвания.

В литературата почти не се засяга темата за звукоизолационното поведение и акустичните слабости на двойната стъклена фасада. Бегло се засягат въпросите за звуковото отразяване върху вътрешната повърхност на въздушната междина (т.нар. телефонен ефект), чрез което се повишават вътрешните шумове чрез предаване от помещение в помещение. Разглежда се телефонният ефект като ограничение на дискретността и се счита, че той причинява здравословни проблеми на обитателите. Двойните стъклени фасади са целесъобразни при шумово и ветрово натоварени райони и дават възможност за вентилиране през прозорците. При външна обвивка от еднослойно стъкло и вътрешна от изолационно стъкло се осигурява по-добра звукоизолация.

В заключение, приложението на фасадни елементи от стъкло поставя на преден план строително-физичните проблеми.

Цел и задачи:

- Изследване на някои фактори, играещи роля върху надлъжната звукоизолация при двойни конструкции:
  - големина на въздушната междина;
  - размери и местоположение на отвори за вентилация.
- Честотен анализ на поведението на конструкцията при различна големина на въздушната междина (от 20 до 120 cm) и при варианти на вентилационни отвори.
- Изводи и препоръки за подобряване на акустичните показатели на двойните конструкции.

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 излъчването на шума от другата страна на източника.

При резонансните честоти възниква намаляване на звукоизолационната способност, затова елементите се избират така, че тя да попада в ниските честоти (под 80 Hz). За честотата на вълново съвпадение стремежът при леките конструкции е да се изтегли максимално във високите честоти и по възможност да попада над 5 kHz [3, 4].

Стъклените двойни конструкции са един от примерите за прилагането на такива многослойни елементи. Една модерна стъклена фасада е необходимо до осигурява многофункционални изисквания, като технологичност на монтажа; естетика; топло-, звуко- и пожарозащита; приемлива експлоатационна поддръжка; оптимални разходи за охлаждане през летния период; екологосъобразност и др.

Почти всяка фасада е прототип – нейното проектиране изисква широкоспектърен и практически опит за комплексен анализ на нейните функции и ефективност.

Голямото разнообразие на използваните архитектурни решения затруднява класификацията на двойните стъклени фасади. Гертис [1] разглежда двойните стъклени фасади, като ги класифицира според следните три белега:

- разположение на стъклената обвивка;
- наличие на вентилационни отвори във вътрешната обвивка (слой) и такива в двете обвивки;
- сегментиране на стъклената двойна фасада, при което въздушната междина може да е изпълнена непрекъсната или разделена на участъци; факторът разчленяване се отразява значително върху звукопреминаването.

Други автори [2 – 4] разглеждат пет типа двойни стъклени фасади:

- несегментирана окачена фасада;
- вентилируема фасада;
- коридорна фасада;
- фасада кутия-кутия;
- фасада кутия-шахта.

Във връзка със звукоизолацията се застъпва частично мнението, че двойната стъклена фасада намалява проникването на външен шум. Разчленяването на въздушната междина намалява шума от съседния офис. Една несегментирана буферна зона, напротив, го засилва чрез т.нар. телефонен ефект. Отворите за вентилация намаляват шумозащитната функция. Въздушната междина влияе върху шумопренасянето. Някои източници назовават стойности за индекса на звукоизолация от въздушен шум за тези фасади в рамките на 35 – 40 dB, а други дават едно повишение на звукоизолацията в сравнение с една еднослойна стъклена фасада с 15 до 20 dB, като при голям процент на остъкляване (над 16 %) отваряема част подобряване вече не се отчита. От [3] следва, че при 10 % отваряема част на външната обвивка подобряването на звукоизолацията е 3 – 6 dB, при 5 % до 10 dB и при 0 % – 20 dB. Според някои източници около 30 % от разчленените фасади имат надлъжна звукоизолация 58 dB и 20 % от тях осигуряват 31 dB.

При двойните стъклени фасади на базата на тяхното конструктивно изграждане се отбелязва по-голямо разстояние между слоевете в сравнение с двойните стени, така че въздушната междина по-скоро представлява плоско помещение.

## 2. Теоретични постановки

Двойните конструкции работят в акустично отношение на принципа маса-пружина-маса, като динамичната коравина на въздушния слой и запълващия материал действа като пружина. Поведението на трептене на тази система е честотнозависимо. В сравнение с еднослойните конструкции звукоизолацията им се влошава при резонансния спад в честотната характеристика. Над резонансната честота следва подобрене на звукоизолацията с 18 dB за октава. Целесъобразно е резонансната честота да е максимално ниска  $fR < 80$  Hz. Това се постига чрез по-тежки плоскости и по-големи разстояния между тях и ниска динамична коравина на запълващия материал.

Чрез отражения във въздушната междина се наблюдава усилено разпространение на звука в нея. В зависимост от нейната големина възникват резонанси във високия, а възможно и в средния честотен диапазон в резултата на трептенията на въздуха.

Ако големината на въздушната междина е кратна на половината от дължината на звуковата вълна, тогава при собствени честоти съгл. формула (1) се отчита понижаване на звукоизолацията.

$$f_{\lambda n} = \frac{17000n}{d_L}, \quad (1)$$

където  $d_L$  е разстояние между плоскостите в см.

$n$  – естествени числа 1, 2, 3, ...

При разстояние между плоскостите, което е значително по-малко от дължината на вълната ( $d \ll \lambda$ ), няма разпространение на вълни.

Коинциденсната честота  $f_c$  (честота на вълново съвпадение) на съставните елементи е важен фактор, от който зависи общата звукоизолация на двойните конструкции. Тя се изчислява по формула (2):

$$f_c = 64 \frac{1}{d} \sqrt{\frac{\rho}{E}}, \quad (2)$$

където  $E$  е модулът на еластичност в N/m<sup>2</sup>;

$\nu$  – число на Поасон;

$d$  – дебелина на плоскостта, m.

След заместване със съответните стойности за конкретните материали се получава резултат за  $f_c = 2259,2$  Hz за прилаганите шперплатови плоскости (обемно тегло 638 kg/m<sup>3</sup>, дебелина 16 mm) при повърхнинна маса 10,21 kg/m<sup>2</sup>.

От една страна трябва да се изчислят резонансите на въздушната междина. От друга страна, тъй като изпитваният обект е съставен от една леко огъваща се плоскост, чиито собствени трептения причиняват резонанси, този ефект се изследва по долу.

### *Трептения на плоскостта*

Собствените трептения на една равнинна плоскост, която е подпряна по краищата, се изчислява по формула (3):

$$f_n = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{B'}{m'}} \left[ \left( \frac{n_x}{a} \right)^2 + \left( \frac{n_y}{b} \right)^2 \right], \quad \text{Hz}, \quad (3)$$

където  $B'$  е огъването на плоскостта, отнесена към нейната ширина, определена по формула (4) в N.m;

$n_x, n_y$  – естествени числа 1, 2, 3, ...;

$a, b$  – размери на страните на плоскостта, m;

$$B' \approx \frac{Ed^3}{10,5}, \text{ N.m.} \quad (4)$$

За използваните в модела плоскости като пример са изчислени първите собствени трептения, като  $f_1 = 17 \text{ Hz}$ .

Те са под акустичния честотен обхват в строителството ( $< 50 \text{ Hz}$ ) и затова не са от интерес за това проучване.

Между две успоредни и силно рефлектиращи плоскости, например части от двойни конструкции, възниква флатер ехо. Вълновият лъч се разлага на една основна и две отразени дъги. Когато едната от отразените дъги срещне срещуположната стена, отражението се повтаря, като че ли възниква нов източник. Този процес се повтаря произволно често, особено при силно рефлектиращи повърхности [5].

Един от параметрите, от които зависи звукоизолацията от въздушен шум на строителни конструкции, е надлъжната звукоизолация, обозначена в европейските норми като приведена нормативна разлика в звуковото ниво  $D_{n,c,w}$ . Тя се измерва по ISO 10848-2 [6].

$D_{n,c}$  е нормативната разлика в звуковото ниво за окачени тавани по честоти, изчислена по формула (5).

$$D_{n,c} = D - 10 \lg \frac{A}{A_0}, \text{ dB.} \quad (5)$$

$$D = L_1 - L_2, \text{ dB,} \quad (6)$$

където  $L_1$  е ниво на звуковото налягане в помещението източник в dB,

$L_2$  – ниво на звуковото налягане в помещението приемник в dB,

$A$  – повърхнина на звукопоглъщане в  $\text{m}^2$ ;

$A_0$  – стандартна повърхнина на звукопоглъщане =  $10 \text{ m}^2$ .

Параметърът  $D_{n,c,w}$  за окачени тавани се получава след оценка по EN ISO 717-1 [7].

### 3. Експериментална част

Измерва се надлъжната звукоизолация на двойни конструкции без и със отвори. За изследването на влиянието на големината на въздушната междина отворите, както и тяхното местоположение, е избран съществуващият стенд за окачени тавани на Фраунхофер Институт по Строителна Физика. Този стенд позволява посредством подвижния масивен таван да се реализира различна въздушна междина. Наличната технология позволява да се изпитват голям брой варианти при малък разход на време и средства, поради това, че се избягва многократният монтаж и демонтаж на изпитваната лека конструкция.

Подвижният монолитен таван на стендовата конструкция се приема за единия елемент на двойната конструкция. Един от показателите, въз основа на който е направен избора на втория елемент, е коинциденлната честота на стъклото, използвано в практиката на този вид фасадни стени.

Сравнителното изчисление на коинциденлната честота на различни материали показва добро съвпадение на материала шперплат със стъклото.

По формула (2) е изчислена коинциденлната честота за 16 mm шперплат.

Необходимите характеристики на двата материала за изчислението са дадени в табл. 1.

**Таблица 1. Характеристики на използваните материали**

	Обемно тегло $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Модул на еластичност $E$ , GPa
Стъкло	2500	60 – 80
Шперплат	683	2 – 5 (4,6)

Това дава основание експерименталната работа да се проведе с втори елемент, изпълнен от шперплат с дебелина 16 mm.

Използваният стенд се състои от две различно дълги помещения, разделени чрез една преградна стена с висока звукоизолация (70 dB) (фиг. 1). Помещение 1 има обем в зависимост от големината на въздушната междина между 61,2 m<sup>3</sup> и 49,23 m<sup>3</sup> и помещение 2 – от 80,2 m<sup>3</sup> до 64,49 m<sup>3</sup>. Масивният стоманобетонен таван е подпрян на винтови повдигачи, така че механично може да се придвижва стъпаловидно във височина. Чрез лекия окачен таван се образува една непрекъсната въздушна междина.



**Фиг. 1. Стенд за изпитване с повдигащ се таван и уред за измерване Nordsonik 830**

Повдигащата система на изпитващата постановка спестява монтаж и демонтаж, тъй като безпроблемно грубият таван се настройва на необходимата височина. Наличното пневматично надуваемо уплътнение осигурява необходимата защита от смущаващи шумове извън стенда (фиг. 1). Във въздушната междина е изпълнен звукопогълещ

материал по вертикалната част на двете ѝ страни с оглед на намаляване на отражението на звука. С това се стимулира непрекъснатост на звука в тези посоки.

За провеждане на експерименталната работа е изпълнена лека конструкция на таван, състояща се от носещи дървени греди с размери 12 cm × 16 cm, разположени на осово разстояние около 100 cm и гладък шперплат с дебелина 16 mm (обемна плътност 648 kg/m<sup>3</sup>). Създава се необходимата за измерванията въздушна междина с променлива големина.

#### а. Апаратура

Използвана е верига от акустични измервателни уреди, състояща се от:

- двуканален анализатор в реално време;
- микрофони;
- усилватели за микрофони;
- краен усилвател;
- додекаедър високоговорител.

Двуканалният анализатор за реално време тип *Norsonic 830* позволява да се измерват звуковите нива в двете помещения едновременно, за да се сравнят директно характеристиките по честоти от 50 до 5000 Hz. Посредством множество функционални хард и софтуер блокове едновременно се осъществява усилване, филтриране и измерване на широкоспектърни сигнали.

#### б. Измерени варианти

Измерени са конструкции с въздушна междина, която варира от 20 до 140 cm. Приет е размерът на отворите 90/100 cm. Отворите по отношение на разположението им спрямо преградната стена са в близост (на 1 m) и отдалечени (на 3 m) от нея. Изследвани са варианти с отвори само в едното помещение и в двете помещения едновременно.

#### в. Провеждане на измерванията

Измерванията се извършват на две стъпки:

- измерване на звуковите нива в приемното и излъчващото помещение;
- измерване на времето на реверберация в приемното помещение.

Всяко измерване се извършва двукратно, като приемното и излъчващото помещение се разменят в зависимост от положението на източника. Така се получават по 2 графики за всяко измерване на нормативната приведена разлика в звуковите нива, които се осредняват за получаване на крайния резултат.

При определяне на разликата в звуковите нива се използва розов шум, излъчван от додекаедър високоговорител. Той се придвижва пневматично по наклонена под ъгъл и във височина релса. Микрофоните в двете помещения се въртят по наклонена окръжност за усредняване 2 минути. Измерването в честотен обхват от 50 до 5000 Hz е в терцоктавни ленти.

При описаната експериментална постановка корекцията за смушаващ шум се определя като се изключва стандартният източник на шум (високоговорителят) и се измерва влиянието на страничните източници на шум (външни шумове, пневматична уредба и др.).

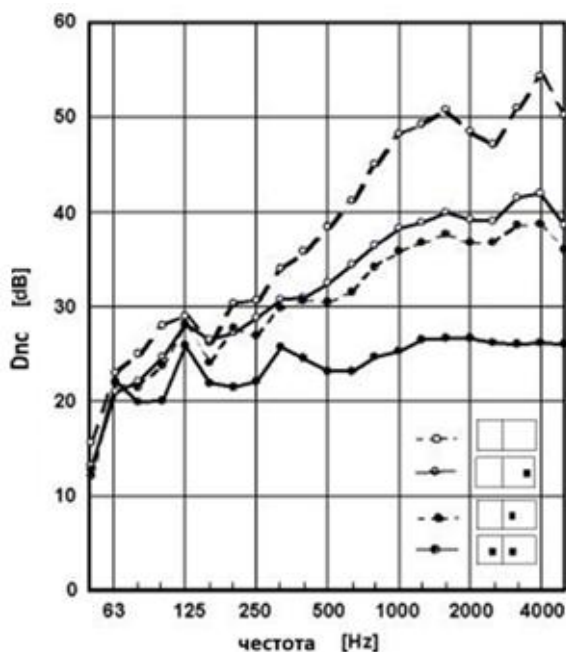
Времето на реверберация се определя в съответствие с ISO 354 [8] от 8 броя измервания при различно местоположение на микрофона във височина и площта на помещението. Високоговорителят е стационарен и излъчва широкоспектърен шум (розов).

За осигуряване на стандартното изискване за времето на реверберация се използват допълнителни поглътители в двете помещения на стенда, чийто брой и местоположение се променя.

Определянето на времето на реверберация се налага за изчисляване на еквивалентната звукопоглъщаща площ в приемното помещение ( $A$  в  $m^2$ ).

#### 4. Представяне на резултатите



Оценката на нормативната приведена разлика в звуковите нива става според ISO 717-1 [7] от измерените величини ниво звуково налягане в приемното и излъчващото помещение, времето на реверберация в приемното помещение (формула 5) и корекцията от смушаващ шум. Представянето и сравнението на резултатите става по честоти от 50 до 5000 Hz, като за 120 cm междина е дадено графично на фиг. 2.



**Фиг. 2. Нормативна разлика в звуковото ниво  $D_{nc}$  по честоти за въздушна междина 120 cm за различните варианти на разполагане на отворите**

Влиянието на разстоянието между плоскостите и различното разполагане на отворите е представено в табл. 2.

**Таблица 2. Обобщено представяне на резултати за претеглена стандартна разлика в звуковите нива без и със отвори**

Разстояние между плоскостите (cm)	Претеглена нормативна разлика в звуковите нива $D_{n,c,w}$ (dB)			
	Варианти			
	Без отвор	С един отвор	С един близък отвор	С два отвора, близо до стената
				
20	43	38	36	28
40	44	37	36	25
60	44	36	35	24
80	43	37	36	24
80/2	44	38	36	26/27*
100	43	38	35	26
120	43	38	35	26
130	42	36	34	25

#### Анализ на резултатите

##### – Разстоянието между плоскостите

Въз основа на тези изследвания може да се установи, че разстоянието между плоскостите, особено в случаите без отвори, не играе особена роля. Приведената нормативна разлика в звуковото ниво варира между 42 до 44 dB, като максимумът се намира при разстояние между плоскостите 40 съотв. 60 cm. При изследваните варианти с отвори отклоненията възлизат на 2 до 3 dB. Тук оптимумът е при 20 cm разстояние между плоскостите, както и също при 80 и 120 cm.

##### – Позиция на отворите

Стойностите на нормативната приведена разлика в звуковите нива показват едно намаляване в сравнение със затворени плоскости до 5 dB при вариране на положението на големите отвори за вентилиране. Същият отвор, но близко позициониран, намалява стойностите с 1 до 3 dB повече, отколкото при близко позициониран (вж. табл. 1). При два едновременно отворени отвора с големина на прозорци се понижава нормативната приведена разлика в звуковите нива, показва стойности 25 и 28 dB – това са 15 – 17 dB по-малко, отколкото при затворени плоскости.

## 5. Заключение

За да не възникват акустични проблеми, се налагат следните предложения.

Първата идея е резонансен демпфер. Той може да е във формата на хелмхолц резонатор и да е така интегриран във фасадата, че да изпълнява архитектурно-естетични, конструктивни, или някои други необходими функции. Той може да е така оразмерен, че да осигури абсорбиране на резонансните честоти за конкретния случай.

Могат да се изготвят готови геометрични и от съответни материали решения, които да се прилагат от архитекти и проектанти. Изгубената акустична анонимност въз основа на т.нар. телефонен ефект може да се възстанови чрез влагане на поглъщащи плоскости във вътрешната страна на междината. Порьозният абсорбер намалява звуковата енергия чрез вътрешно триене и чрез голямата си триеща повърхност. Прилагането му намалява прозрачността. Друга възможност е вертикални съотв. хоризонтални елементи в участъка на рамките на прозоречните елементи.

Това разделяне може да бъде както звукоизолиращо, така и звукопоглъщащо:

- Звукоизолиращо: да намалява преминаването на звука между помещенията. Недостатъкът е в това, че звукът рефлектира в преградата и през собствения отворен прозорец се връща обратно в помещението.
- Звукопоглъщащо: например допълнително оформяне на ниши. Декоративно може това да представлява хелмхолц резонатор за ниските честоти или мембранен резонатор.

Телефонният ефект може да се възпрепятства, когато са налице повече измервания, особено на обекта. Това ще помогне за развитието на теория като основа за практически изчисления и ръководство за акустично проектиране на модерни конструкции.

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. *Gertis, K.* Sind neuere Fassadenentwicklungen bauphysikalisch sinnvoll? Teil 2: Glas-Doppelfassaden (GDF). *Bauphysik* 21 (1999), H.2, S. 4 – 5.
2. *Kautsch, P. et al.* Thermisch-hydrisches Verhalten von GlasDoppelFassaden, Graz (2002).
3. *Meyer, S.* Wirkung eines hybriden Doppelfassadensystems auf die Energiebilanz und das Raumklima der dahinterliegenden Räume, Dissertation, TU Cottbus, (2001).
4. *Neubauer, R. O.* Schall- (Längs-) Dämmung leichter Vorhangfassaden, Kiel, DAGA 97, (1997).
5. *Feldmann, J.* Raumakustik und baulicher Schallschutz. TU-Berlin, (2003).
6. ISO 10848-2. 2017, Acoustics – Laboratory and field measurement of flanking transmission for airborne, impact and building service equipment sound between adjoining rooms Part 2: Application to Type B elements when the junction has a small influence.
7. ISO 717-1. 2021, Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation.
8. ISO 354. 2003, Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room.

# SOUND PROPAGATION THROUGH THE CAVITY BETWEEN DOUBLE BUILDING ELEMENTS

N. Ivanova<sup>1</sup>

*Keywords: acoustics, sound insulation, building physics, building materials and structures, building elements*

## ABSTRACT

In modern buildings, lightweight double partition walls and glazed façades are being increasingly used. This is due to trends in contemporary architectural thinking, the wide variety of building products and materials available, and the drive to implement new design solutions. Another key trend is the establishment of increasingly precise standards for sound insulation, as well as methods to ensure acoustic comfort in the spaces of residential and public buildings. In this context, suitable construction solutions are being refined to meet building physics requirements.

Nevertheless, some modern constructions exhibit shortcomings that reduce sound insulation and lead to undesirable effects. To study the influence of sound propagation in the air cavity and sound transmission through ventilation openings in double glazed façades, a plywood model was developed. This made it possible to investigate certain factors affecting longitudinal sound insulation in double constructions, such as the width of the air cavity (ranging from 20 cm to 120 cm) and the size and location of the ventilation openings. Conclusions and recommendations are made for improving the acoustic performance of double constructions.

Similar effects occur not only in glazed façades, but also in lightweight partition walls, suspended ceilings, raised floors, wall linings, and other elements, where accounting for the complex influence of flanking transmission paths requires various acoustic studies. This research can provide guidance on future directions for building physics investigations of double constructions.

---

<sup>1</sup> Natalia Ivanova, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Physics", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: [bobeva\\_fhe@uacg.bg](mailto:bobeva_fhe@uacg.bg)