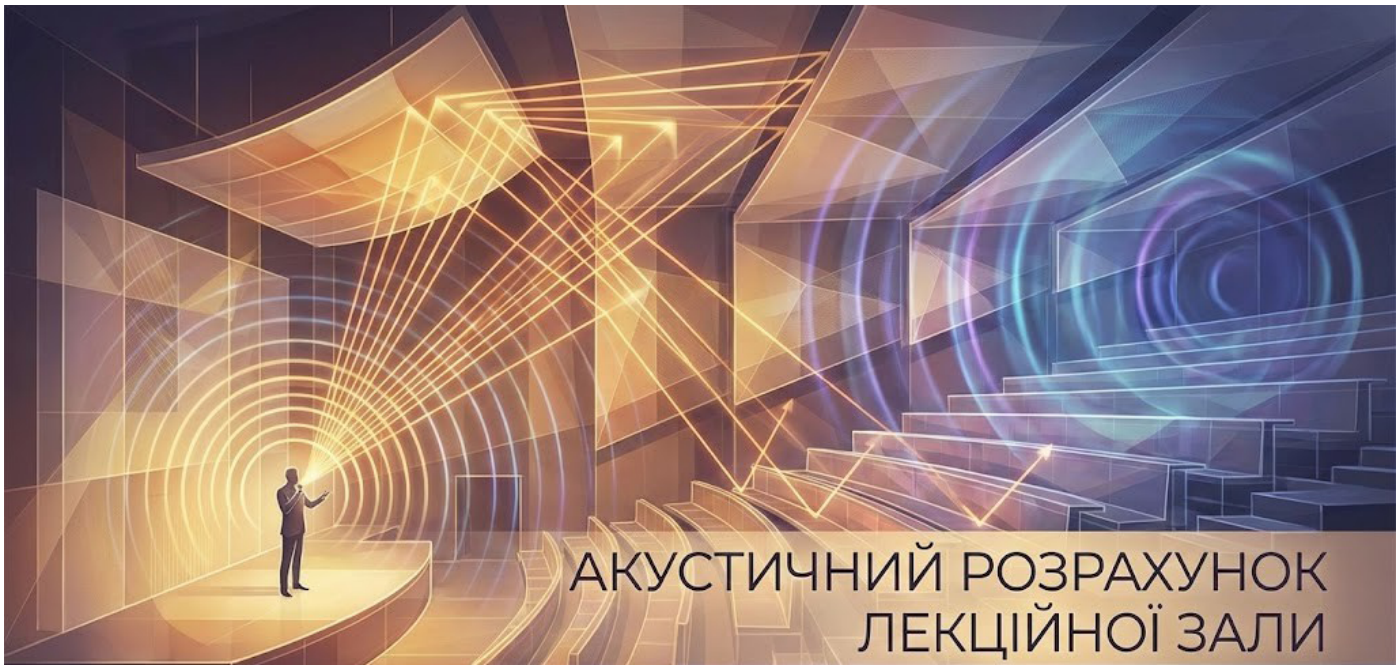
Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет будівництва і архітектури
Кафедра архітектурних конструкцій

Курсова робота
Акустичний розрахунок аудиторії на 450 місць



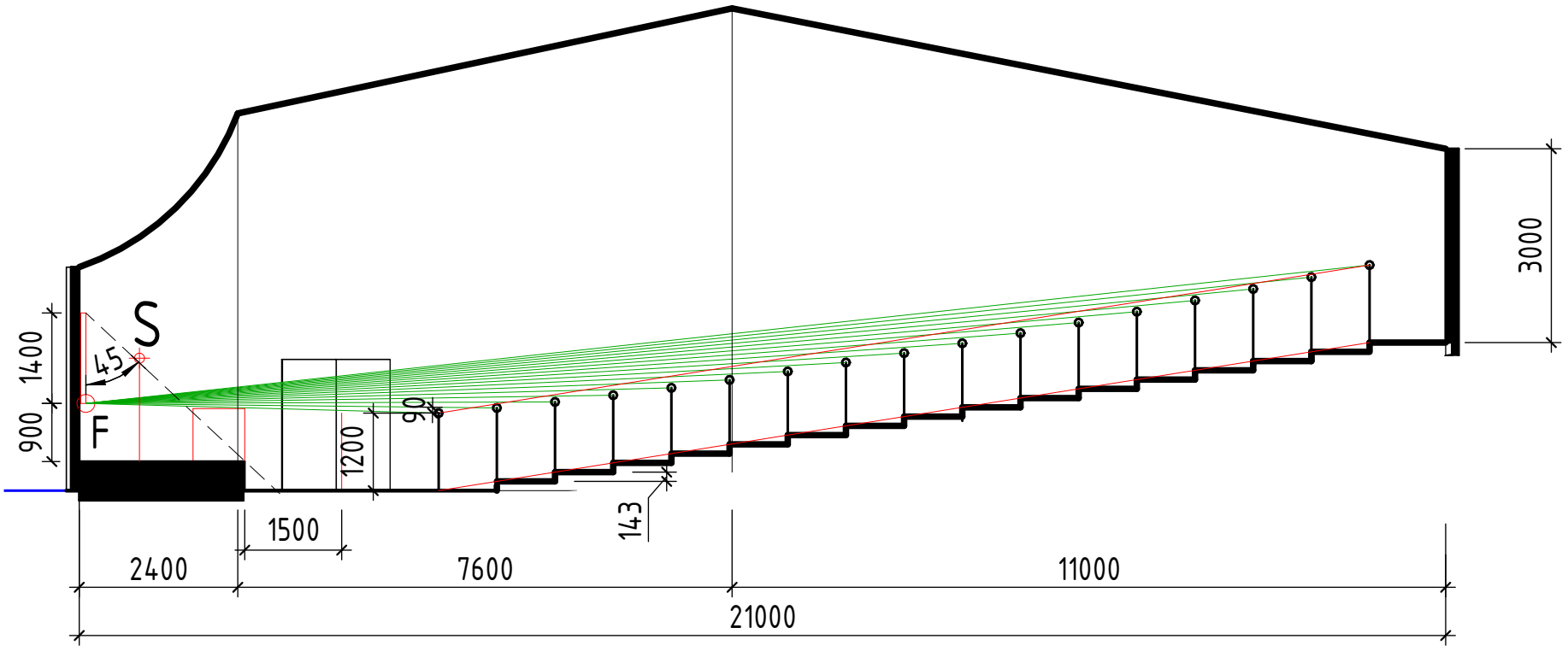
Виконала студентка групи
АРХ-22-7
Романенко М.О.
Керівник: Сергейчук В.С.

Київ 2025

Склад роботи

1. Геометрична характеристики залу
2. Геометричний вибір форми стін, стелі та підлоги
3. Геометричне дослідження розподілу відбитих звуків по поверхні слухачів
4. Дослідження екранів на утворення луни
5. Визначення акустично активних ділянок екранів
6. Розгортка аудиторії з акустично активними ділянками
7. Розгортка аудиторії з вибраними матеріалами
8. Розрахунок фактичної еквівалентної площі звукопоглинання аудиторії
    - Розрахунок постійного та додаткового звукопоглинання
    - Розрахунок перемінного звукопоглинання
    - Розрахунок фактичного звукопоглинання
    - Визначення величини оптимального часу реверберації
    - Визначення загальної необхідної еквівалентної площі звукопоглинання
    - Порівняння фактичного на нормативного звукопоглинання в залі
9. Розрахунок фактичного часу реверберації при заповненні залу слухачами на 70%
    - Порівняння фактичного на нормативного часу реверберації в залі
10. Розрахунок фактичного часу реверберації звуку частотою 500Гц при різному відсотку заповнення залу слухачами
11. Розрахунок артикуляції залу (STI)
12. Розрахунок індексу ясності (C80)
13. Розрахунок індексу гучності (G)
14. Розрахунок коефіцієнта бічної енергії (JLF)
15. Висновки
16. Додаток
17. Список використаних джерел

ВИБІР ФОРМИ АУДИТОРІЇ



Визначення геометричних пропорцій залу: 21000/16600=1,26 – оптимальна пропорція

Кількість рядів: 17

Кількість звичайних місць: 432

Кількість місць для маломобільних: 9

Загальна місткість: 441 місце, що на 2% менше від 450. Оскільки відхилення не перевищує допустиму в проектуванні норму (5%), прийнята кількість місць відповідає завданню.

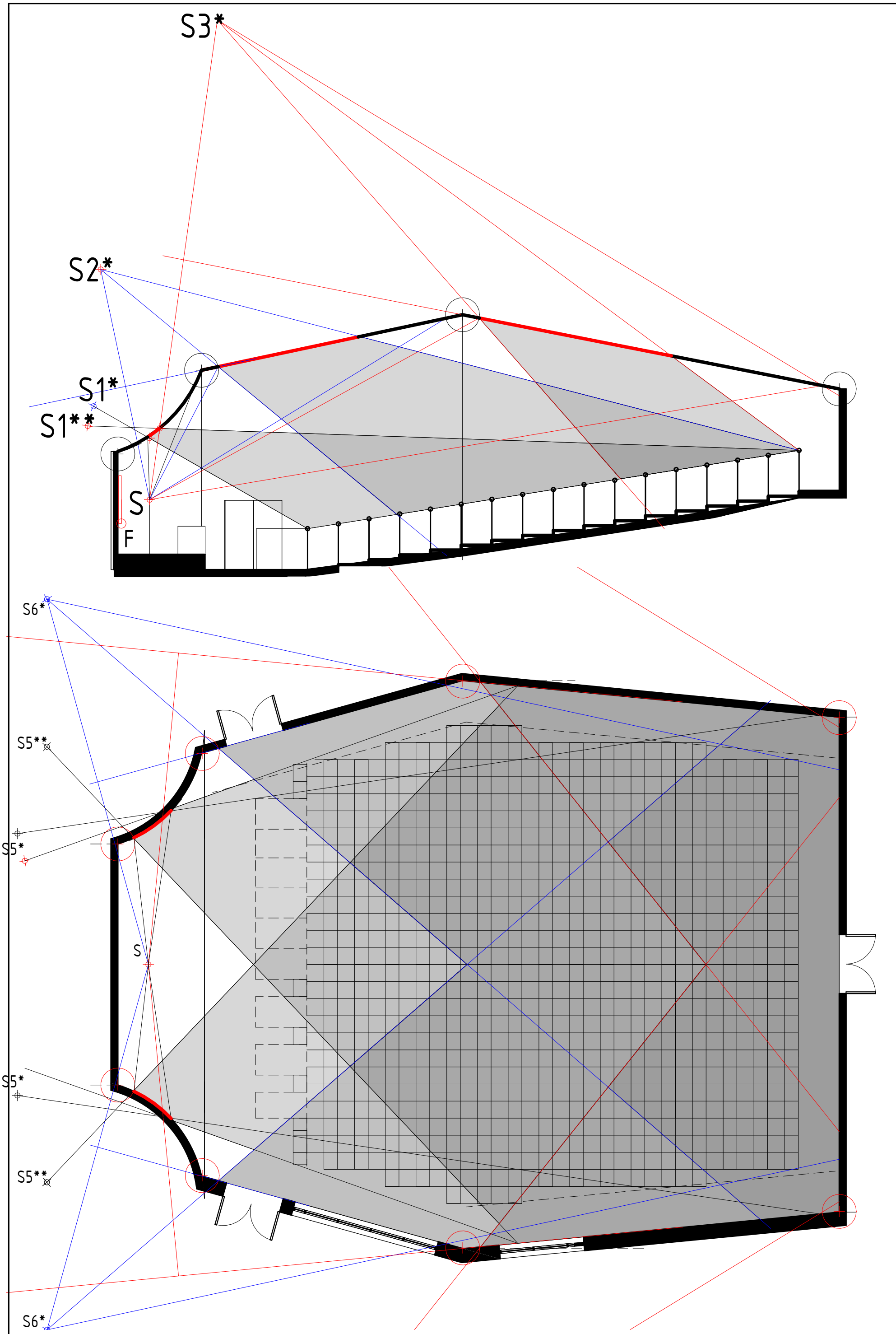
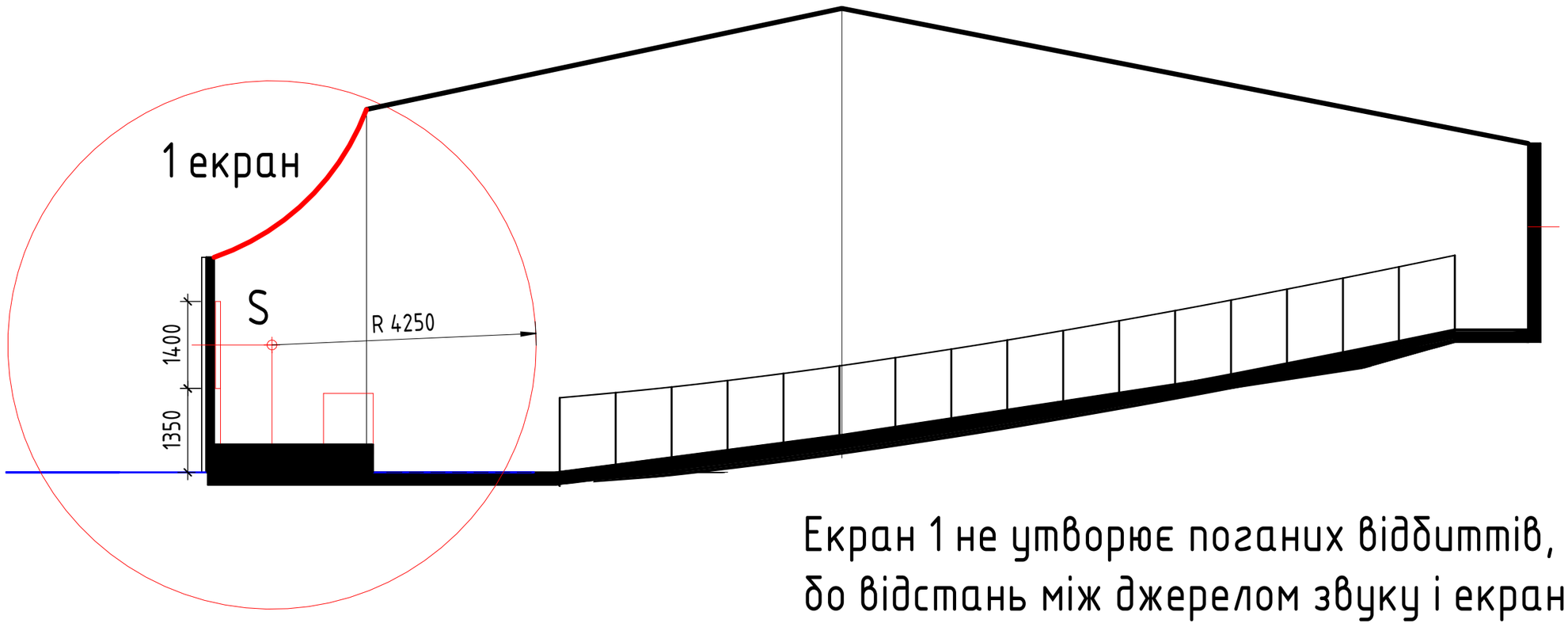
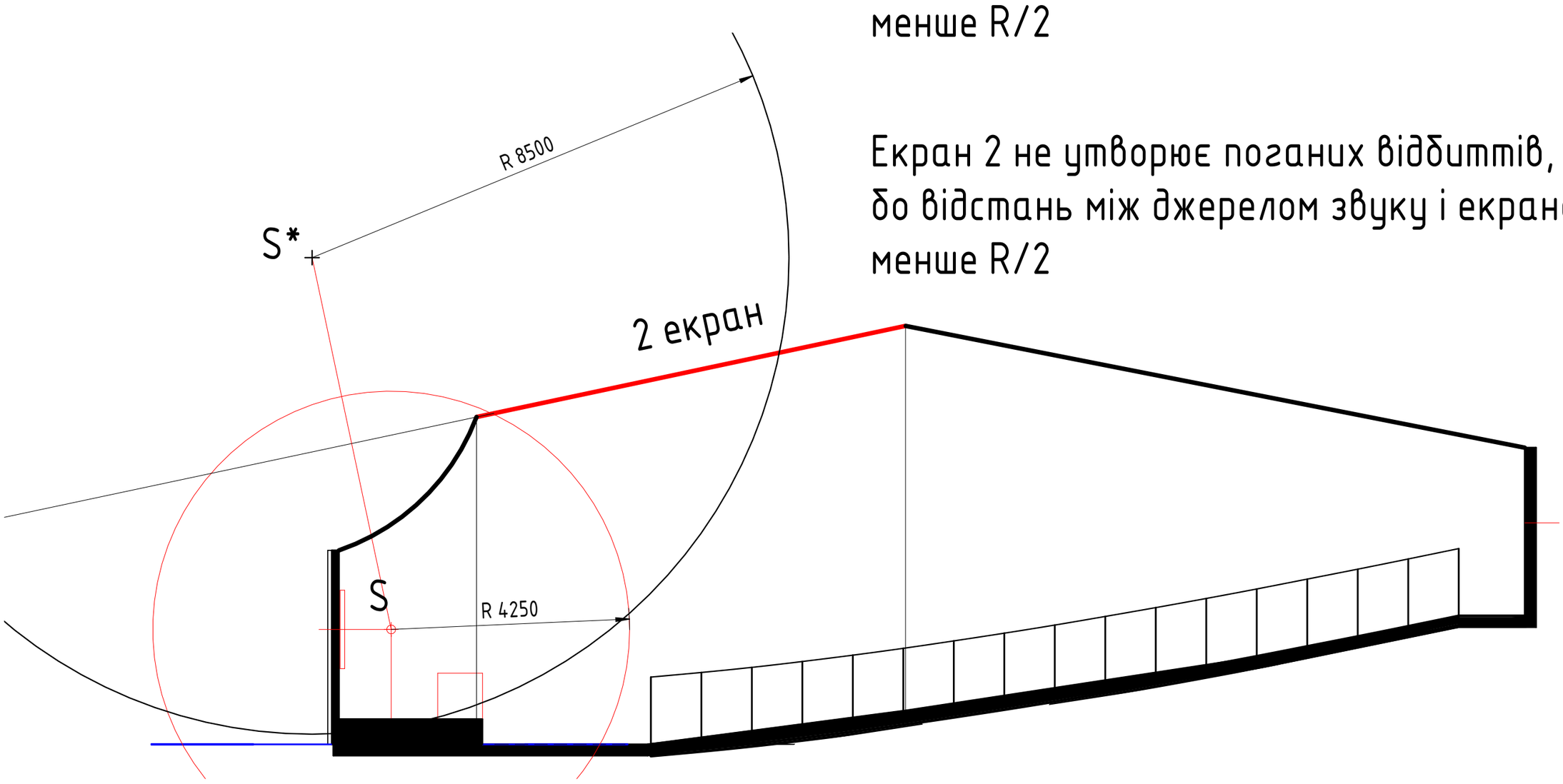


Схема геометричної побудови звукових відбиттів

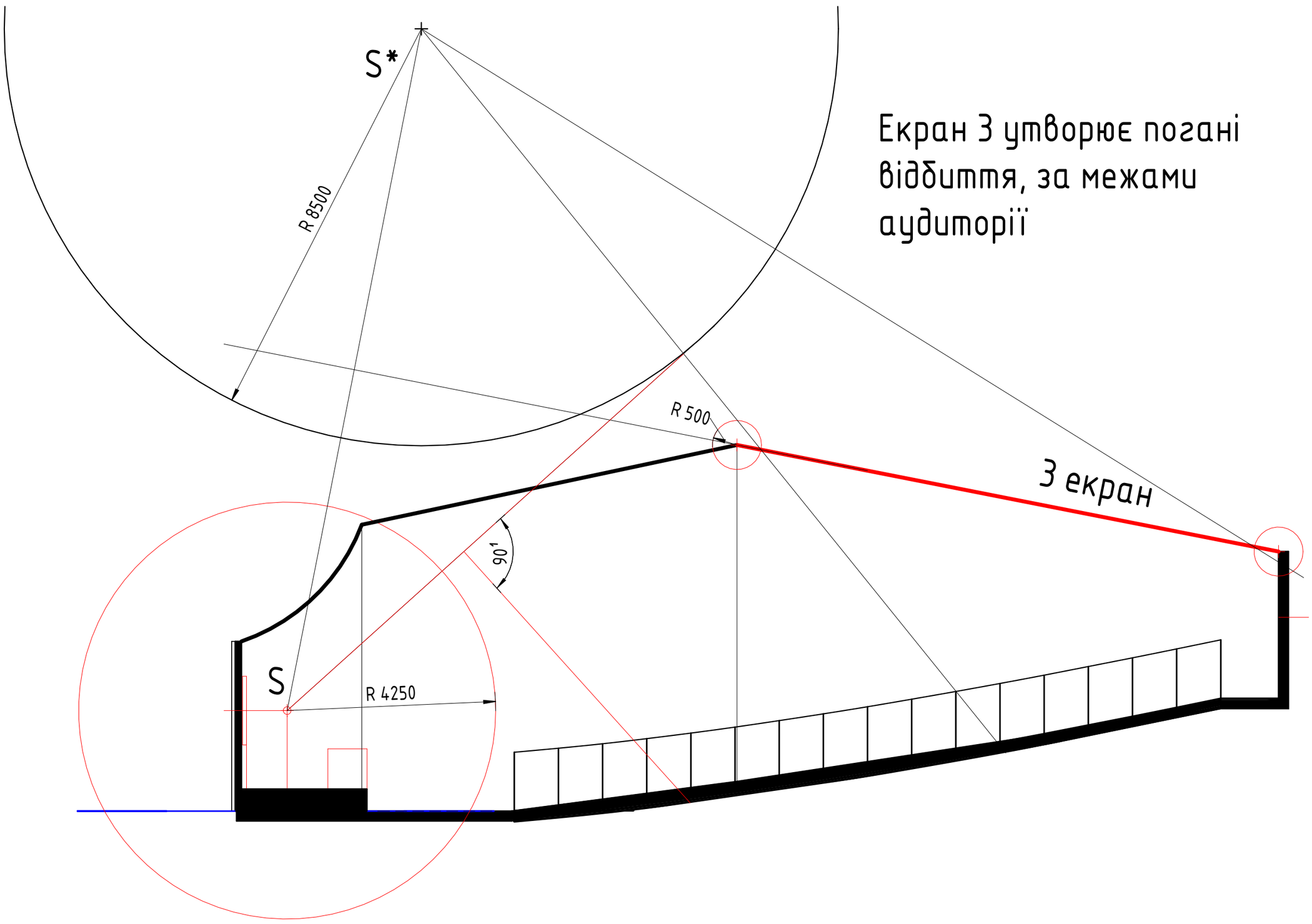


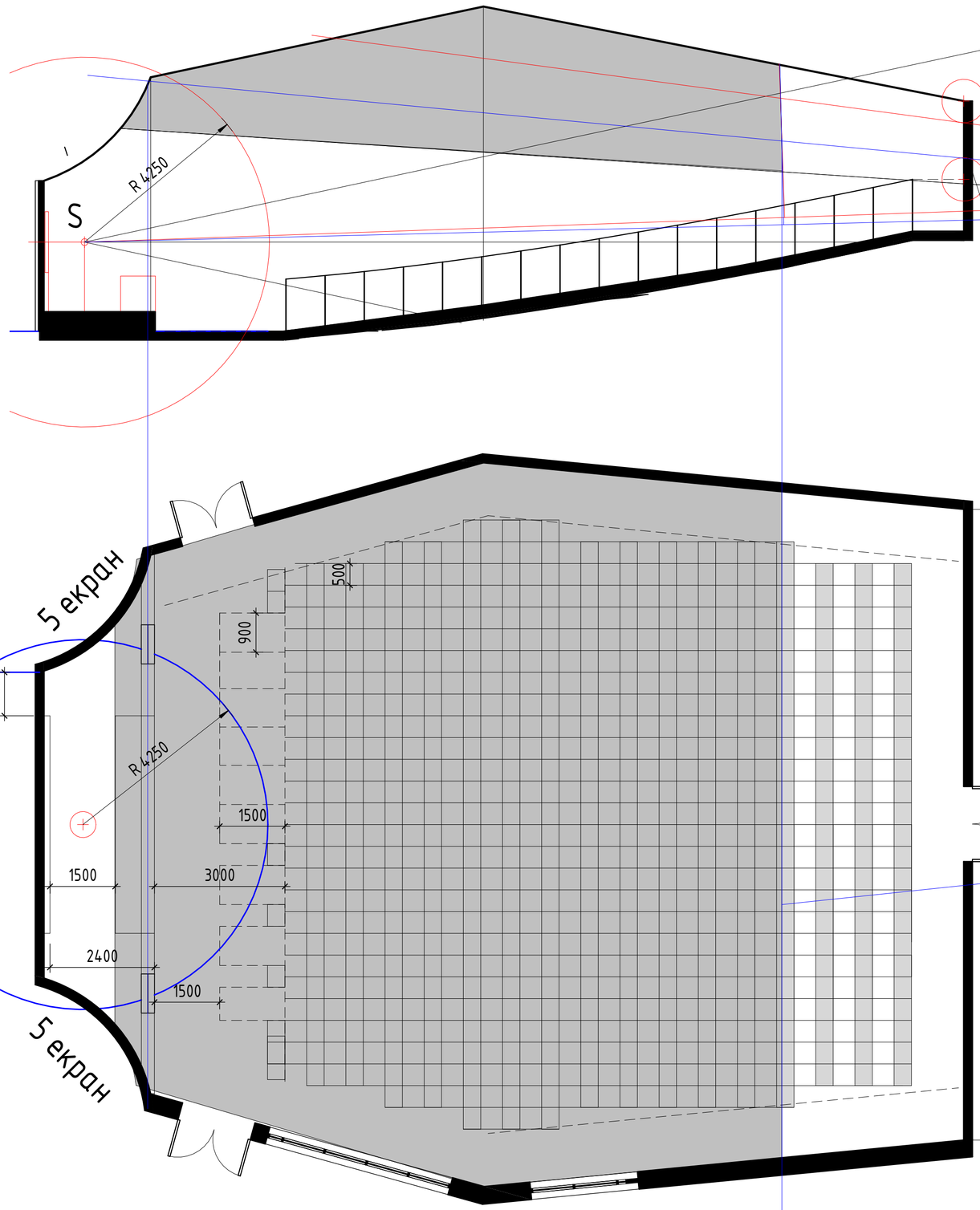
Екран 1 не утворює поганих відбиттів, бо відстань між джерелом звуку і екраном менше R/2

Екран 2 не утворює поганих відбиттів, бо відстань між джерелом звуку і екраном менше R/2



Екран 3 утворює погані відбиття, за межами аудиторії





Екран 4 утворює незначну зону поганих відбиттів не торкаючись слухачів

Зона поганих відбиттяв від 4 екрану

Всі дотичні 5 до екрану перетинають коло, тому він не утворюватиме шкідливих відбиттів

S*

6 екран

R 500

500

900

R 4250

1500

1500

1500

3000

2400

6 екран

S*

S*

7 екран

R 500

1200

500

400

900

1500

3000

1500

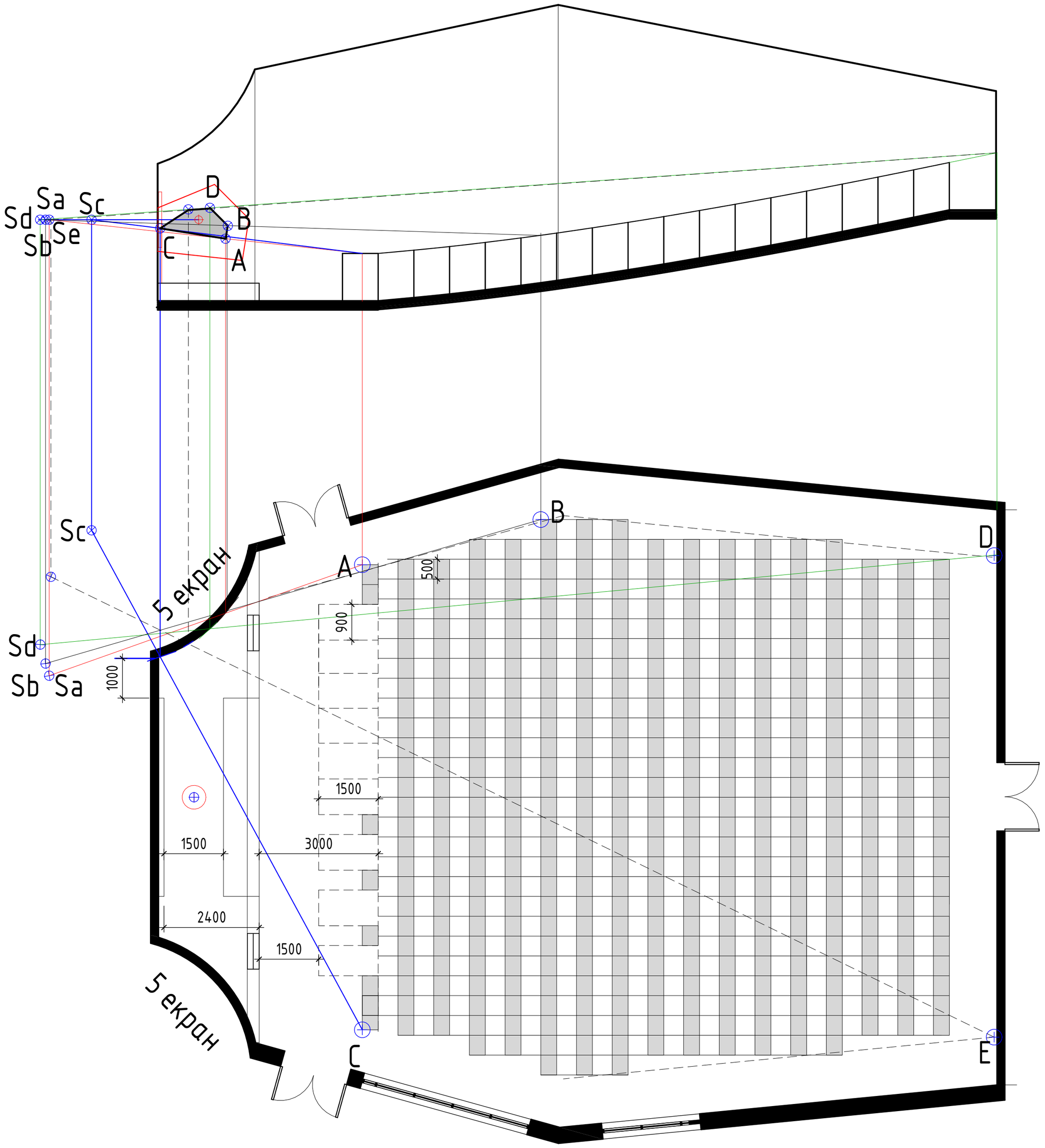
2400

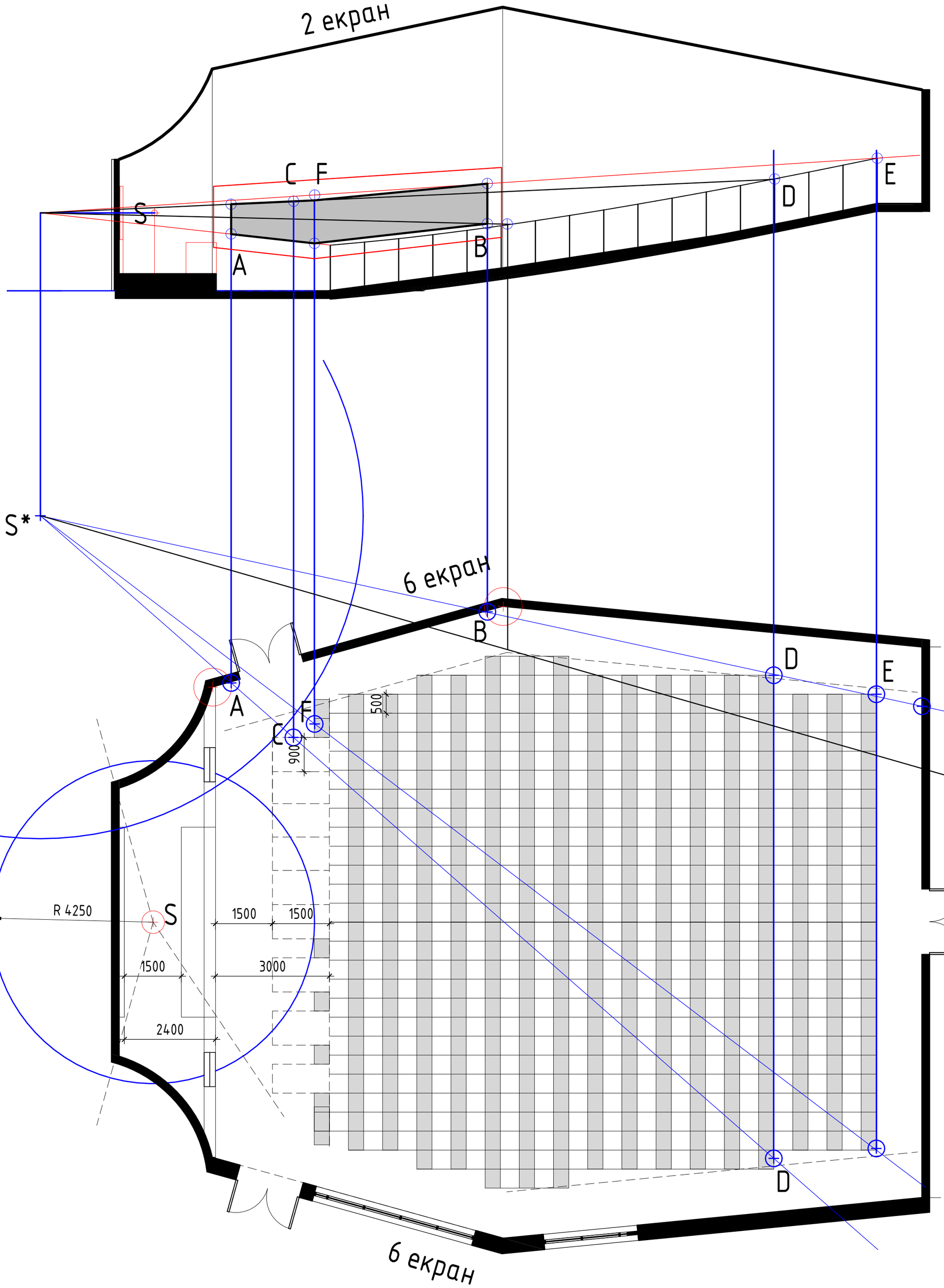
1500

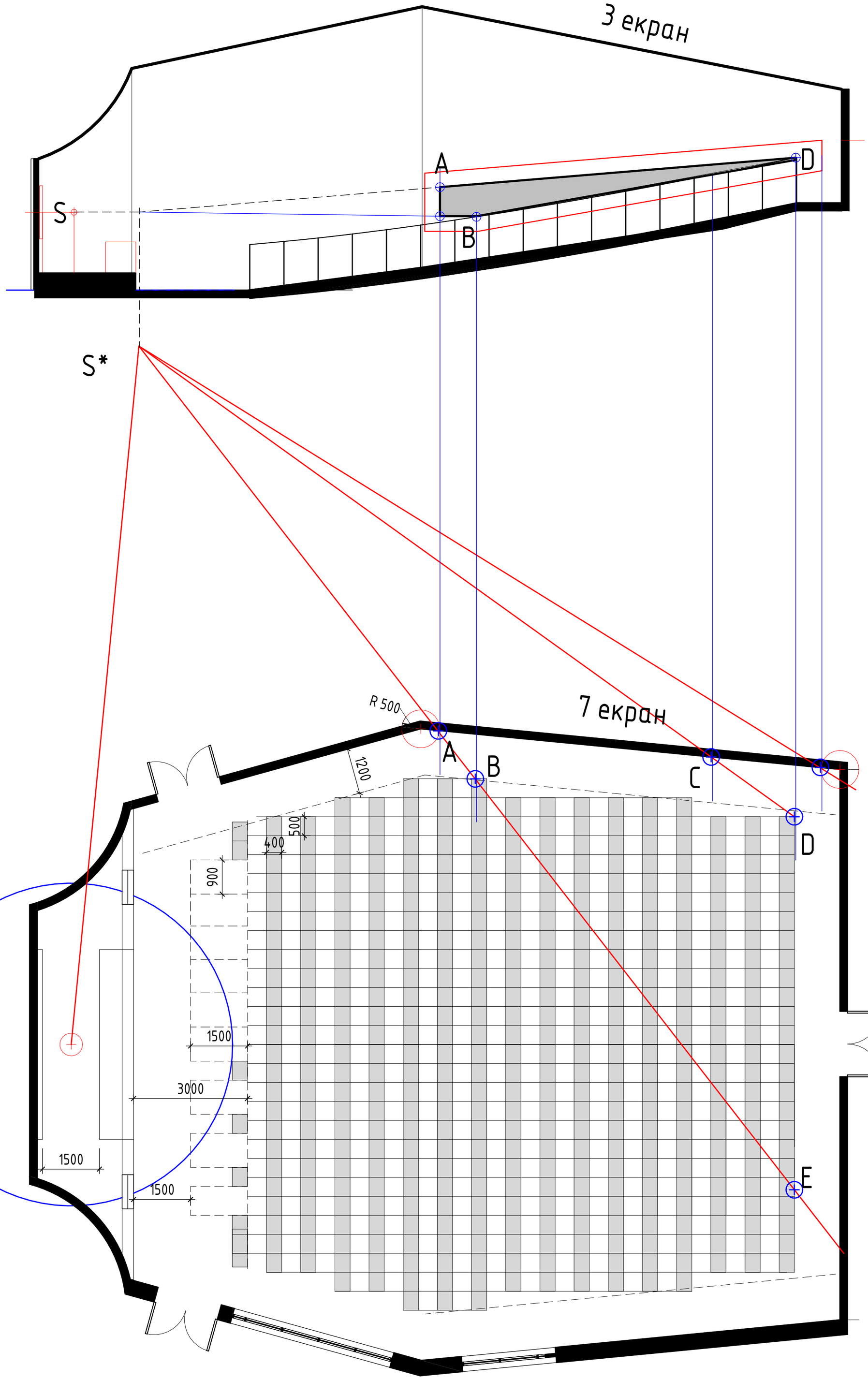
7 екран

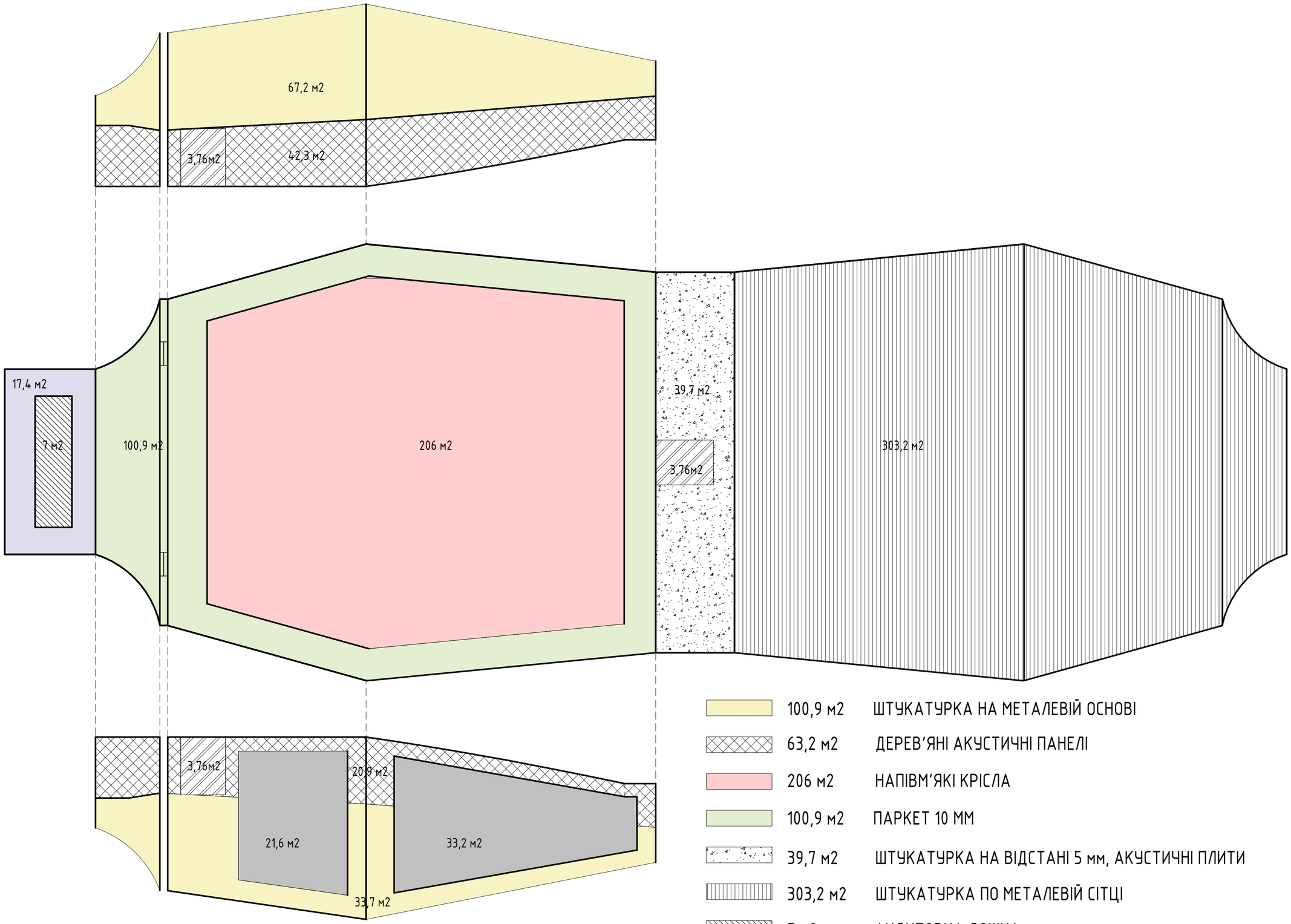
S*

Геометричний аналіз та визначення акустично активних зон




2 екран
C F
S
A
B
D
E
S*
6 екран
B
D
E
A
F
C
500
900
R 4250
S
1500
1500
1500
3000
2400
D
6 екран

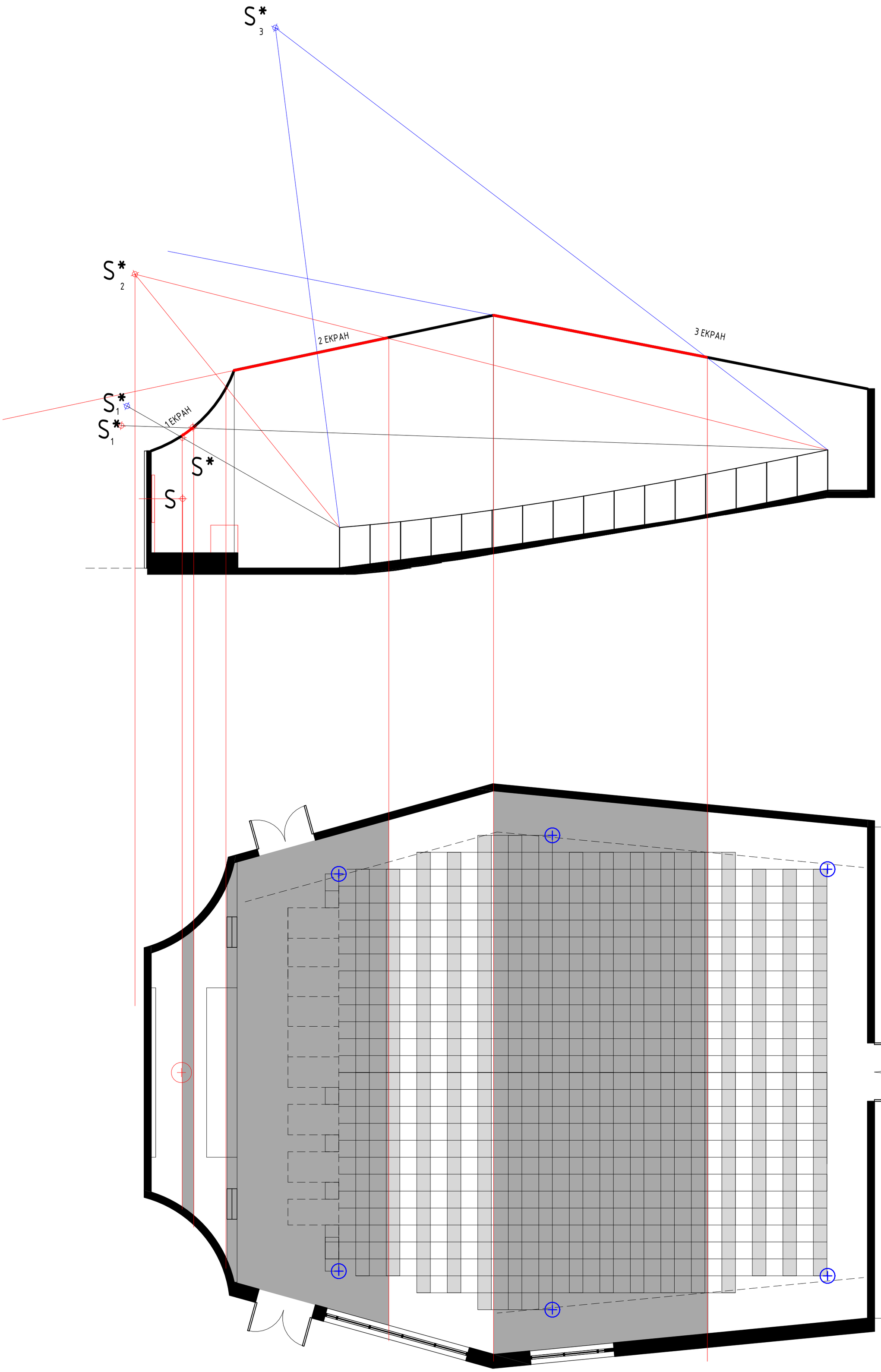

3 екран
A
D
S
B
S*
R 500
7 екран
A
B
C
D
E
1200
500
400
900
1500
3000
1500
1500
7 екран



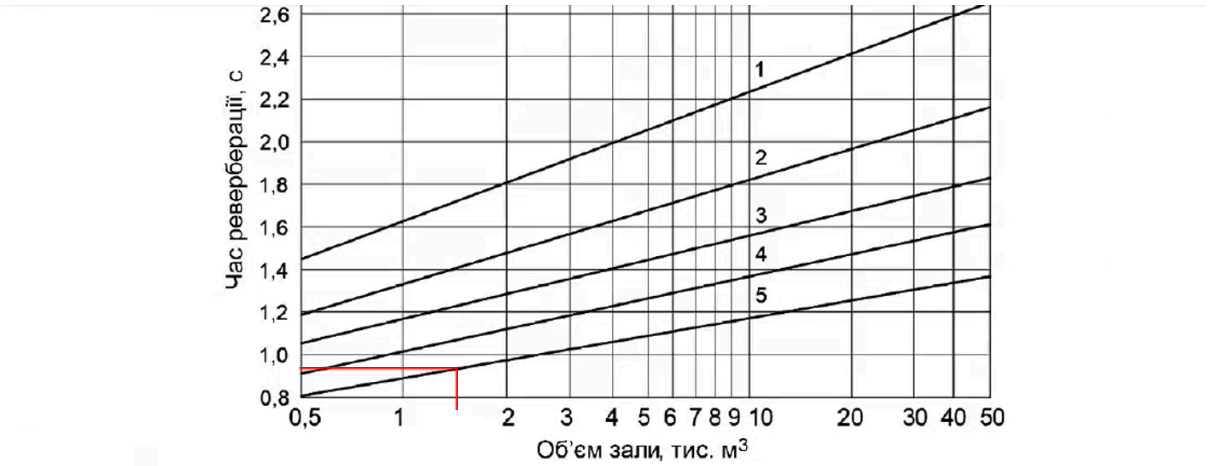
РОЗГОРТКА ЗАЛИ, ПОПЕРЕДНІЙ ВИБІР ОПОРЯДЖУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

	100,9 м2	ШТУКАТУРКА НА МЕТАЛЕВІЙ ОСНОВІ
	63,2 м2	ДЕРЕВ'ЯНІ АКУСТИЧНІ ПАНЕЛІ
	206 м2	НАПІВМ'ЯКІ КРІСЛА
	100,9 м2	ПАРКЕТ 10 ММ
	39,7 м2	ШТУКАТУРКА НА ВІДСТАНІ 5 мм, АКУСТИЧНІ ПЛИТИ
	303,2 м2	ШТУКАТУРКА ПО МЕТАЛЕВІЙ СІТЦІ
	7 м2	АУДИТОРНА ДОШКА
	17,4 м2	ДЕРЕВ'ЯНІ ПАНЕЛІ
	54,8 м2	ВІКОННІ ПРОРІЗИ, СКЛО ЗІ ШТОРАМИ
	11,28 м2	ПОЛОТНО ДВЕРЕЙ, ДЕРЕВО

Визначення акустичноактивних ділянок стелі



Визначення меж допустимого часу реверберації:



1 – зали для ораторій і органної музики; 2 – зали для симфонічної музики; 3 – зали для камерної музики, зали оперних театрів; 4 – зали музично-драматичних театрів, зали багатоцільового призначення, спортивні зали; 5 – лекційні і конференц-зали, зали засідань, зали драматичних театрів, кінозали.

Рисунок 1 – Рекомендовані значення часу реверберації на середніх частотах (500 ÷ 1000 Гц) для зал різного призначення в залежності від їх об'єму

Частота 125-250 Гц: $T_{min} = 0,85*T_{opt}=0,85*0,92=0,782$ с;
$T_{max} = 1,15*T_{opt}*1,2=1,38*T_{opt}=1,38*0,92=1,27$ с.

Частота 500-1000 Гц: $T_{min} = 0,85*T_{opt}=0,85*0,92=0,782$ с;
$T_{max} = 1,15*T_{opt}=1,15*0,92=1,06$ с

Частота 2000-4000 Гц: $T_{min} = 0,85*T_{opt}*0,9 = 0,765*Topt=0,7$ с;
$T_{max} = 1,15*T_{opt}=1,15*0,92=1,06$ с

T_{opt} - за ДБН В.2.2-16:2019.

Коефіцієнт звукопоглинання повітрям n, м-1 для частоти 125-1000 Гц = 0
Коефіцієнт звукопоглинання повітрям n, м-1 для частоти 2000 Гц = 0,009
Коефіцієнт звукопоглинання повітрям n, м-1 для частоти 4000 Гц = 0,022
(за дод. 6, вологість повітря 60%)

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА n, м$^{-1}$ ДЛЯ УЧЕТА ПОГЛОЩЕНИЯ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 20°С (ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ХАРРИСА)

Относительная влажность воздуха, %	Частота, Гц	
	2000	4000
30	0,0119	0,0379
40	0,0104	0,0287
50	0,0096	0,0244
60	0,009	0,0224
70	0,0085	0,0213
80	0,0081	0,0204
90	0,008	0,02

$$\varphi(\alpha_{cep}) = \frac{(0,163-Tn)V}{TS_{\Sigma}}. \qquad A_{\Sigma} = \alpha_{cep} S_{\Sigma}$$

Визначення необхідної загальної еквівалентної площі звукопоглинання

Часто-та звуку f, Гц	Час реверберації T, с	Об'єм залу, V, м3	Загальна площа внутрішніх поверхонь, S, м2	Коефіцієнт звукопоглинання повітрям n, м-1	Значення функції φ ($\alpha_{сер}$)	Середній коефіцієнт звукопоглинання $\alpha_{сер}$	Необхідна загальна площа звукопоглинання A_{Σ}, м2
125	0,782	1535	904,38	0	0,35	0,3	271,3
	1,27				0,21	0,19	171,8
250	0,782				0,35	0,3	271,3
	1,27				0,21	0,19	171,3
500	0,782				0,35	0,3	271,3
	1,06				0,26	0,23	208,0
1000	0,782				0,35	0,3	271,3
	1,06				0,26	0,23	208,0
2000	0,7			0,009	0,38	0,32	289,4
	1,06				0,24	0,21	189,9
4000	0,7			0,022	0,21	0,19	171,8
	1,06				0,14	0,13	117,6

Розрахунок постійного та додаткового звукопоглинання

Постійне звукопоглинання розраховується за формулою $A_{\text{const}} = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i S_i$.

Додаткове звукопоглинання розраховується за формулою $A_{\text{add}} = \alpha_{\text{add}} S_{\Sigma}$,

№	Поверхні та матеріали	Площа Si, м2	Коефіцієнт звукопоглинання аі на частоті, Гц						Еквівалентна площа звукопоглинання аі на частоті, Гц					
			125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000
1	Стеля (штукатурка по металевій основі)	303,2	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06	12,1	15,1	18,2	24,2	12.1	18,1
2	Стіна (дерев'яні акустичні панелі)	80,6	0,3	0,15	0,06	0,05	0,04	0,04	24,2	12,9	4,8	4,0	3,2	3,2
3	Стіна (штукатурка на металевій основі)	100,9	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06	4,0	5,0	6,0	8,0	4,0	6,0
4	Стіна (штукатурка на відстані 5 см)	39,7	0,2	0,15	0,1	0,08	0,06	0,05	7,9	5,9	3,9	3,1	2,3	1,9
5	Вікно, склопакет	54,8	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	19,2	13,7	8,22	6,5	3,8	2,2
6	Двері, дерев'яна дошка	11,28	0,14	0,1	0,06	0,08	0,1	0,1	1,6	1,1	0,7	0,9	1,1	1,1
7	Аудиторна дошка (пластик)	7	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
8	Підлога, паркет	100,9	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	4,0	4,0	7,0	6,0	6,0	7,0
	Aconst	**698,4**							**73,2**	**58,1**	**49,2**	**53,0**	**32,8**	**39,8**
9	**Aadd** (додаткове звукопогл.)	904,4	0,09	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	**81,4**	**54,3**	**45,2**	**45,2**	**45,2**	**36,2**

Змінне звукопоглинання розраховується за формулою, заповнення залу 70%.

№	Поверхні та матеріали	К-ість місць N,шт	Значення еквівалентної площі звукопогл. одного місця А м2 на частоті Гц						Значення еквівалентної площі звукопогл. одного місця AN м2 на частоті Гц					
			125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000
1	Слухачі, що сидять на напівм'якому кріслі	309	0,25	0,3	0,4	0,45	0,45	0,4	77,2	92,7	123,6	139,0	139,0	123,6
2	Крісла напівм'які без слухачів	132	0,08	0,1	0,15	0,15	0,2	0,2	10,6	13,2	19,8	19,8	26,4	26,4
	Avar	**441**	**0,33**	**0,4**	**0,55**	**0,6**	**0,65**	**0,7**	**87,8**	**105,9**	**143,4**	**158,8**	**165,4**	**150**

Розрахунок фактичної загальної еквівалентної площі звукопоглинання в залі при 70%-м заповненні глядацькими місцями

№	Показники	Значення еквівалентної площі звукопоглинання, м2, на частоті, Гц					
		125	250	500	1000	2000	4000
1	Aconst	73,2	58,1	49,2	53,0	32,8	39,8
2	Aadd	81,4	54,3	45,2	45,2	45,2	36,2
3	Avar	87,8	105,9	143,4	158,8	165,4	150
	Аφ = Aconst + Aadd + Avar	**242,4**	**218,3**	**237,8**	**257**	**243,4**	**226**

Фактичний час реверберації в аудиторії при 70% му заповненні

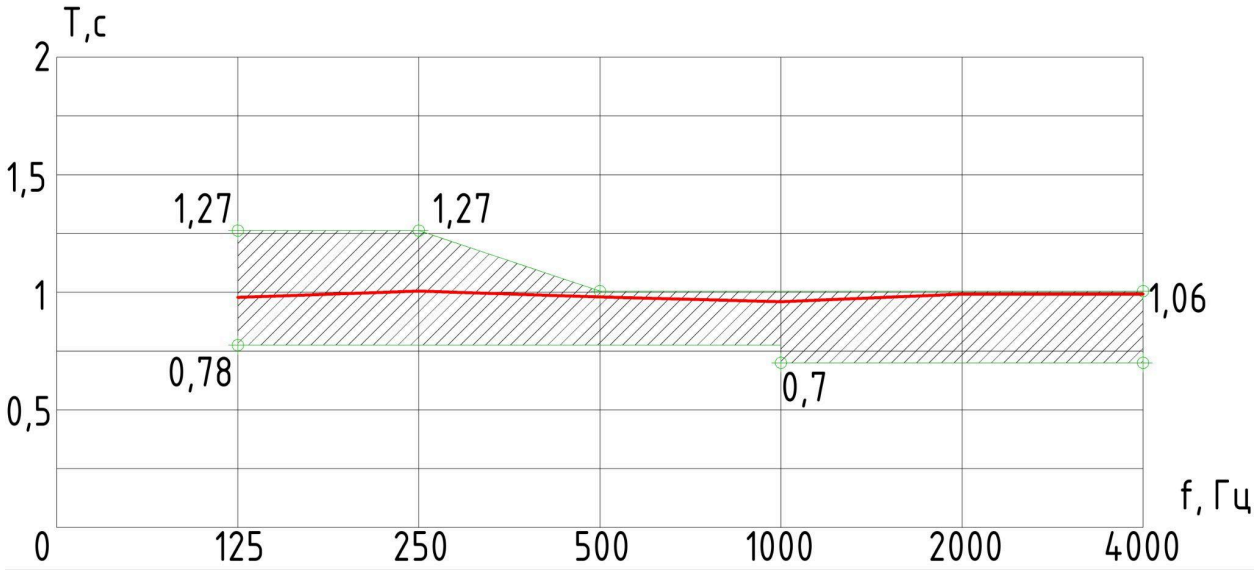
Частота звуку, Гц	Факт. заг. еквівал. площа звукопогл. Аф, м2	Об'єм аудиторії V, м3	Загальна площа поверхонь S, м2	Коеф. звукопогл. повітрям n м-1	Значення функц. φ (α)	Сер.коеф звукопгл.α	Факт.час реверберації Тф,с
125	242,4	1535	904,38	0	0,3	0,26	0,92
250	218,3				0,27	0,24	1,02
500	237,8				0,3	0,26	0,92
1000	257				0,33	0,28	0,83
2000	243,4			0,009	0,3	0,26	0,87
4000	226			0,022	0,27	0,24	0,9

$$Аф = \frac{A}{S},\ T = 0{,}163\frac{V}{S_{\Sigma}\varphi(a_{сер}) + nV}$$

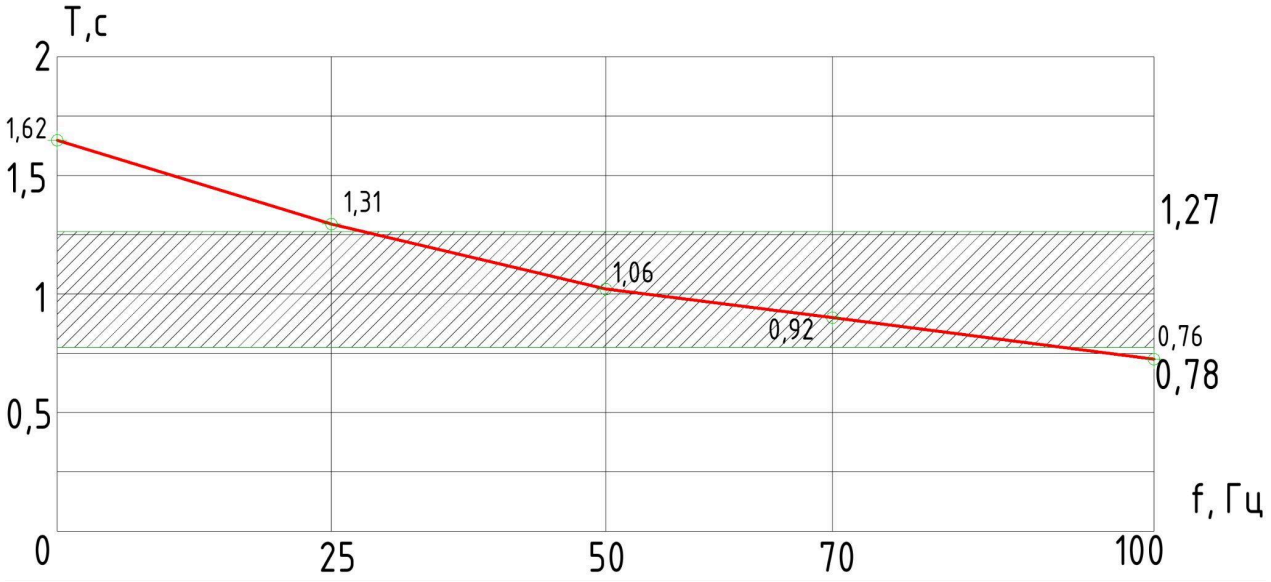
№	Показники	Значення на частотах, Гц					
		125	250	**500**	1000	2000	4000
1	T_{min}	0,782	0,782	**0,782**	0,782	0,7	0,7
2	$T_{ф}$	**0,92**	**1,02**	**0,92**	**0,83**	**0,87**	**0,9**
3	T_{max}	1,27	1,27	**1,06**	1,06	1,06	1,06

Значення реверберації на всіх частотах знаходиться в допустимих межах.

Графік залежності часу реверберації від частоти звуку при 70%-му заповненні



Графік залежності часу реверберації звуку частотою 500 Гц при різному заповненні



Розрахунок фактичного часу реверберації звуку частотою 500Гц аудиторії при різному відсотку заповненні

Розрахункові акустичні величини		Од. вим.	Розрахунк. акустичні величини при заповненні аудиторії слухачами, %				
			0	25	50	70	100
Крісло зі слухачем Ас=0,4м²	Nc	шт.	0	110	220	308	441
	AcNc	м²	0	44	88	123,2	176,4
Крісло без слухача Ак=0,12м²	Nk	шт.	441	331	220	133	0
	AkNk	м²	52,92	39,72	26,41	19,95	0
Еквівалентна площа змінного звукопоглинання Avar		м²	52,92	83,6	114,4	143,15	176,4
Еквівалентна сумарна площа постійного та додаткового звукопоглинання Aconst + Aadd		м²	94,4				
Загальна еквівалентна площа звукопоглинання Аф		м²	147,32	178	208,8	237,55	270,8
Загальна площа внутрішніх поверхонь залу S		м²	904,4				
Середній коефіцієнт звукопоглинання $\alpha\varphi$			0,16	0,19	0,23	0,26	0,3
Значення функції φ (αф)			0,17	0,21	0,26	0,3	0,36
Коеф. звукопоглинання повітрям n		$м^{-1}$	0				
Об’єм зали		м³	1535				
Фактичний час реверберації Тф		с	1,62	1,31	1,06	0,92	0,76

Час реверберації знаходиться в межах нормативного діапазону (0,78 - 1,06 с) при заповненні залу глядачами від **50%** до **95%**. При меншій кількості слухачів (менше 50%) спостерігається незначне перевищення часу реверберації, що не є критичним для лекційних аудиторій, але може вимагати використання мікрофона для кращої розбірливості мови.

Розрахунок індексу розбірливості мови STI

Для розрахунку STI були використані програми Excel

%Alcons

мер ряда	i=	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
2		9,703991	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
3		8,968434	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
4		8,294174	9,36728366	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
5		7,681209	8,75431949	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
6		7,129542	8,202651739	9,479376	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
7		6,63917	7,71228048	8,989005	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
8		6,210095	7,28320548	8,55993	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
9		5,842317	6,915426988	8,192151	9,67249	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
10		5,535835	6,608944897	7,885669	9,366008	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
11		5,290649	6,363759237	7,640484	9,120822	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
12		5,10676	6,179869977	7,456594	8,936933	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
13		4,984167	6,057277147	7,334001	8,81434	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
14		4,922871	5,995980727	7,272705	8,753044	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
15		4,922871	5,995980727	7,272705	8,753044	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
16		4,984167	6,057277147	7,334001	8,81434	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
17		5,10676	6,179869977	7,456594	8,936933	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
18		5,290649	6,363759237	7,640484	9,120822	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
19		5,535835	6,608944897	7,885669	9,366008	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
20		5,842317	6,915426988	8,192151	9,67249	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
21		6,210095	7,28320548	8,55993	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
22		6,63917	7,71228048	8,989005	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
23		7,129542	8,202651739	9,479376	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
24		7,681209	8,75431949	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
25		8,294174	9,36728366	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
26		8,968434	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
27		9,703991	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73
28		10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73	10,73

STI

номер ряда	i=	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		0,525924	0,525924	13	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
2		0,546003	0,525924	13	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
3		0,56175	0,525924	13	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
4		0,577364	0,553057	71	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
5		0,592702	0,566577	70	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
6		0,607592	0,579581	03	0,550681	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
7		0,621828	0,591895	91	0,561293	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
8		0,635175	0,603331	62	0,571064	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
9		0,647371	0,613683	26	0,579837	0,546652	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
10		0,658136	0,622739	22	0,587454	0,553085	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
11		0,667186	0,630291	68	0,593764	0,558384	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
12		0,674253	0,63614	95	0,598631	0,562453	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
13		0,679107	0,640152	38	0,601943	0,565213	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
14		0,68158	0,642184	3	0,603620	0,566607	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
15		0,68158	0,642184	3	0,603620	0,566607	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
16		0,679107	0,640152	38	0,601943	0,565213	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
17		0,674253	0,63614	95	0,598631	0,562453	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
18		0,667186	0,630291	68	0,593764	0,558384	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
19		0,658136	0,622739	22	0,587454	0,553085	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
20		0,647371	0,613683	26	0,579837	0,546652	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
21		0,635175	0,603331	62	0,571064	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
22		0,621828	0,591895	91	0,561293	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
23		0,607592	0,579581	03	0,550681	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
24		0,592702	0,566577	70	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
25		0,577364	0,553057	71	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
26		0,56175	0,525924	13	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
27		0,546003	0,525924	13	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
28		0,525924	0,525924	13	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,525924	0,52592413
29		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1. Визначаються вихідні умови:
T1000 – час реверберації на частоті 500 Гц, с;
T2000 – час реверберації на частоті 1000 Гц, с;
V – об'єм приміщення, м3;
Задається система координат Oxyz (x – горизонтальна повздовжня вісь, y – горизонтальна поперечна вісь; z – вертикальна вісь), глядачі сидять в одному рівні на нахиленій площині
d – глибина ряду, м;
c – висота сходинки між рядами, м;
b – ширина крісла, м;
x1 – відстань 1-го ряду від S;
z1 – перевищення вух слухачів 1-го ряду над S;
M – кількість рядів;
N – кількість місць у ряду.
2. Excely автоматичному режимі послідовно розраховують:
– Час реверберації T на частоті 1400 Гц (приймається як середній між часом реверберації на частотах 1000 і 2000 Гц);
– Критичну відстань

$$r_{кр} = 0,2\sqrt{\frac{QV}{T}}$$

де V – об'єм приміщення, м3;
Q – направленість звуку найближчого джерела (приймається рівним 1).
– Матрицю r – відстаней від джерела звуку S до кожного слухача;
– Матрицю відсотків втрат приголосних %ALCONS за формулами В.М.А. Пейтца:

$$\%ALCONS = 9T + K \qquad \text{при } r \geq r_{кр};$$

$$\%ALCONS = \frac{200r^2T^2n}{VQM} + K \text{ при } r < r_{кр},$$

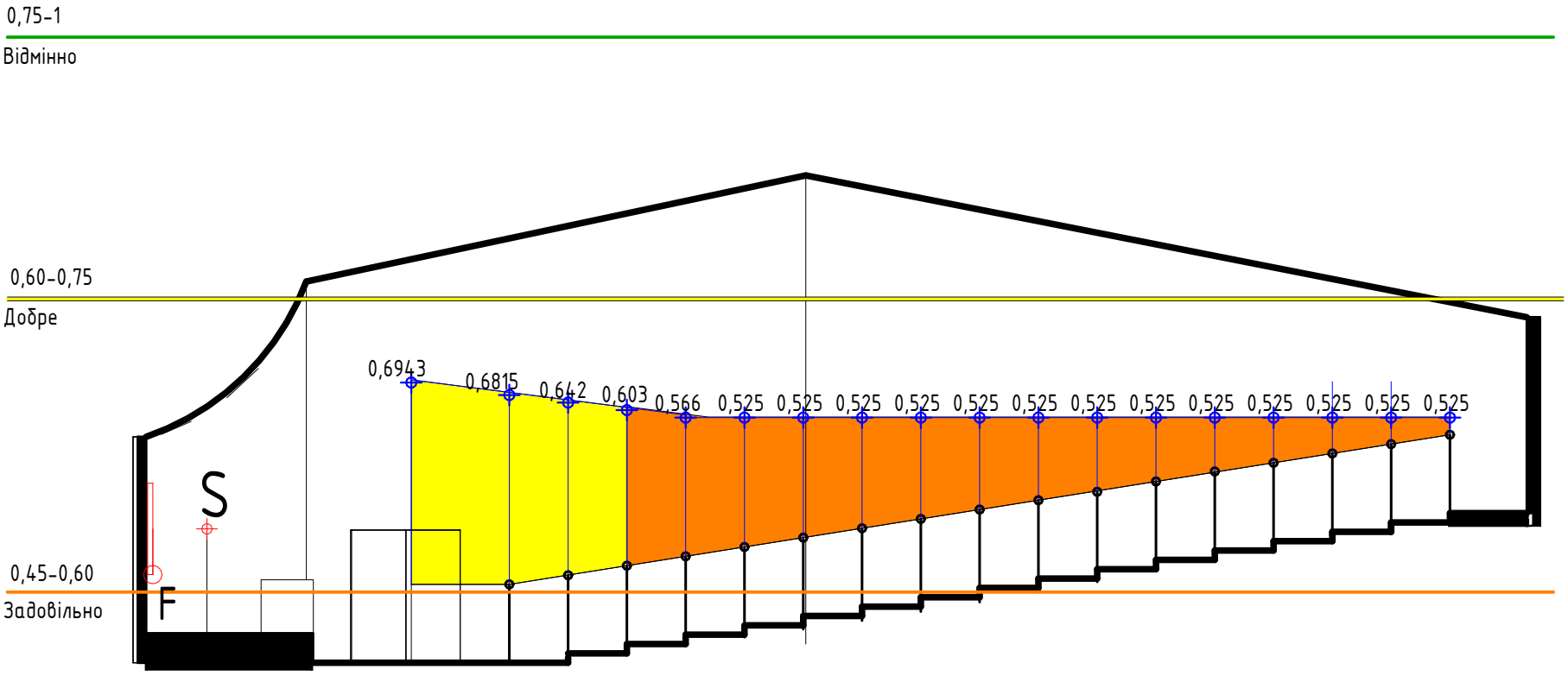
де V – об'єм приміщення, м3;
T – час реверберації приміщення на частоті 1400 Гц, с;
Q – направленість звуку найближчого джерела (приймається рівним 1);
M – поправочний коефіцієнт (дорівнює 1);
n – загальна кількість рівних джерел звуку (приймається n = 1);
K – фактор слухача (приймається 2 % як для слухача з хорошим слухом).
– Матрицю STI за формулою: $STI = 1 - 0,46\log(\%Alcons)$

3. За табл. 1 оцінюється якість розбірливості мови і на плані залу будуються зони з різною розбірливістю мови, які забарвлюються відповідним кольором.

Табл. 1. Зв'язок *STI* та *%ALcons*

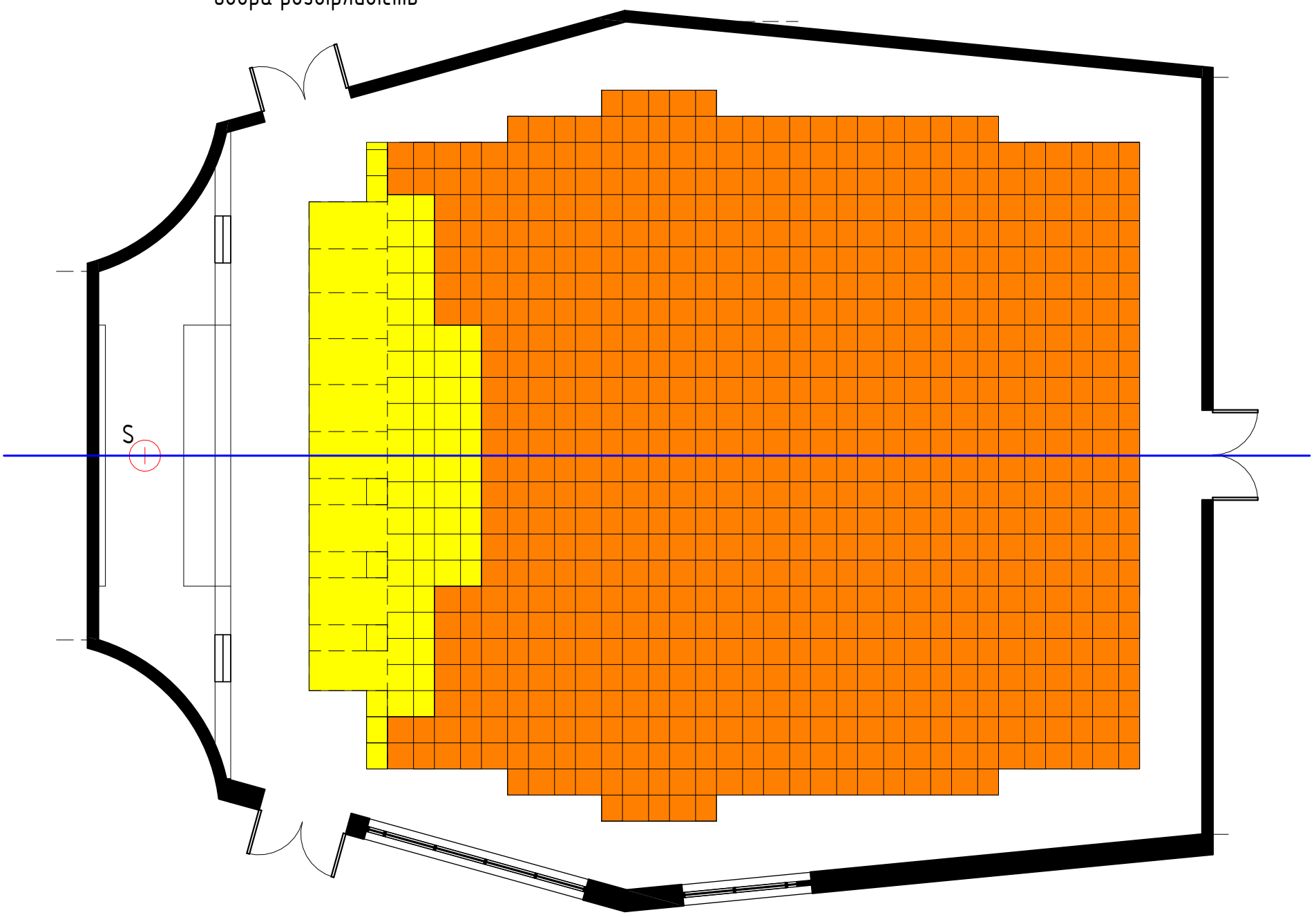
Розбірливість	Дуже погано	Погано	Задовільно	Добре	Відмінно
%ALcons	Понад 33,2 до 100 включно	Понад 15,7 до 33,2 включно	Понад 7,4 до 15,7 включно	Понад 3,5 до 7,4 включно	Від 0 до 3,5 включно
STI	Від 0 до 0,30 включно	Понад 0,30 до 0,45 включно	Понад 0,45 до 0,60 включно	Понад 0,60 до 0,75 включно	Понад 0,75 до 1 включно

4. Надається експлікація кольорів зон з зазначенням значень STI кожної зони.
5. На повздовжньому розрізі залу будується крива STI за їх значеннями по осі залу.
6. Робиться висновок з розрахунку якості розбірливості мови. Якщо у залі розбірливість незадовільна, розробляються пропозиції щодо її покращення



STI = 0,45-0,60
задовільна розбірливість

STI = 0,60-0,75
добра розбірливість



Висновок: (Ряди 1–6): Значення STI знаходиться в діапазоні 0,60 – 0,67, що відповідає оцінці ¼Добре½.
(Ряди 7–17): Значення STI знижується з 0,59 до 0,53, що відповідає оцінці ¼Задовільно½.Втрата приголосних (%Alcons) на останніх рядах не перевищує 11%, що є допустимим для навчальних аудиторій.
Акустичні умови в залі визнаються задовільними та достатніми для проведення лекцій. Зон з ¼незадовільною½ (STI < 0,45)або ¼поганою½розбірливістю у залі не виявлено.

Розрахунок індексу ясності звуку C80

E^{500}_{early} – рання відбита звукова енергії на частоті 500 Гц

номер ряда	i=	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		9,95636807	9,73121	9,4866	9,22847	8,96168	8,6901	8,41677	8,14404	7,87369	7,6071	7,34528	7,08898	6,83875	6,59496	6,35788	6,12765	5,90436
2		10,1330367	9,89294	9,63391	9,36227	9,08307	8,80024	8,51677	8,23494	7,95645	7,68257	7,41423	7,15208	6,89659	6,64807	6,40672	6,17264	5,94586
3		10,3076325	10,0516	9,77738	9,4918	9,19997	8,90581	8,61225	8,32145	8,03498	7,75401	7,47934	7,21155	6,95102	6,69798	6,45257	6,21482	5,98473
4		10,4790581	10,206	9,91603	9,61616	9,31159	9,00615	8,70264	8,40307	8,10887	7,82106	7,54033	7,26716	7,00183	6,7445	6,49525	6,25405	6,02084
5		10,6459901	10,355	10,0487	9,73438	9,4171	9,10056	8,78736	8,47932	8,1777	7,88337	7,5969	7,31865	7,0488	6,78746	6,53461	6,29019	6,05408
6		10,8068449	10,4971	10,1742	9,84543	9,51565	9,18832	8,86581	8,5497	8,24107	7,94061	7,64876	7,36577	7,09174	6,82667	6,5705	6,32311	6,08434
7		10,9597479	10,6307	10,2912	9,94819	9,60633	9,26871	8,9374	8,61373	8,29857	7,99245	7,69565	7,40831	7,13044	6,86198	6,60279	6,3527	6,11152
8		11,102516	10,7541	10,3982	10,0415	9,68823	9,34101	9,00156	8,67096	8,34984	8,03857	7,73729	7,44604	7,16473	6,89323	6,63134	6,37885	6,13552
9		11,2326649	10,8652	10,4937	10,1243	9,76048	9,40451	9,05773	8,72092	8,39451	8,07869	7,77347	7,47877	7,19445	6,92029	6,65604	6,40146	6,15625
10		11,34746	10,962	10,5763	10,1953	9,82221	9,45857	9,10541	8,76324	8,43227	8,11254	7,80396	7,50633	7,21945	6,94303	6,67679	6,42043	6,17365
11		11,4440293	11,0426	10,6444	10,2536	9,87264	9,5026	9,14415	8,79755	8,46284	8,13992	7,82858	7,52857	7,2396	6,96135	6,6935	6,43571	6,18764
12		11,5195512	11,1049	10,6968	10,2983	9,91111	9,53609	9,17355	8,82355	8,48598	8,16062	7,84718	7,54536	7,25481	6,97517	6,70609	6,44721	6,19818
13		11,5715142	11,1475	10,7323	10,3285	9,93707	9,55865	9,19333	8,84102	8,50151	8,1745	7,85965	7,55661	7,26499	6,98442	6,71452	6,45491	6,20523
14		11,5980122	11,1691	10,7503	10,3437	9,95014	9,57	9,20327	8,8498	8,50931	8,18146	7,8659	7,56224	7,27009	6,98906	6,71874	6,45877	6,20876
15		11,5980122	11,1691	10,7503	10,3437	9,95014	9,57	9,20327	8,8498	8,50931	8,18146	7,8659	7,56224	7,27009	6,98906	6,71874	6,45877	6,20876
16		11,5715142	11,1475	10,7323	10,3285	9,93707	9,55865	9,19333	8,84102	8,50151	8,1745	7,85965	7,55661	7,26499	6,98442	6,71452	6,45491	6,20523
17		11,5195512	11,1049	10,6968	10,2983	9,91111	9,53609	9,17355	8,82355	8,48598	8,16062	7,84718	7,54536	7,25481	6,97517	6,70609	6,44721	6,19818
18		11,4440293	11,0426	10,6444	10,2536	9,87264	9,5026	9,14415	8,79755	8,46284	8,13992	7,82858	7,52857	7,2396	6,96135	6,6935	6,43571	6,18764
19		11,34746	10,962	10,5763	10,1953	9,82221	9,45857	9,10541	8,76324	8,43227	8,11254	7,80396	7,50633	7,21945	6,94303	6,67679	6,42043	6,17365
20		11,2326649	10,8652	10,4937	10,1243	9,76048	9,40451	9,05773	8,72092	8,39451	8,07869	7,77347	7,47877	7,19445	6,92029	6,65604	6,40146	6,15625
21		11,102516	10,7541	10,3982	10,0415	9,68823	9,34101	9,00156	8,67096	8,34984	8,03857	7,73729	7,44604	7,16473	6,89323	6,63134	6,37885	6,13552
22		10,9597479	10,6307	10,2912	9,94819	9,60633	9,26871	8,9374	8,61373	8,29857	7,99245	7,69565	7,40831	7,13044	6,86198	6,60279	6,3527	6,11152
23		10,8068449	10,4971	10,1742	9,84543	9,51565	9,18832	8,86581	8,5497	8,24107	7,94061	7,64876	7,36577	7,09174	6,82667	6,5705	6,32311	6,08434
24		10,6459901	10,355	10,0487	9,73438	9,4171	9,10056	8,78736	8,47932	8,1777	7,88337	7,5969	7,31865	7,0488	6,78746	6,53461	6,29019	6,05408
25		10,4790581	10,206	9,91603	9,61616	9,31159	9,00615	8,70264	8,40307	8,10887	7,82106	7,54033	7,26716	7,00183	6,7445	6,49525	6,25405	6,02084
26		10,3076325	10,0516	9,77738	9,4918	9,19997	8,90581	8,61225	8,32145	8,03498	7,75401	7,47934	7,21155	6,95102	6,69798	6,45257	6,21482	5,98473
27		10,1330367	9,89294	9,63391	9,36227	9,08307	8,80024	8,51677	8,23494	7,95645	7,68257	7,41423	7,15208	6,89659	6,64807	6,40672	6,17264	5,94586
28		9,95636807	9,73121	9,4866	9,22847	8,96168	8,6901	8,41677	8,14404	7,87369	7,6071	7,34528	7,08898	6,83875	6,59496	6,35788	6,12765	5,90436
29		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

E_direct – енергія прямого звуку

номер ряда	i=	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		1,47420515	1,30249	1,14443	1,00357	0,88051	0,77425	0,68304	0,60491	0,53798	0,48051	0,43103	0,38827	0,35116	0,31884	0,29055	0,26569	0,24377
2		1,63043928	1,42296	1,2364	1,0736	0,93397	0,81528	0,71477	0,62967	0,55747	0,496	0,44345	0,39832	0,35937	0,32558	0,29614	0,27036	0,24769
3		1,80723445	1,55579	1,33547	1,14752	0,98941	0,85721	0,7468	0,6544	0,57676	0,51122	0,45557	0,40807	0,36729	0,33207	0,3015	0,27482	0,25143
4		2,00669578	1,70137	1,44134	1,22482	1,04635	0,89963	0,77879	0,67883	0,59566	0,52601	0,46728	0,41744	0,37486	0,33825	0,30658	0,27904	0,25495
5		2,2304917	1,85956	1,55328	1,30472	1,10411	0,942	0,81034	0,70268	0,61394	0,54021	0,47846	0,42634	0,38202	0,34407	0,31136	0,28299	0,25825
6		2,47934925	2,02938	1,67001	1,3861	1,16184	0,9837	0,84101	0,72562	0,63139	0,55367	0,48899	0,43468	0,3887	0,34948	0,31578	0,28664	0,26128
7		2,75230641	2,20867	1,78955	1,46747	1,21847	1,02399	0,87029	0,74731	0,64774	0,56621	0,49875	0,44237	0,39484	0,35443	0,31982	0,28996	0,26404
8		3,04570099	2,39371	1,90913	1,54692	1,27274	1,06206	0,89763	0,76739	0,66277	0,57766	0,50761	0,44933	0,40037	0,35888	0,32344	0,29294	0,2665
9		3,35197433	2,57891	2,02511	1,6222	1,32327	1,09701	0,92247	0,78547	0,67622	0,58785	0,51546	0,45547	0,40524	0,36279	0,32661	0,29553	0,26865
10		3,65855925	2,75663	2,13311	1,69077	1,36854	1,12794	0,94425	0,8012	0,68784	0,59662	0,52218	0,46071	0,40939	0,36611	0,3293	0,29773	0,27047
11		3,94739481	2,91748	2,22817	1,74994	1,40706	1,15398	0,96242	0,81425	0,69744	0,60382	0,5277	0,465	0,41277	0,36881	0,33148	0,29952	0,27194
12		4,19583401	3,051	2,30521	1,79712	1,43739	1,1743	0,97652	0,82432	0,70481	0,60934	0,53191	0,46826	0,41534	0,37086	0,33314	0,30087	0,27305
13		4,37959452	3,14702	2,35961	1,83	1,45836	1,18826	0,98615	0,83117	0,70981	0,61308	0,53475	0,47047	0,41707	0,37224	0,33425	0,30178	0,2738
14		4,47764589	3,19733	2,38778	1,8469	1,46907	1,19536	0,99104	0,83464	0,71234	0,61496	0,53618	0,47158	0,41794	0,37294	0,33481	0,30223	0,27418
15		4,47764589	3,19733	2,38778	1,8469	1,46907	1,19536	0,99104	0,83464	0,71234	0,61496	0,53618	0,47158	0,41794	0,37294	0,33481	0,30223	0,27418
16		4,37959452	3,14702	2,35961	1,83	1,45836	1,18826	0,98615	0,83117	0,70981	0,61308	0,53475	0,47047	0,41707	0,37224	0,33425	0,30178	0,2738
17		4,19583401	3,051	2,30521	1,79712	1,43739	1,1743	0,97652	0,82432	0,70481	0,60934	0,53191	0,46826	0,41534	0,37086	0,33314	0,30087	0,27305
18		3,94739481	2,91748	2,22817	1,74994	1,40706	1,15398	0,96242	0,81425	0,69744	0,60382	0,5277	0,465	0,41277	0,36881	0,33148	0,29952	0,27194
19		3,65855925	2,75663	2,13311	1,69077	1,36854	1,12794	0,94425	0,8012	0,68784	0,59662	0,52218	0,46071	0,40939	0,36611	0,3293	0,29773	0,27047
20		3,35197433	2,57891	2,02511	1,6222	1,32327	1,09701	0,92247	0,78547	0,67622	0,58785	0,51546	0,45547	0,40524	0,36279	0,32661	0,29553	0,26865
21		3,04570099	2,39371	1,90913	1,54692	1,27274	1,06206	0,89763	0,76739	0,66277	0,57766	0,50761	0,44933	0,40037	0,35888	0,32344	0,29294	0,2665
22		2,75230641	2,20867	1,78955	1,46747	1,21847	1,02399	0,87029	0,74731	0,64774	0,56621	0,49875	0,44237	0,39484	0,35443	0,31982	0,28996	0,26404
23		2,47934925	2,02938	1,67001	1,3861	1,16184	0,9837	0,84101	0,72562	0,63139	0,55367	0,48899	0,43468	0,3887	0,34948	0,31578	0,28664	0,26128
24		2,2304917	1,85956	1,55328	1,30472	1,10411	0,942	0,81034	0,70268	0,61394	0,54021	0,47846	0,42634	0,38202	0,34407	0,31136	0,28299	0,25825
25		2,00669578	1,70137	1,44134	1,22482	1,04635	0,89963	0,77879	0,67883	0,59566	0,52601	0,46728	0,41744	0,37486	0,33825	0,30658	0,27904	0,25495
26		1,80723445	1,55579	1,33547	1,14752	0,98941	0,85721	0,7468	0,6544	0,57676	0,51122	0,45557	0,40807	0,36729	0,33207	0,3015	0,27482	0,25143
27		1,63043928	1,42296	1,2364	1,0736	0,93397	0,81528	0,71477	0,62967	0,55747	0,496	0,44345	0,39832	0,35937	0,32558	0,29614	0,27036	0,24769
28		1,47420515	1,30249	1,14443	1,00357	0,88051	0,77425	0,68304	0,60491	0,53798	0,48051	0,43103	0,38827	0,35116	0,31884	0,29055	0,26569	0,24377
29		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

E_{late}^{500} – пізня відбита звукова енергії на частоті 500 Гц

номер ряда	i=	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		4,25151395	4,15537	4,05092	3,94069	3,82677	3,7108	3,59408	3,47762	3,36218	3,24834	3,13654	3,0271	2,92024	2,81615	2,71491	2,6166	2,52125
2		4,32695401	4,22443	4,11382	3,99783	3,8786	3,75783	3,63679	3,51644	3,39752	3,28057	3,16598	3,05404	2,94494	2,83882	2,73576	2,63581	2,53897
3		4,40150898	4,29216	4,17508	4,05313	3,92852	3,80291	3,67756	3,55338	3,43106	3,31108	3,19379	3,07944	2,96819	2,86014	2,75534	2,65382	2,55557
4		4,4747102	4,35811	4,23429	4,10624	3,97618	3,84576	3,71615	3,58823	3,46261	3,33971	3,21983	3,10318	2,98988	2,88	2,77356	2,67057	2,57099
5		4,5459926	4,42173	4,29095	4,15672	4,02124	3,88607	3,75233	3,62079	3,492	3,36631	3,24399	3,12517	3,00994	2,89834	2,79037	2,686	2,58518
6		4,61467994	4,48241	4,34455	4,20414	4,06332	3,92355	3,78583	3,65085	3,51906	3,39076	3,26613	3,14529	3,02828	2,91509	2,8057	2,70006	2,5981
7		4,67997175	4,53948	4,3945	4,24802	4,10204	3,95788	3,8164	3,67819	3,54361	3,41289	3,28615	3,16346	3,0448	2,93016	2,81949	2,7127	2,60971
8		4,74093578	4,59214	4,44019	4,28788	4,13702	3,98875	3,8438	3,70262	3,5655	3,43258	3,30394	3,17957	3,05945	2,94351	2,83168	2,72386	2,61995
9		4,79651124	4,63958	4,48097	4,32322	4,16787	4,01586	3,86778	3,72396	3,58458	3,44972	3,31938	3,19355	3,07213	2,95506	2,84223	2,73352	2,62881
10		4,84553043	4,68094	4,51622	4,35356	4,19423	4,03895	3,88814	3,74203	3,6007	3,46417	3,3324	3,20531	3,08281	2,96477	2,85109	2,74162	2,63624
11		4,88676693	4,71533	4,5453	4,37845	4,21576	4,05775	3,90468	3,75668	3,61376	3,47586	3,34292	3,21481	3,09141	2,9726	2,85822	2,74814	2,64221
12		4,9190159	4,74196	4,56767	4,39751	4,23219	4,07205	3,91724	3,76779	3,62364	3,4847	3,35086	3,22198	3,09791	2,9785	2,8636	2,75305	2,64671
13		4,94120482	4,76014	4,58286	4,4104	4,24327	4,08168	3,92569	3,77525	3,63027	3,49063	3,35618	3,22678	3,10226	2,98245	2,8672	2,75634	2,64972
14		4,95251986	4,76937	4,59054	4,41691	4,24886	4,08653	3,92993	3,77899	3,6336	3,4936	3,35886	3,22919	3,10444	2,98443	2,869	2,75799	2,65123
15		4,95251986	4,76937	4,59054	4,41691	4,24886	4,08653	3,92993	3,77899	3,6336	3,4936	3,35886	3,22919	3,10444	2,98443	2,869	2,75799	2,65123
16		4,94120482	4,76014	4,58286	4,4104	4,24327	4,08168	3,92569	3,77525	3,63027	3,49063	3,35618	3,22678	3,10226	2,98245	2,8672	2,75634	2,64972
17		4,9190159	4,74196	4,56767	4,39751	4,23219	4,07205	3,91724	3,76779	3,62364	3,4847	3,35086	3,22198	3,09791	2,9785	2,8636	2,75305	2,64671
18		4,88676693	4,71533	4,5453	4,37845	4,21576	4,05775	3,90468	3,75668	3,61376	3,47586	3,34292	3,21481	3,09141	2,9726	2,85822	2,74814	2,64221
19		4,84553043	4,68094	4,51622	4,35356	4,19423	4,03895	3,88814	3,74203	3,6007	3,46417	3,3324	3,20531	3,08281	2,96477	2,85109	2,74162	2,63624
20		4,79651124	4,63958	4,48097	4,32322	4,16787	4,01586	3,86778	3,72396	3,58458	3,44972	3,31938	3,19355	3,07213	2,95506	2,84223	2,73352	2,62881
21		4,74093578	4,59214	4,44019	4,28788	4,13702	3,98875	3,8438	3,70262	3,5655	3,43258	3,30394	3,17957	3,05945	2,94351	2,83168	2,72386	2,61995
22		4,67997175	4,53948	4,3945	4,24802	4,10204	3,95788	3,8164	3,67819	3,54361	3,41289	3,28615	3,16346	3,0448	2,93016	2,81949	2,7127	2,60971
23		4,61467994	4,48241	4,34455	4,20414	4,06332	3,92355	3,78583	3,65085	3,51906	3,39076	3,26613	3,14529	3,02828	2,91509	2,8057	2,70006	2,5981
24		4,5459926	4,42173	4,29095	4,15672	4,02124	3,88607	3,75233	3,62079	3,492	3,36631	3,24399	3,12517	3,00994	2,89834	2,79037	2,686	2,58518
25		4,4747102	4,35811	4,23429	4,10624	3,97618	3,84576	3,71615	3,58823	3,46261	3,33971	3,21983	3,10318	2,98988	2,88	2,77356	2,67057	2,57099
26		4,40150898	4,29216	4,17508	4,05313	3,92852	3,80291	3,67756	3,55338	3,43106	3,31108	3,19379	3,07944	2,96819	2,86014	2,75534	2,65382	2,55557
27		4,32695401	4,22443	4,11382	3,99783	3,8786	3,75783	3,63679	3,51644	3,39752	3,28057	3,16598	3,05404	2,94494	2,83882	2,73576	2,63581	2,53897
28		4,25151395	4,15537	4,05092	3,94069	3,82677	3,7108	3,59408	3,47762	3,36218	3,24834	3,13654	3,0271	2,92024	2,81615	2,71491	2,6166	2,52125
29		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

C_80 – на частоті 500 Гц

номер ряда	i=	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		4,29524402	4,24112	4,19022	4,1439	4,1026	4,06623	4,03444	4,00674	3,98261	3,96158	3,94322	3,92715	3,91304	3,90062	3,88964	3,87992	3,87127
2		4,3435339	4,27921	4,21997	4,16705	4,12064	4,08036	4,04557	4,01557	3,98968	3,96728	3,94786	3,93095	3,91618	3,90322	3,89182	3,88175	3,87282
3		4,39717057	4,32057	4,2516	4,19123	4,13919	4,09468	4,05673	4,02434	3,99664	3,97286	3,95236	3,93462	3,91919	3,90572	3,8939	3,8835	3,8743
4		4,45649856	4,36518	4,28497	4,21624	4,15807	4,10907	4,0678	4,03296	4,00342	3,97826	3,9567	3,93814	3,92207	3,90809	3,89587	3,88515	3,87569
5		4,52168495	4,41285	4,31979	4,24183	4,17706	4,12334	4,07866	4,04134	4,00996	3,98342	3,96083	3,94147	3,92479	3,91033	3,89772	3,88669	3,87699
6		4,59259011	4,46317	4,35563	4,26762	4,19588	4,13728	4,08916	4,04935	4,01618	3,9883	3,96471	3,94459	3,92732	3,9124	3,89944	3,88812	3,87818
7		4,66859295	4,51539	4,39185	4,29314	4,2142	4,15067	4,09913	4,0569	4,02198	3,99283	3,96829	3,94745	3,92964	3,91429	3,901	3,88941	3,87927
8		4,74837639	4,56837	4,42763	4,31783	4,23162	4,16325	4,10839	4,06386	4,0273	3,99696	3,97154	3,95004	3,93172	3,91599	3,90239	3,89057	3,88023
9		4,82970223	4,62052	4,46192	4,34101	4,24773	4,17473	4,11677	4,07011	4,03204	4,00062	3,97441	3,95232	3,93356	3,91748	3,90362	3,89158	3,88108
10		4,90924174	4,66978	4,49349	4,36195	4,26207	4,18485	4,12409	4,07552	4,03613	4,00377	3,97686	3,95427	3,93512	3,91875	3,90465	3,89244	3,88179
11		4,98257179	4,71374	4,52101	4,3799	4,27421	4,19333	4,13018	4,08	4,0395	4,00634	3,97887	3,95585	3,93639	3,91977	3,90549	3,89313	3,88237
12		5,04446806	4,7498	4,54314	4,39413	4,28374	4,19992	4,13489	4,08345	4,04208	4,00832	3,9804	3,95706	3,93735	3,92055	3,90613	3,89366	3,8828
13		5,08958018	4,77549	4,55867	4,404	4,2903	4,20444	4,1381	4,0858	4,04383	4,00965	3,98144	3,95788	3,938	3,92108	3,90656	3,89401	3,8831
14		5,11342535	4,78888	4,56668	4,40907	4,29364	4,20674	4,13973	4,08698	4,04472	4,01033	3,98196	3,95829	3,93833	3,92134	3,90677	3,89419	3,88324
15		5,11342535	4,78888	4,56668	4,40907	4,29364	4,20674	4,13973	4,08698	4,04472	4,01033	3,98196	3,95829	3,93833	3,92134	3,90677	3,89419	3,88324
16		5,08958018	4,77549	4,55867	4,404	4,2903	4,20444	4,1381	4,0858	4,04383	4,00965	3,98144	3,95788	3,938	3,92108	3,90656	3,89401	3,8831
17		5,04446806	4,7498	4,54314	4,39413	4,28374	4,19992	4,13489	4,08345	4,04208	4,00832	3,9804	3,95706	3,93735	3,92055	3,90613	3,89366	3,8828
18		4,98257179	4,71374	4,52101	4,3799	4,27421	4,19333	4,13018	4,08	4,0395	4,00634	3,97887	3,95585	3,93639	3,91977	3,90549	3,89313	3,88237
19		4,90924174	4,66978	4,49349	4,36195	4,26207	4,18485	4,12409	4,07552	4,03613	4,00377	3,97686	3,95427	3,93512	3,91875	3,90465	3,89244	3,88179
20		4,82970223	4,62052	4,46192	4,34101	4,24773	4,17473	4,11677	4,07011	4,03204	4,00062	3,97441	3,95232	3,93356	3,91748	3,90362	3,89158	3,88108
21		4,74837639	4,56837	4,42763	4,31783	4,23162	4,16325	4,10839	4,06386	4,0273	3,99696	3,97154	3,95004	3,93172	3,91599	3,90239	3,89057	3,88023
22		4,66859295	4,51539	4,39185	4,29314	4,2142	4,15067	4,09913	4,0569	4,02198	3,99283	3,96829	3,94745	3,92964	3,91429	3,901	3,88941	3,87927
23		4,59259011	4,46317	4,35563	4,26762	4,19588	4,13728	4,08916	4,04935	4,01618	3,9883	3,96471	3,94459	3,92732	3,9124	3,89944	3,88812	3,87818
24		4,52168495	4,41285	4,31979	4,24183	4,17706	4,12334	4,07866	4,04134	4,00996	3,98342	3,96083	3,94147	3,92479	3,91033	3,89772	3,88669	3,87699
25		4,45649856	4,36518	4,28497	4,21624	4,15807	4,10907	4,0678	4,03296	4,00342	3,97826	3,9567	3,93814	3,92207	3,90809	3,89587	3,88515	3,87569
26		4,39717057	4,32057	4,2516	4,19123	4,13919	4,09468	4,05673	4,02434	3,99664	3,97286	3,95236	3,93462	3,91919	3,90572	3,8939	3,8835	3,8743
27		4,3435339	4,27921	4,21997	4,16705	4,12064	4,08036	4,04557	4,01557	3,98968	3,96728	3,94786	3,93095	3,91618	3,90322	3,89182	3,88175	3,87282
28		4,29524402	4,24112	4,19022	4,1439	4,1026	4,06623	4,03444	4,00674	3,98261	3,96158	3,94322	3,92715	3,91304	3,90062	3,88964	3,87992	3,87127
29		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1. Визначаються вихідні умови:
T500 – час реверберації на частоті 500 Гц, с;
T1000 – час реверберації на частоті 1000 Гц, с;
V – об'єм приміщення, м3;
Задається система координат Oxyz (x – горизонтальна повздовжня вісь, y – горизонтальна поперечна вісь; z – вертикальна вісь).
– глядачі сидять в одному рівні на нахиленій площині
d – глибина ряду, м;
c – висота сходинки між рядами, м;
b – ширина крісла, м;
x1 – відстань 1-го ряду від S;
z1 – Перевищення вух слухачів 1-го ряду над S;
M – Кількість рядів;
N – Кількість місць у ряду.
2. Ці програми послідовно розраховують за методом М. Баррона:
- Матрицю r – відстаней від джерела звуку S до кожного слухача;
- Матрицю Edirect – енергію прямого звуку, що надходить до кожного слухача

$$E_{direct} = \frac{100}{r^2};$$

- Матрицю Eearly – ранню відбиту звукову енергії в межах 80 мс після надходження прямого звуку на кожній розрахунковій частоті

$$E_{early} = \frac{31200}{V} e^{-\frac{0{,}04r}{T}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{1{,}11}{T}}\right);$$

- Матрицю Elate – енергію пізнього відбиття після 80 мс на кожній розрахунковій частоті

$$E_{late} = \frac{31200}{V} e^{-\frac{0{,}04r}{T}} \cdot e^{-\frac{1{,}11}{T}};$$

- Матрицю C80 на кожній розрахунковій частоті

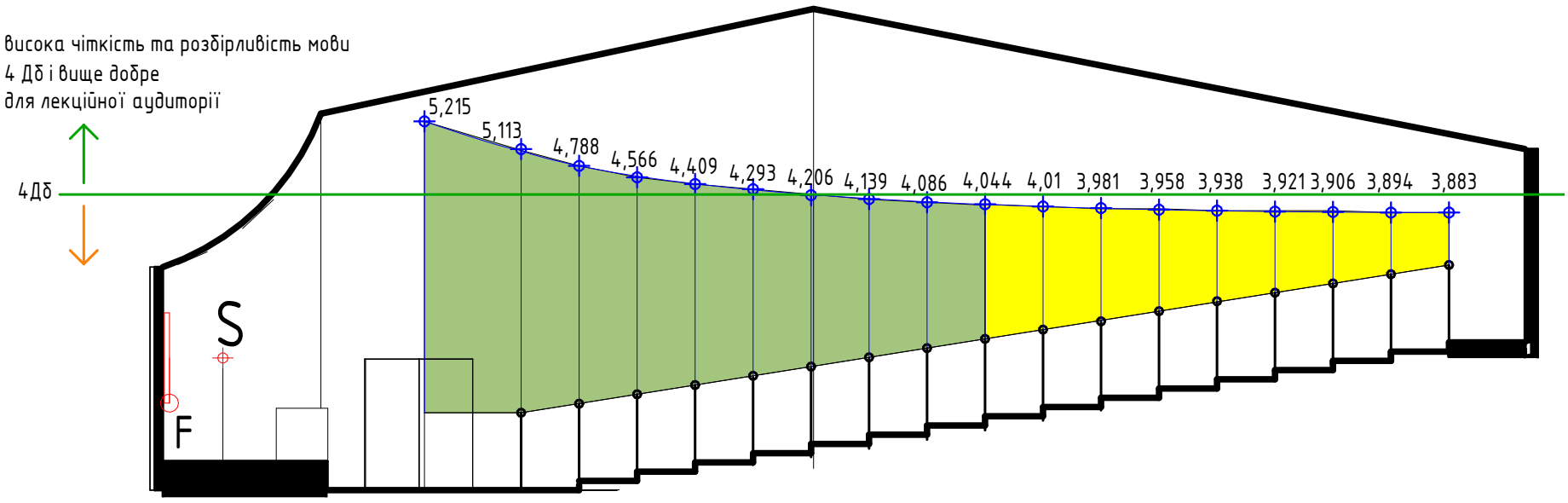
$$C_{80} = 10\log\left(\frac{E_{direct} + E_{early}}{E_{late}}\right).$$

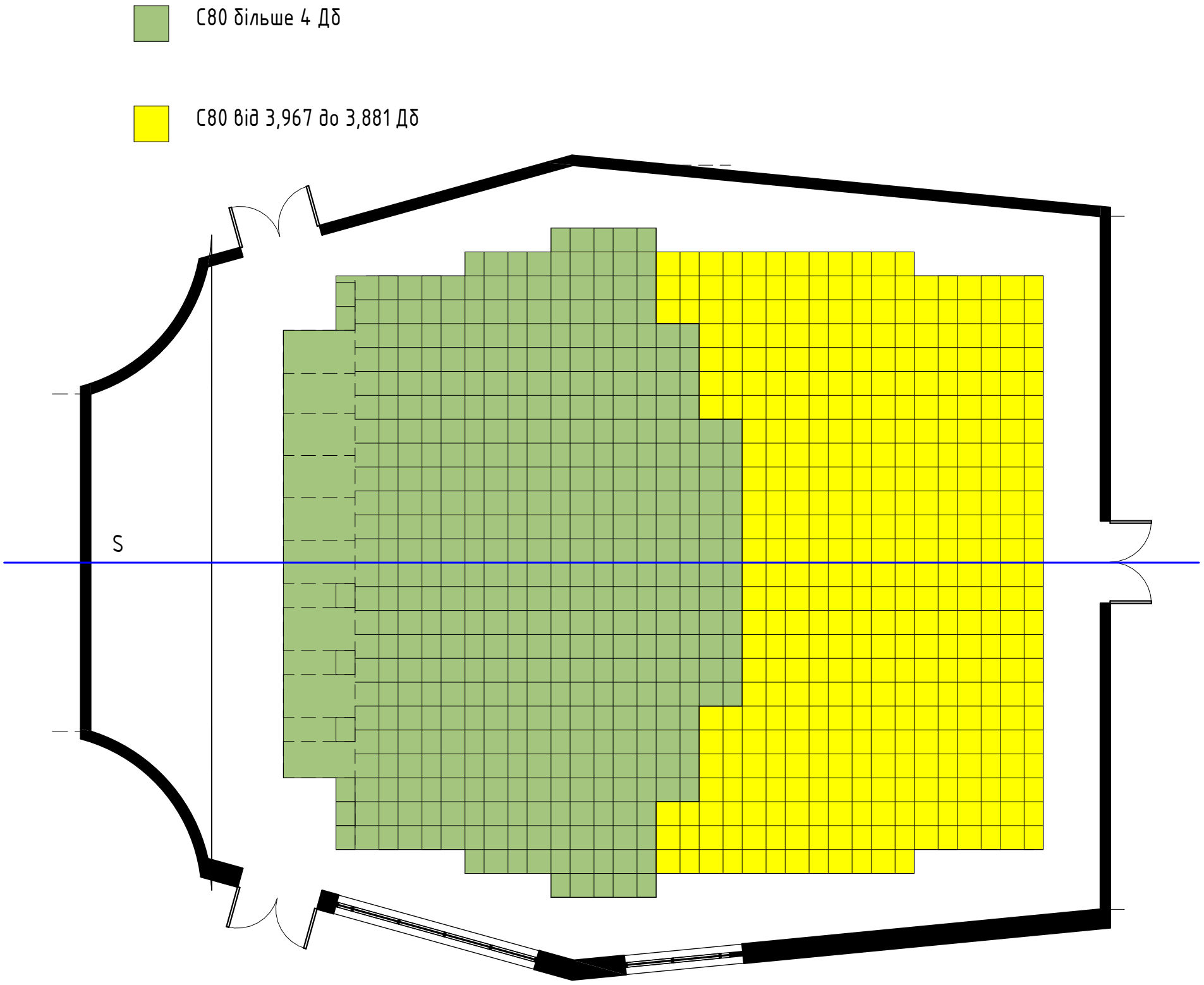
3. За таблицею рекомендованих значень С80 визначаються зони на плані, які відповідають рекомендованим значенням. Ці зони фарбуються на плані зеленим кольором.

Рекомендовані значення C_{80}

Тип приміщення	Рекомендований діапазон C_{80} для частот 500-1000 Гц	Примітка
Зали органної музики	Від -6 дБ до – 4 дБ	Органна музика, як правило, створюється для великих просторів, таких як собори та церкви, де ключову роль відіграє величний, об'ємний звук і тривала реверберація. Негативні значення C_{80} свідчать про переважання пізньої енергії, що і створює це відчуття простору та "насиченості" звуку
Концертні зали для класичної музики	Від -2 дБ до 2 дБ	Це значення забезпечує баланс між ясністю та об'ємністю звуку, що дозволяє почути як окремі інструменти, так і загальну звукову картину оркестру
Зали для камерної музики	Від 1 дБ до 4 дБ	Висока ясність є ключовою для камерної музики, оскільки вона дозволяє слухачеві чітко розрізняти кожен інструмент у невеликому ансамблі
Оперні театри	Від -3 дБ до 1 дБ	Для оперних театрів важливо знайти баланс між чіткістю вокалу і природною реверберацією, яка додає простору та емоційності.
Зали для естрадної музики	Від 2дБ до 6 дБ	Позитивні значення забезпечують максимальну чіткість і динаміку, що є критичним для посиленої музики. Контроль над звуком передається звукорежисеру, а не акустиці приміщення
Конференц-зали, лекційні аудиторії, драматичні театри	Від 4 дБ і вище	Основна мета — максимальна розбірливість мови. Чим вище значення С80, тим краще.

4. На розрізі зала будується графіки зміни С80 вздовж поздовжньої осі на частотах 500 Гц та 1000 Гц.
5. Робляться висновки з розрахунку





Розрахунок показав, що індекс ясності (C80) у залі знаходиться в діапазоні від 3,881 дБ до 5,044 дБ.Це відповідає вимогам для лекційних аудиторій (де рекомендовано значення >4 дБ). Позитивні значення індексу свідчать про те, що енергія корисного (прямого та раннього відбитого) звуку переважає над пізньою реверберацією. Це гарантує високу чіткість та розбірливість мови у всіх зонах залу без необхідності напружувати слух.

Розрахунок JLF

(енергія ранніх бокових звукових відбиттів LF J – Lateral Energy Fraction)

1. Визначаються вихідні умови:

V – об'єм приміщення, м3;

SΣ – загальна площа огороджувальних поверхонь залу, м2;

Sl – площа бокових стін, м2;

T125 – час реверберації на частоті 125 Гц, с;

T250 – час реверберації на частоті 250 Гц, с;

T500 – час реверберації на частоті 500 Гц, с;

T1000 – час реверберації на частоті 1000 Гц, с;

$\alpha_{сер}^{125};\alpha_{сер}^{250};\alpha_{сер}^{500};\alpha_{сер}^{1000}$ – середні коефіцієнти звукопоглинання приміщення на частотах;

$\alpha_{сер,l}^{125};\alpha_{сер,l}^{250};\alpha_{сер,l}^{500};\alpha_{сер,l}^{1000}$ – середні коефіцієнти звукопоглинання бокових стін приміщення на частотах.

Задається система координат Oxyz (x – горизонтальна повздовжня вісь, y – горизонтальна поперечна вісь; z – вертикальна вісь).

– глядачі сидять в одному рівні на нахиленій площині

d – глибина ряду, м;

c – висота сходинки між рядами, м;

b – ширина крісла, м;

x1 – відстань 1-го ряду від S;

z1 – Перевищення вух слухачів 1-го ряду над S;

M – Кількість рядів;

N – Кількість місць у ряду

2. Ексель послідовно розраховує:

- Матрицю r – відстаней від джерела звуку S до кожного слухача;
- Матрицю Edirect – енергію прямого звуку, що надходить до кожного слухача $E_{direct} = \frac{100}{r^2};$
- Матрицю Eearly – ранню відбиту звукову енергії в межах 80 мс після надходження прямого звуку на кожній розрахунковій частоті $E_{early} = \frac{31200}{T} e^{-\frac{0,04r}{T}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{1,11}{T}}\right);$
- Матрицю JLF – на кожній розрахунковій частоті $J_{LF} = \frac{E_{early,l}}{E_{direct} + E_{early}},$
- Матрицю усереднених значень JLF $J_{LF} = \frac{J_{LF}^{125} + J_{LF}^{250} + J_{LF}^{500} + J_{LF}^{1000}}{4}$

де $E_{early,l} = E_{early} \frac{S_l(1-\alpha_{сер,l})}{S_\Sigma(1-\alpha_{сер})},$

3. Рекомендовані значення JLF від 0,05 до 0,35. Ці зони фарбуються на плані зеленим або жовтим кольором. Якщо є місця, де рекомендовані значення не виконуються, тоді ці зони фарбуються червоним кольором.

4. На розрізі будуються графіки зміни JLF вздовж поздовжньої осі.

Робляться висновки з розрахунку і рекомендації.

ВИХІДНІ УМОВИ ДЛЯ ЗАЛІВ В ЯКИХ ГЛЯДАЧІ РОЗТАШОВАНІ НА НАХИЛЕНІЙ ПЛОЩИНІ З ПРОХОДАМИ ТІЛЬКИ З БОКІВ РЯДІВ

Вихідні умови		
Час реверберації на частоті 125 Гц	T^{125}, с	0,92
Час реверберації на частоті 250 Гц	T^{250},с	1,02
Час реверберації на частоті 500 Гц	T^{500},с	0,92
Час реверберації на частоті 1000 Гц	T^{1000},с	1,06

Конференцзал																					
Об'єм приміщення	V, м³	1535	Глибина ряду	d, м	0,9	Висота сходинки	c, м	0,143	Ширина крісла	b, м	0,5	Перевищення вух слухача 1 ряду над S	z_1, м	-1,5	відстань 1 ряду від S	x_1, м	4,64	кількість місць в ряду	N	28	кількість рядів	M	17

Середній коефіцієнт звукопоглинання	приміщення	бокових стін
на частоті 125 Гц	0,04	0,2
на частоті 250 Гц	0,1	0,13
на частоті 500 Гц	0,05	0,19
на частоті 1000 Гц	0,04	0,28

Загальна площа поверхонь		
S_Σ, м2	904,4	

Площа бокових стін		
S_I, м2	230,18	

E_direct – енергія прямого звуку

номер ряда	i= 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	1,442125	1,28048271	1,129817	0,994183	0,874728	0,770901	0,681309	0,604247	0,537996	0,480965	0,431747	0,389136	0,352109	0,319809	0,291518	0,26664	0,244675
2	1,59129	1,39673487	1,219365	1,062867	0,927461	0,811568	0,712879	0,62895	0,557492	0,496486	0,444213	0,399234	0,360357	0,326598	0,297148	0,271342	0,248629
3	1,759259	1,52449368	1,315618	1,135265	0,982113	0,853109	0,744733	0,653616	0,576785	0,51173	0,456377	0,409032	0,36832	0,333126	0,302542	0,275833	0,252395
4	1,947719	1,66401675	1,418241	1,210872	1,038192	0,895108	0,776541	0,677989	0,595682	0,52655	0,468128	0,418446	0,375936	0,339343	0,307662	0,280082	0,255948
5	2,157865	1,81502865	1,526487	1,288907	1,095035	0,937046	0,807909	0,701779	0,613968	0,540788	0,479347	0,427388	0,383138	0,3452	0,312469	0,28406	0,259265
6	2,389937	1,97645844	1,639078	1,368267	1,151791	0,978298	0,83839	0,724663	0,631413	0,554276	0,489915	0,435769	0,389859	0,350647	0,316925	0,287738	0,262326
7	2,642559	2,14612773	1,754081	1,447489	1,207419	1,01814	0,867481	0,746296	0,647774	0,566844	0,499708	0,443499	0,396035	0,355635	0,320994	0,291089	0,265108
8	2,911878	2,32042525	1,868813	1,524736	1,260696	1,055762	0,894644	0,766312	0,662801	0,578317	0,508603	0,450492	0,401602	0,360118	0,324641	0,294085	0,267591
9	3,190597	2,49404242	1,97981	1,597823	1,31025	1,090295	0,919318	0,784344	0,676248	0,588528	0,516484	0,456664	0,4065	0,364051	0,327834	0,296702	0,269756
10	3,467154	2,65988934	2,082904	1,664305	1,354623	1,120846	0,940944	0,800031	0,687877	0,597316	0,52324	0,461938	0,410673	0,367395	0,330543	0,29892	0,271588
11	3,725491	2,80934001	2,173445	1,721611	1,392345	1,146548	0,958991	0,813041	0,697472	0,604538	0,528773	0,466245	0,414074	0,370114	0,332743	0,300717	0,273071
12	3,946003	2,93293415	2,246691	1,767248	1,422045	1,166612	0,972987	0,823078	0,704847	0,610071	0,533001	0,469529	0,416662	0,37218	0,334412	0,30208	0,274194
13	4,108109	3,02155435	2,298328	1,799042	1,442558	1,180382	0,982547	0,829909	0,70985	0,613815	0,535857	0,471744	0,418405	0,373571	0,335534	0,302995	0,274948
14	4,194261	3,06790353	2,325046	1,815372	1,453039	1,18739	0,987398	0,833367	0,712378	0,615705	0,537296	0,472859	0,419282	0,37427	0,336098	0,303455	0,275327
15	4,194261	3,06790353	2,325046	1,815372	1,453039	1,18739	0,987398	0,833367	0,712378	0,615705	0,537296	0,472859	0,419282	0,37427	0,336098	0,303455	0,275327
16	4,108109	3,02155435	2,298328	1,799042	1,442558	1,180382	0,982547	0,829909	0,70985	0,613815	0,535857	0,471744	0,418405	0,373571	0,335534	0,302995	0,274948
17	3,946003	2,93293415	2,246691	1,767248	1,422045	1,166612	0,972987	0,823078	0,704847	0,610071	0,533001	0,469529	0,416662	0,37218	0,334412	0,30208	0,274194
18	3,725491	2,80934001	2,173445	1,721611	1,392345	1,146548	0,958991	0,813041	0,697472	0,604538	0,528773	0,466245	0,414074	0,370114	0,332743	0,300717	0,273071
19	3,467154	2,65988934	2,082904	1,664305	1,354623	1,120846	0,940944	0,800031	0,687877	0,597316	0,52324	0,461938	0,410673	0,367395	0,330543	0,29892	0,271588
20	3,190597	2,49404242	1,97981	1,597823	1,31025	1,090295	0,919318	0,784344	0,676248	0,588528	0,516484	0,456664	0,4065	0,364051	0,327834	0,296702	0,269756
21	2,911878	2,32042525	1,868813	1,524736	1,260696	1,055762	0,894644	0,766312	0,662801	0,578317	0,508603	0,450492	0,401602	0,360118	0,324641	0,294085	0,267591
22	2,642559	2,14612773	1,754081	1,447489	1,207419	1,01814	0,867481	0,746296	0,647774	0,566844	0,499708	0,443499	0,396035	0,355635	0,320994	0,291089	0,265108
23	2,389937	1,97645844	1,639078	1,368267	1,151791	0,978298	0,83839	0,724663	0,631413	0,554276	0,489915	0,435769	0,389859	0,350647	0,316925	0,287738	0,262326
24	2,157865	1,81502865	1,526487	1,288907	1,095035	0,937046	0,807909	0,701779	0,613968	0,540788	0,479347	0,427388	0,383138	0,3452	0,312469	0,28406	0,259265
25	1,947719	1,66401675	1,418241	1,210872	1,038192	0,895108	0,776541	0,677989	0,595682	0,52655	0,468128	0,418446	0,375936	0,339343	0,307662	0,280082	0,255948
26	1,759259	1,52449368	1,315618	1,135265	0,982113	0,853109	0,744733	0,653616	0,576785	0,51173	0,456377	0,409032	0,36832	0,333126	0,302542	0,275833	0,252395
27	1,59129	1,39673487	1,219365	1,062867	0,927461	0,811568	0,712879	0,62895	0,557492	0,496486	0,444213	0,399234	0,360357	0,326598	0,297148	0,271342	0,248629
28	1,442125	1,28048271	1,129817	0,994183	0,874728	0,770901	0,681309	0,604247	0,537996	0,480965	0,431747	0,389136	0,352109	0,319809	0,291518	0,26664	0,244675
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

$E^{125}_{відб}$ *– рання відбита звукова енергії на частоті 125 Гц*

номер ряда	i= 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	9,91701	9,69954001	9,461785	9,209637	8,947988	8,680786	8,411153	8,141525	7,87378	7,609354	7,349328	7,094512	6,845496	6,602702	6,366417	6,136825	5,914026
2	10,09094	9,85930385	9,607721	9,34251	9,068781	8,790558	8,510955	8,232351	7,956546	7,684887	7,418373	7,157728	6,903471	6,655955	6,415409	6,181963	5,955675
3	10,26258	10,0158422	9,749771	9,471087	9,185068	8,895765	8,606239	8,318778	8,035078	7,756381	7,483584	7,217323	6,958035	6,706002	6,461392	6,224283	5,994682
4	10,43084	10,1680858	9,886948	9,594486	9,296079	8,995743	8,696438	8,400324	8,108967	7,823485	7,544663	7,273041	7,008968	6,752655	6,504206	6,263642	6,030926
5	10,59439	10,3148006	10,01815	9,711746	9,400995	9,0898	8,780969	8,476499	8,177799	7,88585	7,601316	7,324632	7,056059	6,795732	6,543691	6,299905	6,064289
6	10,75168	10,4545776	10,14215	9,821837	9,498954	9,177222	8,859241	8,546812	8,241168	7,943137	7,653257	7,371855	7,099102	6,835058	6,5797	6,332944	6,09466
7	10,90087	10,5858322	10,25762	9,923671	9,589071	9,257289	8,930667	8,610782	8,298675	7,995017	7,700212	7,41448	7,137903	6,870468	6,612092	6,362638	6,121937
8	11,03985	10,7068163	10,36317	10,01612	9,670451	9,329284	8,994671	8,667944	8,349944	8,041179	7,741924	7,452292	7,172283	6,901812	6,640738	6,388878	6,146023
9	11,16623	10,8156514	10,45732	10,09806	9,742212	9,392516	9,050707	8,717861	8,39462	8,081334	7,778155	7,485096	7,202077	6,92895	6,66552	6,411564	6,166835
10	11,27744	10,9103875	10,53861	10,16838	9,803515	9,446339	9,098269	8,760132	8,432382	8,115224	7,808693	7,512716	7,22714	6,95176	6,686337	6,430608	6,184296
11	11,37076	10,9890922	10,60566	10,22606	9,853592	9,490169	9,136905	8,794403	8,46295	8,142621	7,833355	7,535001	7,247347	6,970139	6,7031	6,445936	6,198344
12	11,44359	11,0499683	10,65719	10,2702	9,89178	9,523508	9,166234	8,820379	8,48609	8,163339	7,851989	7,551827	7,262593	6,983999	6,715736	6,457486	6,208926
13	11,49361	11,0914913	10,69217	10,30005	9,917549	9,545961	9,185959	8,837828	8,501619	8,177233	7,864477	7,563098	7,272803	6,993276	6,724191	6,465212	6,216002
14	11,51909	11,1125475	10,70986	10,31511	9,930528	9,557258	9,195874	8,846593	8,509415	8,184205	7,870742	7,56875	7,27792	6,997926	6,728428	6,469082	6,219547
15	11,51909	11,1125475	10,70986	10,31511	9,930528	9,557258	9,195874	8,846593	8,509415	8,184205	7,870742	7,56875	7,27792	6,997926	6,728428	6,469082	6,219547
16	11,49361	11,0914913	10,69217	10,30005	9,917549	9,545961	9,185959	8,837828	8,501619	8,177233	7,864477	7,563098	7,272803	6,993276	6,724191	6,465212	6,216002
17	11,44359	11,0499683	10,65719	10,2702	9,89178	9,523508	9,166234	8,820379	8,48609	8,163339	7,851989	7,551827	7,262593	6,983999	6,715736	6,457486	6,208926
18	11,37076	10,9890922	10,60566	10,22606	9,853592	9,490169	9,136905	8,794403	8,46295	8,142621	7,833355	7,535001	7,247347	6,970139	6,7031	6,445936	6,198344
19	11,27744	10,9103875	10,53861	10,16838	9,803515	9,446339	9,098269	8,760132	8,432382	8,115224	7,808693	7,512716	7,22714	6,95176	6,686337	6,430608	6,184296
20	11,16623	10,8156514	10,45732	10,09806	9,742212	9,392516	9,050707	8,717861	8,39462	8,081334	7,778155	7,485096	7,202077	6,92895	6,66552	6,411564	6,166835
21	11,03985	10,7068163	10,36317	10,01612	9,670451	9,329284	8,994671	8,667944	8,349944	8,041179	7,741924	7,452292	7,172283	6,901812	6,640738	6,388878	6,146023
22	10,90087	10,5858322	10,25762	9,923671	9,589071	9,257289	8,930667	8,610782	8,298675	7,995017	7,700212	7,41448	7,137903	6,870468	6,612092	6,362638	6,121937
23	10,75168	10,4545776	10,14215	9,821837	9,498954	9,177222	8,859241	8,546812	8,241168	7,943137	7,653257	7,371855	7,099102	6,835058	6,5797	6,332944	6,09466
24	10,59439	10,3148006	10,01815	9,711746	9,400995	9,0898	8,780969	8,476499	8,177799	7,88585	7,601316	7,324632	7,056059	6,795732	6,543691	6,299905	6,064289
25	10,43084	10,1680858	9,886948	9,594486	9,296079	8,995743	8,696438	8,400324	8,108967	7,823485	7,544663	7,273041	7,008968	6,752655	6,504206	6,263642	6,030926
26	10,26258	10,0158422	9,749771	9,471087	9,185068	8,895765	8,606239	8,318778	8,035078	7,756381	7,483584	7,217323	6,958035	6,706002	6,461392	6,224283	5,994682
27	10,09094	9,85930385	9,607721	9,34251	9,068781	8,790558	8,510955	8,232351	7,956546	7,684887	7,418373	7,157728	6,903471	6,655955	6,415409	6,181963	5,955675
28	9,91701	9,69954001	9,461785	9,209637	8,947988	8,680786	8,411153	8,141525	7,87378	7,609354	7,349328	7,094512	6,845496	6,602702	6,366417	6,136825	5,914026
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

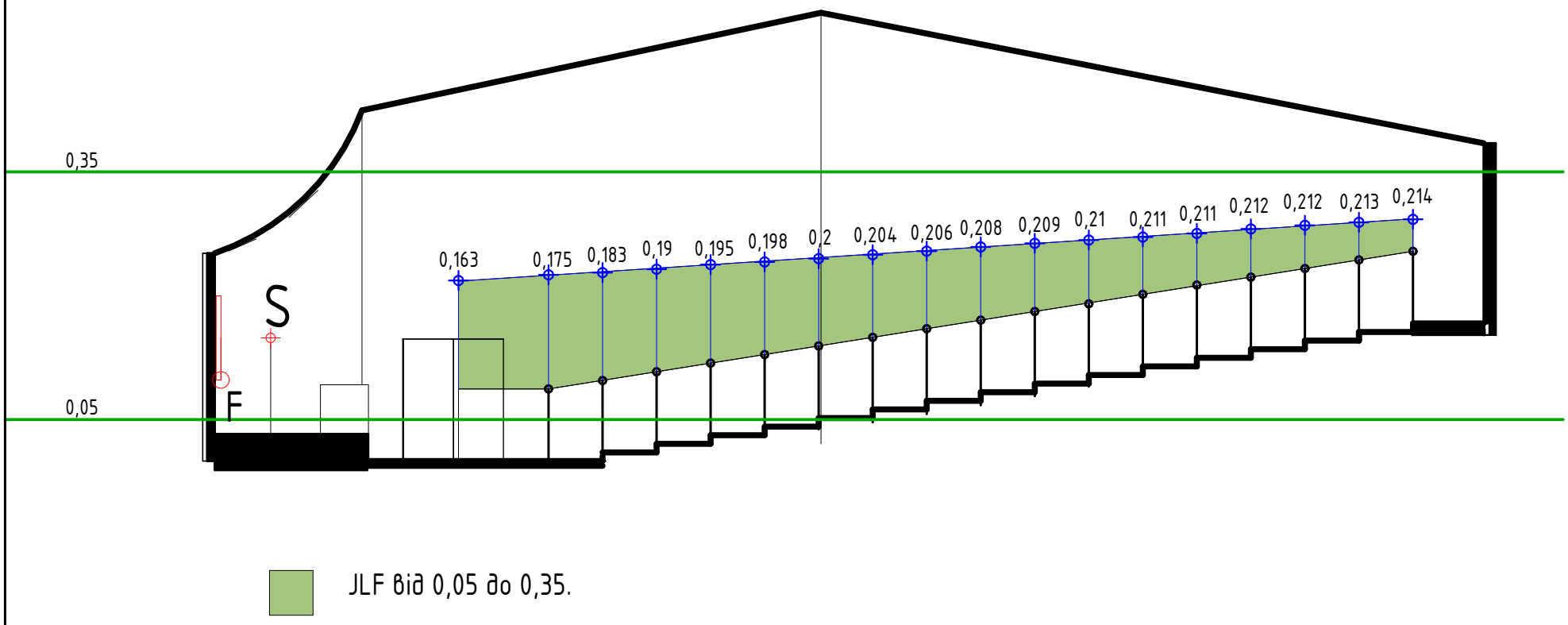
$$J_{LF} = \frac{E_{early,l}}{E_{direct} + E_{early}}, \qquad E_{early,l} = E_{early} \frac{S_l(1-\alpha_{cep,l})}{S_\Sigma(1-\alpha_{cep})},$$

J_LF – *на частоті 125 Гц*

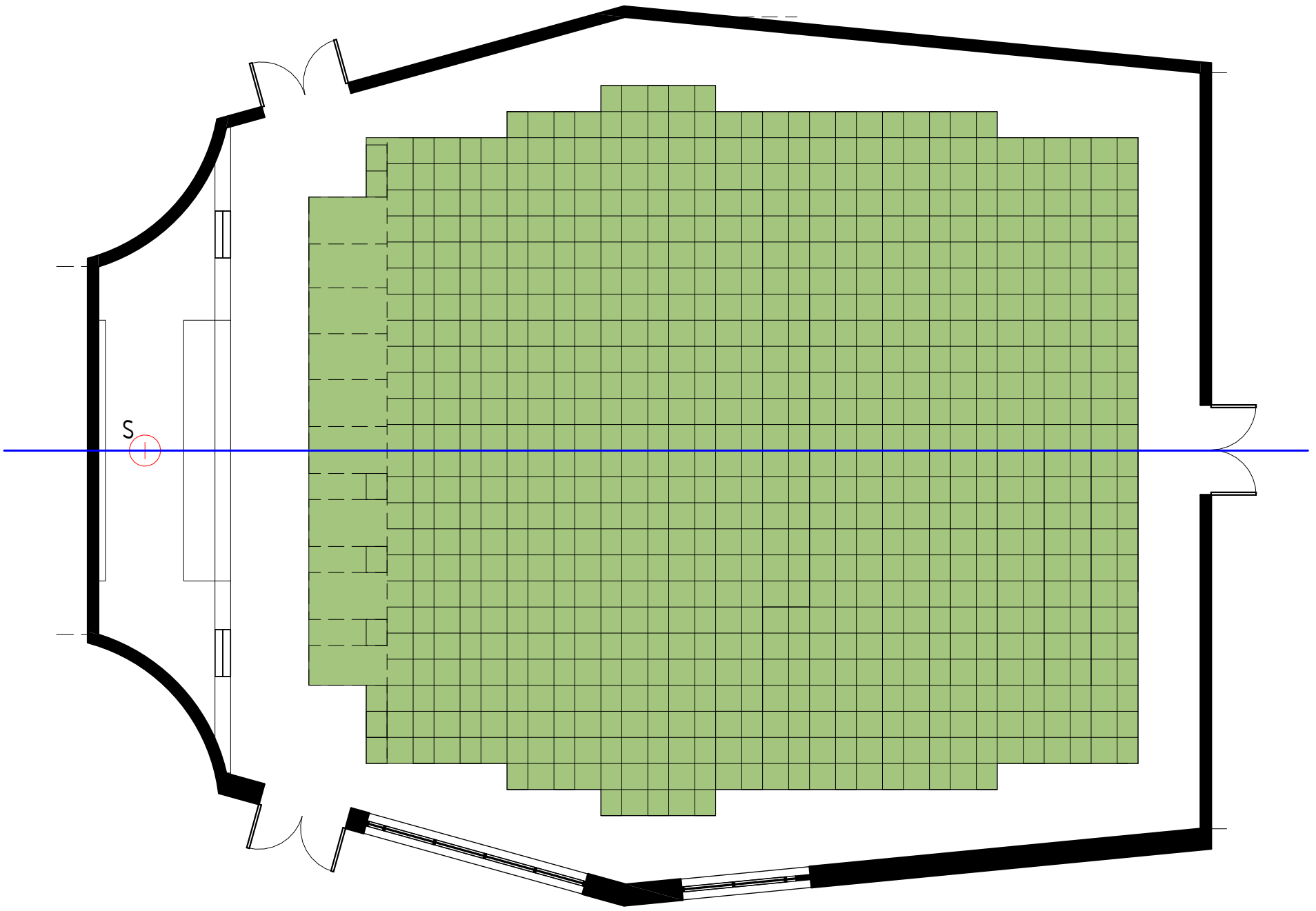
номер ряда	i=	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		0,185166	0,18735862	0,189469	0,191428	0,193206	0,194794	0,1962	0,197439	0,198528	0,199484	0,200324	0,201064	0,201717	0,202294	0,202806	0,203261	0,203667
2		0,183203	0,18577465	0,188206	0,190428	0,192415	0,194167	0,195701	0,197039	0,198205	0,199222	0,20011	0,200888	0,201571	0,202172	0,202704	0,203175	0,203593
3		0,181055	0,184075	0,186876	0,189391	0,191605	0,193533	0,195201	0,196642	0,197888	0,198966	0,199902	0,200717	0,20143	0,202055	0,202606	0,203093	0,203524
4		0,178721	0,18226491	0,185486	0,188325	0,190786	0,192899	0,194707	0,196253	0,197579	0,198718	0,199702	0,200554	0,201296	0,201944	0,202513	0,203015	0,203458
5		0,176204	0,18035656	0,184049	0,187243	0,189965	0,192272	0,194223	0,195876	0,197281	0,198481	0,199511	0,2004	0,201169	0,20184	0,202427	0,202942	0,203397
6		0,173522	0,17837129	0,182585	0,186159	0,189157	0,191661	0,193757	0,195515	0,196999	0,198258	0,199333	0,200255	0,201052	0,201743	0,202346	0,202875	0,203341
7		0,17071	0,17634191	0,181121	0,185094	0,188373	0,191078	0,193315	0,195177	0,196736	0,198051	0,199168	0,200122	0,200944	0,201655	0,202273	0,202814	0,203289
8		0,167827	0,17431456	0,179689	0,184072	0,187632	0,190531	0,192906	0,194865	0,196495	0,197863	0,199018	0,200003	0,200847	0,201575	0,202208	0,20276	0,203244
9		0,164958	0,17234965	0,178331	0,183118	0,18695	0,190033	0,192536	0,194586	0,196281	0,197695	0,198886	0,199897	0,200761	0,201506	0,20215	0,202712	0,203204
10		0,16222	0,17052076	0,177091	0,182261	0,186344	0,189596	0,192214	0,194344	0,196096	0,197552	0,198773	0,199807	0,200689	0,201446	0,202102	0,202672	0,20317
11		0,159752	0,16891097	0,17602	0,181531	0,185834	0,189231	0,191946	0,194144	0,195944	0,197434	0,198681	0,199734	0,20063	0,201398	0,202062	0,202639	0,203143
12		0,157711	0,16760597	0,175165	0,180955	0,185435	0,188947	0,19174	0,19399	0,195827	0,197345	0,198611	0,199678	0,200585	0,201362	0,202032	0,202614	0,203123
13		0,156246	0,16668441	0,174568	0,180556	0,18516	0,188753	0,191599	0,193886	0,195749	0,197284	0,198563	0,19964	0,200555	0,201338	0,202012	0,202598	0,203109
14		0,15548	0,16620702	0,174262	0,180352	0,18502	0,188654	0,191528	0,193833	0,195709	0,197253	0,198539	0,199621	0,20054	0,201325	0,202002	0,20259	0,203102
15		0,15548	0,16620702	0,174262	0,180352	0,18502	0,188654	0,191528	0,193833	0,195709	0,197253	0,198539	0,199621	0,20054	0,201325	0,202002	0,20259	0,203102
16		0,156246	0,16668441	0,174568	0,180556	0,18516	0,188753	0,191599	0,193886	0,195749	0,197284	0,198563	0,19964	0,200555	0,201338	0,202012	0,202598	0,203109
17		0,157711	0,16760597	0,175165	0,180955	0,185435	0,188947	0,19174	0,19399	0,195827	0,197345	0,198611	0,199678	0,200585	0,201362	0,202032	0,202614	0,203123
18		0,159752	0,16891097	0,17602	0,181531	0,185834	0,189231	0,191946	0,194144	0,195944	0,197434	0,198681	0,199734	0,20063	0,201398	0,202062	0,202639	0,203143
19		0,16222	0,17052076	0,177091	0,182261	0,186344	0,189596	0,192214	0,194344	0,196096	0,197552	0,198773	0,199807	0,200689	0,201446	0,202102	0,202672	0,20317
20		0,164958	0,17234965	0,178331	0,183118	0,18695	0,190033	0,192536	0,194586	0,196281	0,197695	0,198886	0,199897	0,200761	0,201506	0,20215	0,202712	0,203204
21		0,167827	0,17431456	0,179689	0,184072	0,187632	0,190531	0,192906	0,194865	0,196495	0,197863	0,199018	0,200003	0,200847	0,201575	0,202208	0,20276	0,203244
22		0,17071	0,17634191	0,181121	0,185094	0,188373	0,191078	0,193315	0,195177	0,196736	0,198051	0,199168	0,200122	0,200944	0,201655	0,202273	0,202814	0,203289
23		0,173522	0,17837129	0,182585	0,186159	0,189157	0,191661	0,193757	0,195515	0,196999	0,198258	0,199333	0,200255	0,201052	0,201743	0,202346	0,202875	0,203341
24		0,176204	0,18035656	0,184049	0,187243	0,189965	0,192272	0,194223	0,195876	0,197281	0,198481	0,199511	0,2004	0,201169	0,20184	0,202427	0,202942	0,203397
25		0,178721	0,18226491	0,185486	0,188325	0,190786	0,192899	0,194707	0,196253	0,197579	0,198718	0,199702	0,200554	0,201296	0,201944	0,202513	0,203015	0,203458
26		0,181055	0,184075	0,186876	0,189391	0,191605	0,193533	0,195201	0,196642	0,197888	0,198966	0,199902	0,200717	0,20143	0,202055	0,202606	0,203093	0,203524
27		0,183203	0,18577465	0,188206	0,190428	0,192415	0,194167	0,195701	0,197039	0,198205	0,199222	0,20011	0,200888	0,201571	0,202172	0,202704	0,203175	0,203593
28		0,185166	0,18735862	0,189469	0,191428	0,193206	0,194794	0,1962	0,197439	0,198528	0,199484	0,200324	0,201064	0,201717	0,202294	0,202806	0,203261	0,203667
29		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

J_LF – середнє значення по частотам

номер ряда	i=	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		0,188727	0,19742358	0,199697	0,201809	0,203725	0,205437	0,206953	0,208289	0,209463	0,210494	0,2114	0,212199	0,212903	0,213527	0,21408	0,214572	0,215011
2		0,192947	0,19571706	0,198337	0,200731	0,202872	0,204761	0,206415	0,207857	0,209115	0,210211	0,211169	0,212008	0,212745	0,213395	0,213969	0,214478	0,214931
3		0,190634	0,19388622	0,196904	0,199614	0,202	0,204078	0,205876	0,20743	0,208772	0,209935	0,210945	0,211824	0,212594	0,213269	0,213864	0,214389	0,214856
4		0,188121	0,19193679	0,195406	0,198465	0,201117	0,203394	0,205343	0,20701	0,208439	0,209668	0,210729	0,211648	0,212449	0,213149	0,213763	0,214305	0,214785
5		0,185412	0,18988201	0,193858	0,197299	0,200233	0,202718	0,204821	0,206603	0,208119	0,209413	0,210523	0,211481	0,212312	0,213036	0,21367	0,214227	0,214719
6		0,182527	0,18774497	0,192282	0,196131	0,199361	0,20206	0,204319	0,206215	0,207814	0,209172	0,210331	0,211326	0,212185	0,212931	0,213583	0,214154	0,214658
7		0,179504	0,18556108	0,190705	0,194984	0,198517	0,201431	0,203843	0,20585	0,207531	0,208948	0,210153	0,211182	0,212069	0,212836	0,213504	0,214088	0,214602
8		0,176405	0,18338007	0,189163	0,193883	0,197718	0,200842	0,203401	0,205514	0,207271	0,208745	0,209992	0,211053	0,211964	0,21275	0,213433	0,214029	0,214553
9		0,173324	0,18126691	0,187701	0,192855	0,196983	0,200306	0,203003	0,205213	0,20704	0,208565	0,209849	0,210939	0,211872	0,212675	0,213371	0,213978	0,21451
10		0,170385	0,17930067	0,186368	0,191933	0,196331	0,199835	0,202656	0,204952	0,206841	0,20841	0,209728	0,210842	0,211794	0,212611	0,213319	0,213935	0,214474
11		0,167737	0,17757052	0,185215	0,191147	0,195781	0,199441	0,202368	0,204737	0,206677	0,208284	0,209628	0,210763	0,21173	0,212559	0,213276	0,213899	0,214444
12		0,165548	0,17616833	0,184295	0,190526	0,195351	0,199135	0,202145	0,204571	0,206551	0,208187	0,209552	0,210703	0,211682	0,21252	0,213244	0,213873	0,214422
13		0,163978	0,17517833	0,183653	0,190097	0,195055	0,198926	0,201993	0,204458	0,206466	0,208121	0,209501	0,210662	0,211649	0,212494	0,213222	0,213855	0,214407
14		0,163157	0,17466556	0,183323	0,189877	0,194905	0,19882	0,201916	0,204401	0,206423	0,208088	0,209475	0,210642	0,211633	0,21248	0,213211	0,213846	0,2144
15		0,163157	0,17466556	0,183323	0,189877	0,194905	0,19882	0,201916	0,204401	0,206423	0,208088	0,209475	0,210642	0,211633	0,21248	0,213211	0,213846	0,2144
16		0,163978	0,17517833	0,183653	0,190097	0,195055	0,198926	0,201993	0,204458	0,206466	0,208121	0,209501	0,210662	0,211649	0,212494	0,213222	0,213855	0,214407
17		0,165548	0,17616833	0,184295	0,190526	0,195351	0,199135	0,202145	0,204571	0,206551	0,208187	0,209552	0,210703	0,211682	0,21252	0,213244	0,213873	0,214422
18		0,167737	0,17757052	0,185215	0,191147	0,195781	0,199441	0,202368	0,204737	0,206677	0,208284	0,209628	0,210763	0,21173	0,212559	0,213276	0,213899	0,214444
19		0,170385	0,17930067	0,186368	0,191933	0,196331	0,199835	0,202656	0,204952	0,206841	0,20841	0,209728	0,210842	0,211794	0,212611	0,213319	0,213935	0,214474
20		0,173324	0,18126691	0,187701	0,192855	0,196983	0,200306	0,203003	0,205213	0,20704	0,208565	0,209849	0,210939	0,211872	0,212675	0,213371	0,213978	0,21451
21		0,176405	0,18338007	0,189163	0,193883	0,197718	0,200842	0,203401	0,205514	0,207271	0,208745	0,209992	0,211053	0,211964	0,21275	0,213433	0,214029	0,214553
22		0,179504	0,18556108	0,190705	0,194984	0,198517	0,201431	0,203843	0,20585	0,207531	0,208948	0,210153	0,211182	0,212069	0,212836	0,213504	0,214088	0,214602
23		0,182527	0,18774497	0,192282	0,196131	0,199361	0,20206	0,204319	0,206215	0,207814	0,209172	0,210331	0,211326	0,212185	0,212931	0,213583	0,214154	0,214658
24		0,185412	0,18988201	0,193858	0,197299	0,200233	0,202718	0,204821	0,206603	0,208119	0,209413	0,210523	0,211481	0,212312	0,213036	0,21367	0,214227	0,214719
25		0,188121	0,19193679	0,195406	0,198465	0,201117	0,203394	0,205343	0,20701	0,208439	0,209668	0,210729	0,211648	0,212449	0,213149	0,213763	0,214305	0,214785
26		0,190634	0,19388622	0,196904	0,199614	0,202	0,204078	0,205876	0,20743	0,208772	0,209935	0,210945	0,211824	0,212594	0,213269	0,213864	0,214389	0,214856
27		0,192947	0,19571706	0,198337	0,200731	0,202872	0,204761	0,206415	0,207857	0,209115	0,210211	0,211169	0,212008	0,212745	0,213395	0,213969	0,214478	0,214931
28		0,195061	0,19742358	0,199697	0,201809	0,203725	0,205437	0,206953	0,208289	0,209463	0,210494	0,2114	0,212199	0,212903	0,213527	0,21408	0,214572	0,215011
29		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



JLF від 0,05 до 0,35.



Висновок: розрахунок коефіцієнта енергії ранніх бокових звукових відбиттів *JLF* показав, що у всіх точках залу його значення знаходяться в діапазоні від 0,20 до 0,27, що повністю відповідає нормативним рекомендаціям (0,05...0,35). Найвищі значення спостерігаються на бічних місцях та останніх рядах, а мінімальні – на початку і в центрі залу. Отриманий результат свідчить про високу якість просторової акустики, що забезпечує слухачам відчуття об'ємності звуку та ефект "акустичного оточення", що є важливим для природного сприйняття мови в лекційній аудиторії.

Розрахунок індексу гучності G

1. Визначаються вихідні умови:

T500 – час реверберації на частоті 500 Гц, с;

T1000 – час реверберації на частоті 1000 Гц, с;

V – об'єм приміщення, м3;

Задається система координат Oxyz (x – горизонтальна повздовжня вісь, y – горизонтальна поперечна вісь; z – вертикальна вісь).

– глядачі сидять в одному рівні на нахиленій площині

d – глибина ряду, м;

c – висота сходинки між рядами, м;

b – ширина крісла, м;

x1 – відстань 1-го ряду від S;

z1 – Перевищення вух слухачів 1-го ряду над S;

M – Кількість рядів; N – Кількість місць у ряду

2. Ексель послідовно розраховує за методом М. Баррона:

- Матрицю r – відстаней від джерела звуку S до кожного слухача;
- Матрицю Edirect – енергію прямого звуку, що надходить до кожного слухача

$$E_{direct} = \frac{100}{r^2};$$

- Матрицю Eearly – ранню відбиту звукову енергії в межах 80 мс після надходження прямого звуку на кожній розрахунковій частоті
- Матрицю Elate – енергію пізнього відбиття після 80 мс на кожній розрахунковій частоті

$$E_{early} = \frac{31200}{V} e^{-\frac{0,04r}{T}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{1,11}{T}}\right);$$

- Матрицю G, дБ, на кожній розрахунковій частоті

$$G = 10 \cdot \log(E_{direct} + E_{early} + E_{late})$$

- Матрицю середніх значень G, дБ, у залі

$$G_{сер} = \frac{G^{500} + G^{1000}}{2} \qquad E_{late} = \frac{31200}{V} e^{-\frac{0,04r}{T}} \cdot e^{-\frac{1,11}{T}};$$

3. Допустимі значення G від –2 дБ до 10 дБ. Рекомендовані значення G для залів різного призначення наступні:

Призначення приміщення	Рекомендований діапазон G, дБ	Загальна мета
Мовні зали (конференц-зали, аудиторії	$-2 < G < 5$	Забезпечення розбірливості мови, уникнення надмірного підсилення реверберації, що може погіршити чіткість. Може бути бажаним нижче значення, щоб уникнути ефекту Ломбарда (підвищення голосу)
Оперні та драматичні театри	$3 < G < 6$	Достатня гучність для співаків та акторів, з балансом між чіткістю та повнотою звуку
Концертні зали	$5 < G < 10$	Створення насиченого, повного та об'ємного звучання, що є характерним для симфонічної та органної музики

4. Визначаються зони, в яких індекс гучності відповідає рекомендованим значенням. Ці зони фарбуються на плані зеленим кольором. Зони, де рекомендовані значення не виконуються, але знаходяться в межах допустимих значень фарбуються жовтим кольором. Якщо є місця, де значення не задовільнять допустимим значенням, тоді ці зони фарбуються червоним кольором.

5. На розрізі зала будується графік зміни G вздовж поздовжньої осі. Робляться висновки з розрахунку і рекомендації.

E_direct – енергія прямого звуку

номер ряда	i=	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		1,44212535	1,280483	1,129817	0,994183	0,874728	0,770901	0,681309	0,604247	0,537996	0,480965	0,431747	0,389136	0,352109	0,319809	0,291518	0,26664	0,244675
2		1,59128992	1,396735	1,219365	1,062867	0,927461	0,811568	0,712879	0,62895	0,557492	0,496486	0,444213	0,399234	0,360357	0,326598	0,297148	0,271342	0,248629
3		1,75925942	1,524494	1,315618	1,135265	0,982113	0,853109	0,744733	0,653616	0,576785	0,51173	0,456377	0,409032	0,36832	0,333126	0,302542	0,275833	0,252395
4		1,94771932	1,664017	1,418241	1,210872	1,038192	0,895108	0,776541	0,677989	0,595682	0,52655	0,468128	0,418446	0,375936	0,339343	0,307662	0,280082	0,255948
5		2,15786509	1,815029	1,526487	1,288907	1,095035	0,937046	0,807909	0,701779	0,613968	0,540788	0,479347	0,427388	0,383138	0,3452	0,312469	0,28406	0,259265
6		2,38993741	1,976458	1,639078	1,368267	1,151791	0,978298	0,83839	0,724663	0,631413	0,554276	0,489915	0,435769	0,389859	0,350647	0,316925	0,287738	0,262326
7		2,64255948	2,146128	1,754081	1,447489	1,207419	1,01814	0,867481	0,746296	0,647774	0,566844	0,499708	0,443499	0,396035	0,355635	0,320994	0,291089	0,265108
8		2,91187784	2,320425	1,868813	1,524736	1,260696	1,055762	0,894644	0,766312	0,662801	0,578317	0,508603	0,450492	0,401602	0,360118	0,324641	0,294085	0,267591
9		3,19059667	2,494042	1,97981	1,597823	1,31025	1,090295	0,919318	0,784344	0,676248	0,588528	0,516484	0,456664	0,4065	0,364051	0,327834	0,296702	0,269756
10		3,46715392	2,659889	2,082904	1,664305	1,354623	1,120846	0,940944	0,800031	0,687877	0,597316	0,52324	0,461938	0,410673	0,367395	0,330543	0,29892	0,271588
11		3,72549093	2,80934	2,173445	1,721611	1,392345	1,146548	0,958991	0,813041	0,697472	0,604538	0,528773	0,466245	0,414074	0,370114	0,332743	0,300717	0,273071
12		3,9460029	2,932934	2,246691	1,767248	1,422045	1,166612	0,972987	0,823078	0,704847	0,610071	0,533001	0,469529	0,416662	0,37218	0,334412	0,30208	0,274194
13		4,108109	3,021554	2,298328	1,799042	1,442558	1,180382	0,982547	0,829909	0,70985	0,613815	0,535857	0,471744	0,418405	0,373571	0,335534	0,302995	0,274948
14		4,19426141	3,067904	2,325046	1,815372	1,453039	1,18739	0,987398	0,833367	0,712378	0,615705	0,537296	0,472859	0,419282	0,37427	0,336098	0,303455	0,275327
15		4,19426141	3,067904	2,325046	1,815372	1,453039	1,18739	0,987398	0,833367	0,712378	0,615705	0,537296	0,472859	0,419282	0,37427	0,336098	0,303455	0,275327
16		4,108109	3,021554	2,298328	1,799042	1,442558	1,180382	0,982547	0,829909	0,70985	0,613815	0,535857	0,471744	0,418405	0,373571	0,335534	0,302995	0,274948
17		3,9460029	2,932934	2,246691	1,767248	1,422045	1,166612	0,972987	0,823078	0,704847	0,610071	0,533001	0,469529	0,416662	0,37218	0,334412	0,30208	0,274194
18		3,72549093	2,80934	2,173445	1,721611	1,392345	1,146548	0,958991	0,813041	0,697472	0,604538	0,528773	0,466245	0,414074	0,370114	0,332743	0,300717	0,273071
19		3,46715392	2,659889	2,082904	1,664305	1,354623	1,120846	0,940944	0,800031	0,687877	0,597316	0,52324	0,461938	0,410673	0,367395	0,330543	0,29892	0,271588
20		3,19059667	2,494042	1,97981	1,597823	1,31025	1,090295	0,919318	0,784344	0,676248	0,588528	0,516484	0,456664	0,4065	0,364051	0,327834	0,296702	0,269756
21		2,91187784	2,320425	1,868813	1,524736	1,260696	1,055762	0,894644	0,766312	0,662801	0,578317	0,508603	0,450492	0,401602	0,360118	0,324641	0,294085	0,267591
22		2,64255948	2,146128	1,754081	1,447489	1,207419	1,01814	0,867481	0,746296	0,647774	0,566844	0,499708	0,443499	0,396035	0,355635	0,320994	0,291089	0,265108
23		2,38993741	1,976458	1,639078	1,368267	1,151791	0,978298	0,83839	0,724663	0,631413	0,554276	0,489915	0,435769	0,389859	0,350647	0,316925	0,287738	0,262326
24		2,15786509	1,815029	1,526487	1,288907	1,095035	0,937046	0,807909	0,701779	0,613968	0,540788	0,479347	0,427388	0,383138	0,3452	0,312469	0,28406	0,259265
25		1,94771932	1,664017	1,418241	1,210872	1,038192	0,895108	0,776541	0,677989	0,595682	0,52655	0,468128	0,418446	0,375936	0,339343	0,307662	0,280082	0,255948
26		1,75925942	1,524494	1,315618	1,135265	0,982113	0,853109	0,744733	0,653616	0,576785	0,51173	0,456377	0,409032	0,36832	0,333126	0,302542	0,275833	0,252395
27		1,59128992	1,396735	1,219365	1,062867	0,927461	0,811568	0,712879	0,62895	0,557492	0,496486	0,444213	0,399234	0,360357	0,326598	0,297148	0,271342	0,248629
28		1,44212535	1,280483	1,129817	0,994183	0,874728	0,770901	0,681309	0,604247	0,537996	0,480965	0,431747	0,389136	0,352109	0,319809	0,291518	0,26664	0,244675
29		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

E_{early}^{500} *– рання відбита звукова енергії на частоті 500 Гц*

номер ряда	i=	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		9,91700964	9,69954	9,461785	9,209637	8,947988	8,680786	8,411153	8,141525	7,87378	7,609354	7,349328	7,094512	6,845496	6,602702	6,366417	6,136825	5,914026
2		10,0909393	9,859304	9,607721	9,34251	9,068781	8,790558	8,510955	8,232351	7,956546	7,684887	7,418373	7,157728	6,903471	6,655955	6,415409	6,181963	5,955675
3		10,2625822	10,01584	9,749771	9,471087	9,185068	8,895765	8,606239	8,318778	8,035078	7,756381	7,483584	7,217323	6,958035	6,706002	6,461392	6,224283	5,994682
4		10,4308385	10,16809	9,886948	9,594486	9,296079	8,995743	8,696438	8,400324	8,108967	7,823485	7,544663	7,273041	7,008968	6,752655	6,504206	6,263642	6,030926
5		10,5943918	10,3148	10,01815	9,711746	9,400995	9,0898	8,780969	8,476499	8,177799	7,88585	7,601316	7,324632	7,056059	6,795732	6,543691	6,299905	6,064289
6		10,7516799	10,45458	10,14215	9,821837	9,498954	9,177222	8,859241	8,546812	8,241168	7,943137	7,653257	7,371855	7,099102	6,835058	6,5797	6,332944	6,09466
7		10,90087	10,58583	10,25762	9,923671	9,589071	9,257289	8,930667	8,610782	8,298675	7,995017	7,700212	7,41448	7,137903	6,870468	6,612092	6,362638	6,121937
8		11,0398483	10,70682	10,36317	10,01612	9,670451	9,329284	8,994671	8,667944	8,349944	8,041179	7,741924	7,452292	7,172283	6,901812	6,640738	6,388878	6,146023
9		11,1662342	10,81565	10,45732	10,09806	9,742212	9,392516	9,050707	8,717861	8,39462	8,081334	7,778155	7,485096	7,202077	6,92895	6,66552	6,411564	6,166835
10		11,2774355	10,91039	10,53861	10,16838	9,803515	9,446339	9,098269	8,760132	8,432382	8,115224	7,808693	7,512716	7,22714	6,95176	6,686337	6,430608	6,184296
11		11,3707593	10,98909	10,60566	10,22606	9,853592	9,490169	9,136905	8,794403	8,46295	8,142621	7,833355	7,535001	7,247347	6,970139	6,7031	6,445936	6,198344
12		11,4435877	11,04997	10,65719	10,2702	9,89178	9,523508	9,166234	8,820379	8,48609	8,163339	7,851989	7,551827	7,262593	6,983999	6,715736	6,457486	6,208926
13		11,4936118	11,09149	10,69217	10,30005	9,917549	9,545961	9,185959	8,837828	8,501619	8,177233	7,864477	7,563098	7,272803	6,993276	6,724191	6,465212	6,216002
14		11,5190929	11,11255	10,70986	10,31511	9,930528	9,557258	9,195874	8,846593	8,509415	8,184205	7,870742	7,56875	7,27792	6,997926	6,728428	6,469082	6,219547
15		11,5190929	11,11255	10,70986	10,31511	9,930528	9,557258	9,195874	8,846593	8,509415	8,184205	7,870742	7,56875	7,27792	6,997926	6,728428	6,469082	6,219547
16		11,4936118	11,09149	10,69217	10,30005	9,917549	9,545961	9,185959	8,837828	8,501619	8,177233	7,864477	7,563098	7,272803	6,993276	6,724191	6,465212	6,216002
17		11,4435877	11,04997	10,65719	10,2702	9,89178	9,523508	9,166234	8,820379	8,48609	8,163339	7,851989	7,551827	7,262593	6,983999	6,715736	6,457486	6,208926
18		11,3707593	10,98909	10,60566	10,22606	9,853592	9,490169	9,136905	8,794403	8,46295	8,142621	7,833355	7,535001	7,247347	6,970139	6,7031	6,445936	6,198344
19		11,2774355	10,91039	10,53861	10,16838	9,803515	9,446339	9,098269	8,760132	8,432382	8,115224	7,808693	7,512716	7,22714	6,95176	6,686337	6,430608	6,184296
20		11,1662342	10,81565	10,45732	10,09806	9,742212	9,392516	9,050707	8,717861	8,39462	8,081334	7,778155	7,485096	7,202077	6,92895	6,66552	6,411564	6,166835
21		11,0398483	10,70682	10,36317	10,01612	9,670451	9,329284	8,994671	8,667944	8,349944	8,041179	7,741924	7,452292	7,172283	6,901812	6,640738	6,388878	6,146023
22		10,90087	10,58583	10,25762	9,923671	9,589071	9,257289	8,930667	8,610782	8,298675	7,995017	7,700212	7,41448	7,137903	6,870468	6,612092	6,362638	6,121937
23		10,7516799	10,45458	10,14215	9,821837	9,498954	9,177222	8,859241	8,546812	8,241168	7,943137	7,653257	7,371855	7,099102	6,835058	6,5797	6,332944	6,09466
24		10,5943918	10,3148	10,01815	9,711746	9,400995	9,0898	8,780969	8,476499	8,177799	7,88585	7,601316	7,324632	7,056059	6,795732	6,543691	6,299905	6,064289
25		10,4308385	10,16809	9,886948	9,594486	9,296079	8,995743	8,696438	8,400324	8,108967	7,823485	7,544663	7,273041	7,008968	6,752655	6,504206	6,263642	6,030926
26		10,2625822	10,01584	9,749771	9,471087	9,185068	8,895765	8,606239	8,318778	8,035078	7,756381	7,483584	7,217323	6,958035	6,706002	6,461392	6,224283	5,994682
27		10,0909393	9,859304	9,607721	9,34251	9,068781	8,790558	8,510955	8,232351	7,956546	7,684887	7,418373	7,157728	6,903471	6,655955	6,415409	6,181963	5,955675
28		9,91700964	9,69954	9,461785	9,209637	8,947988	8,680786	8,411153	8,141525	7,87378	7,609354	7,349328	7,094512	6,845496	6,602702	6,366417	6,136825	5,914026
29		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

E_{late}^{500} – пізня відбита звукова енергії на частоті 500 Гц

номер ряда	i=	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		4,23470733	4,141845	4,04032	3,932649	3,820921	3,706822	3,591685	3,47655	3,362219	3,249305	3,13827	3,02946	2,923126	2,81945	2,718553	2,620513	2,525375
2		4,30897784	4,210066	4,102637	3,989388	3,872501	3,753696	3,634301	3,515334	3,397561	3,281559	3,167753	3,056454	2,947882	2,842189	2,739473	2,639788	2,54316
3		4,38227186	4,27691	4,163294	4,044292	3,922158	3,798621	3,674989	3,552239	3,431095	3,312088	3,195599	3,081902	2,971182	2,86356	2,759109	2,657859	2,559816
4		4,45411971	4,34192	4,22187	4,096985	3,969561	3,841313	3,713505	3,587061	3,462647	3,340742	3,221681	3,105694	2,992931	2,883482	2,77739	2,674666	2,575293
5		4,52395936	4,40457	4,277894	4,147057	4,014361	3,881477	3,749601	3,619588	3,492039	3,367373	3,245873	3,127724	3,01304	2,901876	2,794251	2,690151	2,58954
6		4,59112367	4,464257	4,330844	4,194067	4,056192	3,918807	3,783025	3,649613	3,519098	3,391835	3,268052	3,147889	3,03142	2,918669	2,809628	2,704259	2,602509
7		4,65483003	4,520304	4,380154	4,237552	4,094673	3,952997	3,813525	3,676929	3,543655	3,413989	3,288103	3,166091	3,047988	2,93379	2,823459	2,716939	2,614156
8		4,71417578	4,571966	4,425222	4,27703	4,129423	3,98374	3,840856	3,701338	3,565548	3,4337	3,305914	3,182237	3,062669	2,947174	2,835692	2,728144	2,624441
9		4,76814438	4,61844	4,465426	4,312018	4,160066	4,010741	3,864784	3,722653	3,584625	3,450847	3,321385	3,196245	3,075392	2,958762	2,846274	2,737831	2,633328
10		4,81562897	4,658894	4,500141	4,342047	4,186243	4,033724	3,885093	3,740704	3,60075	3,465318	3,334426	3,208039	3,086094	2,968503	2,855163	2,745963	2,640784
11		4,85547959	4,692502	4,52877	4,366678	4,207627	4,05244	3,901591	3,755338	3,613803	3,477018	3,344957	3,217555	3,094722	2,976351	2,862321	2,752508	2,646783
12		4,88657834	4,718497	4,550775	4,385524	4,223934	4,066676	3,914115	3,76643	3,623684	3,485864	3,352913	3,22474	3,101233	2,982269	2,867717	2,75744	2,651302
13		4,90793938	4,736228	4,565712	4,398273	4,234937	4,076264	3,922538	3,773881	3,630315	3,491798	3,358246	3,229553	3,105592	2,986231	2,871327	2,760739	2,654323
14		4,91882018	4,745219	4,573264	4,404704	4,24048	4,081088	3,926772	3,777624	3,633644	3,494775	3,360921	3,231966	3,107778	2,988216	2,873136	2,762392	2,655837
15		4,91882018	4,745219	4,573264	4,404704	4,24048	4,081088	3,926772	3,777624	3,633644	3,494775	3,360921	3,231966	3,107778	2,988216	2,873136	2,762392	2,655837
16		4,90793938	4,736228	4,565712	4,398273	4,234937	4,076264	3,922538	3,773881	3,630315	3,491798	3,358246	3,229553	3,105592	2,986231	2,871327	2,760739	2,654323
17		4,88657834	4,718497	4,550775	4,385524	4,223934	4,066676	3,914115	3,76643	3,623684	3,485864	3,352913	3,22474	3,101233	2,982269	2,867717	2,75744	2,651302
18		4,85547959	4,692502	4,52877	4,366678	4,207627	4,05244	3,901591	3,755338	3,613803	3,477018	3,344957	3,217555	3,094722	2,976351	2,862321	2,752508	2,646783
19		4,81562897	4,658894	4,500141	4,342047	4,186243	4,033724	3,885093	3,740704	3,60075	3,465318	3,334426	3,208039	3,086094	2,968503	2,855163	2,745963	2,640784
20		4,76814438	4,61844	4,465426	4,312018	4,160066	4,010741	3,864784	3,722653	3,584625	3,450847	3,321385	3,196245	3,075392	2,958762	2,846274	2,737831	2,633328
21		4,71417578	4,571966	4,425222	4,27703	4,129423	3,98374	3,840856	3,701338	3,565548	3,4337	3,305914	3,182237	3,062669	2,947174	2,835692	2,728144	2,624441
22		4,65483003	4,520304	4,380154	4,237552	4,094673	3,952997	3,813525	3,676929	3,543655	3,413989	3,288103	3,166091	3,047988	2,93379	2,823459	2,716939	2,614156
23		4,59112367	4,464257	4,330844	4,194067	4,056192	3,918807	3,783025	3,649613	3,519098	3,391835	3,268052	3,147889	3,03142	2,918669	2,809628	2,704259	2,602509
24		4,52395936	4,40457	4,277894	4,147057	4,014361	3,881477	3,749601	3,619588	3,492039	3,367373	3,245873	3,127724	3,01304	2,901876	2,794251	2,690151	2,58954
25		4,45411971	4,34192	4,22187	4,096985	3,969561	3,841313	3,713505	3,587061	3,462647	3,340742	3,221681	3,105694	2,992931	2,883482	2,77739	2,674666	2,575293
26		4,38227186	4,27691	4,163294	4,044292	3,922158	3,798621	3,674989	3,552239	3,431095	3,312088	3,195599	3,081902	2,971182	2,86356	2,759109	2,657859	2,559816
27		4,30897784	4,210066	4,102637	3,989388	3,872501	3,753696	3,634301	3,515334	3,397561	3,281559	3,167753	3,056454	2,947882	2,842189	2,739473	2,639788	2,54316
28		4,23470733	4,141845	4,04032	3,932649	3,820921	3,706822	3,591685	3,47655	3,362219	3,249305	3,13827	3,02946	2,923126	2,81945	2,718553	2,620513	2,525375

G_500 – на частоті 500 Гц

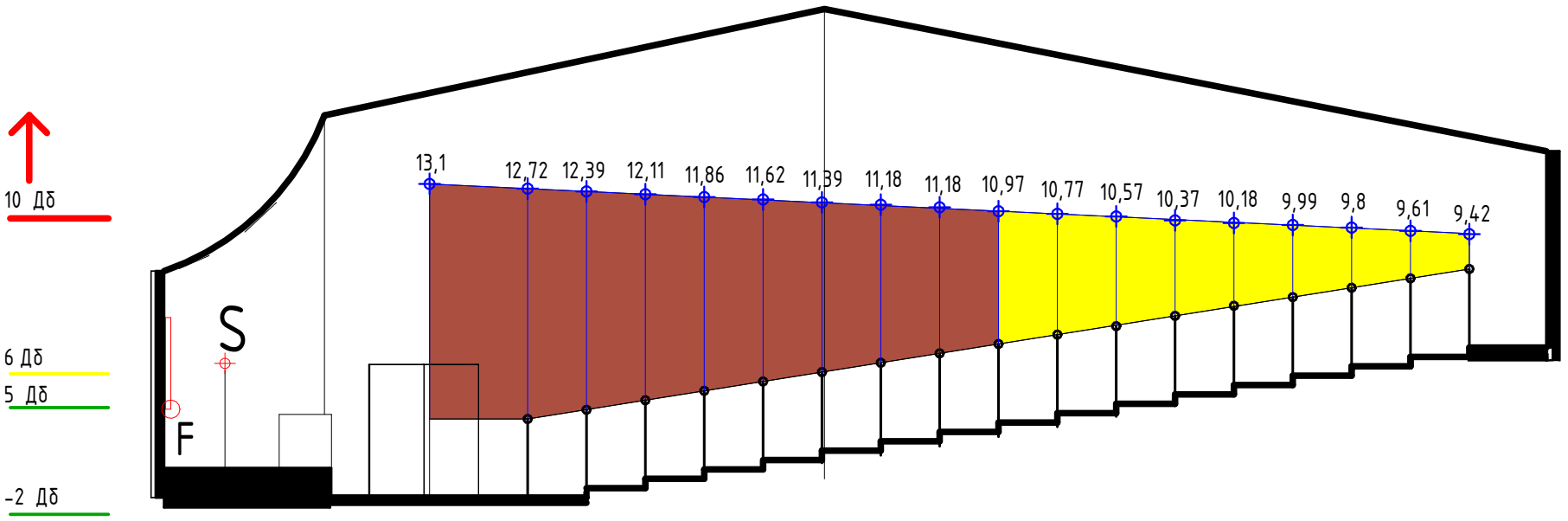
номер ряда	i=	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		11,9295314	11,79605	11,65301	11,50341	11,3493	11,19207	11,03261	10,87154	10,70924	10,54599	10,38197	10,21731	10,05212	9,886464	9,720402	9,55398	9,387237
2		12,0388125	11,89381	11,74052	11,58205	11,42037	11,25671	11,09178	10,92603	10,7597	10,59296	10,42589	10,25855	10,09098	9,923212	9,755251	9,587117	9,418821
3		12,1495277	11,99131	11,82662	11,65857	11,48891	11,31859	11,1481	10,97765	10,80733	10,63716	10,46712	10,29719	10,12733	9,957531	9,787758	9,617995	9,448227
4		12,261532	12,08818	11,91089	11,73255	11,55452	11,37739	11,20129	11,02618	10,85194	10,67843	10,50553	10,3331	10,16107	9,989338	9,81785	9,646551	9,475399
5		12,3744863	12,18388	11,99276	11,80347	11,61679	11,43275	11,25106	11,07138	10,89333	10,71662	10,54097	10,36619	10,19209	10,01855	9,845458	9,672725	9,500285
6		12,4877587	12,27766	12,07151	11,87074	11,67522	11,48428	11,29711	11,11299	10,9313	10,75154	10,57332	10,39633	10,22031	10,04509	9,870516	9,696461	9,522835
7		12,6002985	12,36846	12,14628	11,93367	11,72929	11,53157	11,33912	11,15078	10,96566	10,78306	10,60245	10,42342	10,24565	10,06889	9,892961	9,717705	9,543004
8		12,7104898	12,45493	12,21602	11,99148	11,77841	11,5742	11,37676	11,1845	10,99622	10,81102	10,62824	10,44737	10,26801	10,08988	9,912735	9,736407	9,56075
9		12,8160088	12,53535	12,27952	12,04334	11,82201	11,61175	11,40973	11,21391	11,02279	10,83528	10,65057	10,46807	10,28733	10,10799	9,929787	9,752524	9,576034
10		12,913737	12,60767	12,33546	12,08837	11,85949	11,6438	11,43774	11,2388	11,04522	10,85571	10,66935	10,48546	10,30353	10,12317	9,944071	9,766017	9,588824
11		12,9998056	12,66959	12,38244	12,1257	11,89029	11,66997	11,4605	11,25897	11,06335	10,8722	10,68449	10,49946	10,31657	10,13537	9,955546	9,776853	9,59909
12		13,069859	12,71874	12,41911	12,15452	11,91388	11,68992	11,47779	11,27425	11,07706	10,88465	10,69591	10,51002	10,32638	10,14455	9,964182	9,785003	9,60681
13		13,1195846	12,75295	12,44431	12,17415	11,92987	11,70338	11,48943	11,28452	11,08625	10,89299	10,70355	10,51708	10,33295	10,15069	9,969953	9,790449	9,611967
14		13,14545	12,77051	12,45714	12,18409	11,93794	11,71016	11,49528	11,28967	11,09087	10,89717	10,70738	10,52062	10,33624	10,15377	9,972842	9,793175	9,614548
15		13,14545	12,77051	12,45714	12,18409	11,93794	11,71016	11,49528	11,28967	11,09087	10,89717	10,70738	10,52062	10,33624	10,15377	9,972842	9,793175	9,614548
16		13,1195846	12,75295	12,44431	12,17415	11,92987	11,70338	11,48943	11,28452	11,08625	10,89299	10,70355	10,51708	10,33295	10,15069	9,969953	9,790449	9,611967
17		13,069859	12,71874	12,41911	12,15452	11,91388	11,68992	11,47779	11,27425	11,07706	10,88465	10,69591	10,51002	10,32638	10,14455	9,964182	9,785003	9,60681
18		12,9998056	12,66959	12,38244	12,1257	11,89029	11,66997	11,4605	11,25897	11,06335	10,8722	10,68449	10,49946	10,31657	10,13537	9,955546	9,776853	9,59909
19		12,913737	12,60767	12,33546	12,08837	11,85949	11,6438	11,43774	11,2388	11,04522	10,85571	10,66935	10,48546	10,30353	10,12317	9,944071	9,766017	9,588824
20		12,8160088	12,53535	12,27952	12,04334	11,82201	11,61175	11,40973	11,21391	11,02279	10,83528	10,65057	10,46807	10,28733	10,10799	9,929787	9,752524	9,576034
21		12,7104898	12,45493	12,21602	11,99148	11,77841	11,5742	11,37676	11,1845	10,99622	10,81102	10,62824	10,44737	10,26801	10,08988	9,912735	9,736407	9,56075
22		12,6002985	12,36846	12,14628	11,93367	11,72929	11,53157	11,33912	11,15078	10,96566	10,78306	10,60245	10,42342	10,24565	10,06889	9,892961	9,717705	9,543004
23		12,4877587	12,27766	12,07151	11,87074	11,67522	11,48428	11,29711	11,11299	10,9313	10,75154	10,57332	10,39633	10,22031	10,04509	9,870516	9,696461	9,522835
24		12,3744863	12,18388	11,99276	11,80347	11,61679	11,43275	11,25106	11,07138	10,89333	10,71662	10,54097	10,36619	10,19209	10,01855	9,845458	9,672725	9,500285
25		12,261532	12,08818	11,91089	11,73255	11,55452	11,37739	11,20129	11,02618	10,85194	10,67843	10,50553	10,3331	10,16107	9,989338	9,81785	9,646551	9,475399
26		12,1495277	11,99131	11,82662	11,65857	11,48891	11,31859	11,1481	10,97765	10,80733	10,63716	10,46712	10,29719	10,12733	9,957531	9,787758	9,617995	9,448227
27		12,0388125	11,89381	11,74052	11,58205	11,42037	11,25671	11,09178	10,92603	10,7597	10,59296	10,42589	10,25855	10,09098	9,923212	9,755251	9,587117	9,418821
28		11,9295314	11,79605	11,65301	11,50341	11,3493	11,19207	11,03261	10,87154	10,70924	10,54599	10,38197	10,21731	10,05212	9,886464	9,720402	9,55398	9,387237

G_1000 – *на частоті 1000 Гц*

номер ряда	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	11,77508498	11,63073	11,47557	11,31283	11,14475	10,97288	10,79825	10,62154	10,44325	10,26369	10,08311	9,901689	9,719546	9,536785	9,353487	9,169717	8,985527
2	11,89292819	11,7365	11,57054	11,39842	11,22231	11,04358	10,86308	10,68135	10,49871	10,31537	10,13149	9,947143	9,76241	9,577336	9,39196	9,206313	9,020421
3	12,01198041	11,84174	11,66383	11,4816	11,29703	11,11121	10,92476	10,73798	10,55104	10,36399	10,17689	9,989719	9,802492	9,615202	9,427844	9,240412	9,052905
4	12,13205428	11,94606	11,75495	11,5619	11,36848	11,17542	10,98297	10,7912	10,60003	10,40938	10,21916	10,02929	9,839687	9,650294	9,46106	9,271946	9,082921
5	12,25275952	12,04885	11,8433	11,63876	11,43621	11,23581	11,03741	10,84073	10,64547	10,45136	10,25817	10,06573	9,87389	9,68252	9,491531	9,300847	9,11041
6	12,37340337	12,14931	11,92813	11,71156	11,49969	11,29198	11,08774	10,88632	10,68714	10,48974	10,29377	10,09893	9,904999	9,711797	9,519185	9,327055	9,135318
7	12,49286338	12,24633	12,00849	11,77955	11,55836	11,34349	11,13363	10,9277	10,72483	10,52438	10,32582	10,12877	9,932921	9,738044	9,543955	9,350509	9,157594
8	12,60944034	12,33848	12,08331	11,84193	11,61162	11,38989	11,17473	10,9646	10,75834	10,55509	10,35418	10,15514	9,957566	9,761187	9,565776	9,371157	9,177193
9	12,72071684	12,42397	12,15131	11,89781	11,65884	11,43072	11,21071	10,99678	10,78748	10,58173	10,37875	10,17794	9,978852	9,781157	9,584591	9,38895	9,194073
10	12,8234722	12,50067	12,2111	11,94626	11,6994	11,46556	11,24125	11,024	10,81206	10,60416	10,3994	10,19708	9,996707	9,797896	9,600351	9,403845	9,208198
11	12,91373197	12,56621	12,26124	11,98639	11,73269	11,49398	11,26607	11,04606	10,83193	10,62227	10,41604	10,21249	10,01107	9,811351	9,613013	9,415806	9,219536
12	12,98703849	12,61815	12,30034	12,01734	11,75819	11,51565	11,28492	11,06276	10,84695	10,63594	10,42859	10,22411	10,02189	9,82148	9,62254	9,424803	9,228061
13	13,03898952	12,65426	12,32717	12,03841	11,77545	11,53026	11,2976	11,07398	10,85703	10,64509	10,43699	10,23188	10,02912	9,82825	9,628907	9,430814	9,233756
14	13,06598559	12,67278	12,34083	12,04907	11,78416	11,53762	11,30397	11,07962	10,86209	10,64968	10,4412	10,23577	10,03275	9,831641	9,632095	9,433824	9,236607
15	13,06598559	12,67278	12,34083	12,04907	11,78416	11,53762	11,30397	11,07962	10,86209	10,64968	10,4412	10,23577	10,03275	9,831641	9,632095	9,433824	9,236607
16	13,03898952	12,65426	12,32717	12,03841	11,77545	11,53026	11,2976	11,07398	10,85703	10,64509	10,43699	10,23188	10,02912	9,82825	9,628907	9,430814	9,233756
17	12,98703849	12,61815	12,30034	12,01734	11,75819	11,51565	11,28492	11,06276	10,84695	10,63594	10,42859	10,22411	10,02189	9,82148	9,62254	9,424803	9,228061
18	12,91373197	12,56621	12,26124	11,98639	11,73269	11,49398	11,26607	11,04606	10,83193	10,62227	10,41604	10,21249	10,01107	9,811351	9,613013	9,415806	9,219536
19	12,8234722	12,50067	12,2111	11,94626	11,6994	11,46556	11,24125	11,024	10,81206	10,60416	10,3994	10,19708	9,996707	9,797896	9,600351	9,403845	9,208198
20	12,72071684	12,42397	12,15131	11,89781	11,65884	11,43072	11,21071	10,99678	10,78748	10,58173	10,37875	10,17794	9,978852	9,781157	9,584591	9,38895	9,194073
21	12,60944034	12,33848	12,08331	11,84193	11,61162	11,38989	11,17473	10,9646	10,75834	10,55509	10,35418	10,15514	9,957566	9,761187	9,565776	9,371157	9,177193
22	12,49286338	12,24633	12,00849	11,77955	11,55836	11,34349	11,13363	10,9277	10,72483	10,52438	10,32582	10,12877	9,932921	9,738044	9,543955	9,350509	9,157594
23	12,37340337	12,14931	11,92813	11,71156	11,49969	11,29198	11,08774	10,88632	10,68714	10,48974	10,29377	10,09893	9,904999	9,711797	9,519185	9,327055	9,135318
24	12,25275952	12,04885	11,8433	11,63876	11,43621	11,23581	11,03741	10,84073	10,64547	10,45136	10,25817	10,06573	9,87389	9,68252	9,491531	9,300847	9,11041
25	12,13205428	11,94606	11,75495	11,5619	11,36848	11,17542	10,98297	10,7912	10,60003	10,40938	10,21916	10,02929	9,839687	9,650294	9,46106	9,271946	9,082921
26	12,01198041	11,84174	11,66383	11,4816	11,29703	11,11121	10,92476	10,73798	10,55104	10,36399	10,17689	9,989719	9,802492	9,615202	9,427844	9,240412	9,052905
27	11,89292819	11,7365	11,57054	11,39842	11,22231	11,04358	10,86308	10,68135	10,49871	10,31537	10,13149	9,947143	9,76241	9,577336	9,39196	9,206313	9,020421
28	11,77508498	11,63073	11,47557	11,31283	11,14475	10,97288	10,79825	10,62154	10,44325	10,26369	10,08311	9,901689	9,719546	9,536785	9,353487	9,169717	8,985527
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

G_cep

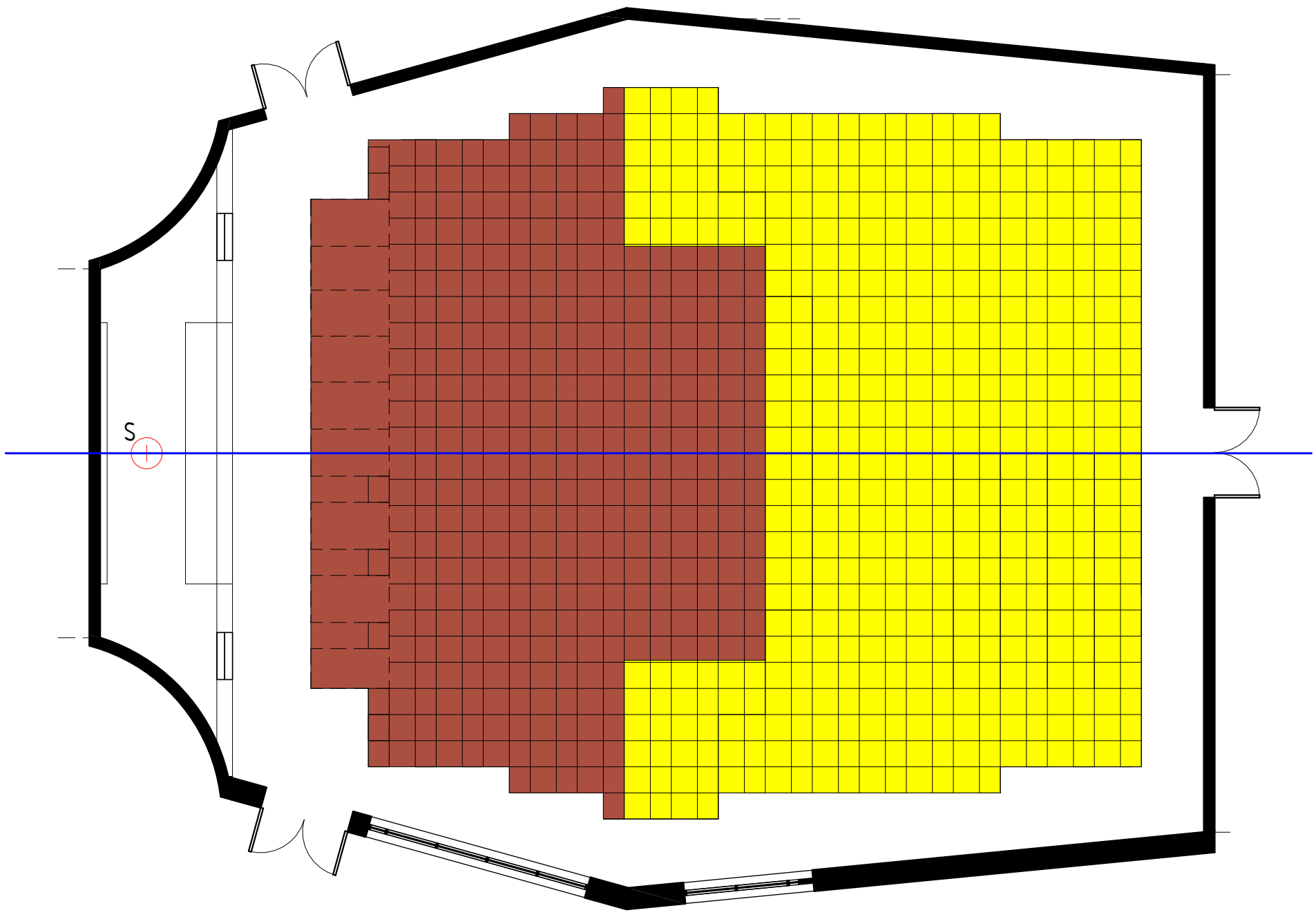
номер ряда	i=	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		11,8523082	11,71339	11,56429	11,40812	11,24703	11,08248	10,91543	10,74654	10,57624	10,40484	10,23254	10,0595	9,885832	9,711624	9,536944	9,361848	9,186382
2		11,9658703	11,81515	11,65553	11,49023	11,32134	11,15014	10,97743	10,80369	10,6292	10,45417	10,27869	10,10285	9,926697	9,750274	9,573605	9,396715	9,219621
3		12,080754	11,91653	11,74523	11,57008	11,39297	11,2149	11,03643	10,85782	10,67918	10,50058	10,322	10,14345	9,964913	9,786367	9,607801	9,429203	9,250566
4		12,1967932	12,01712	11,83292	11,64722	11,4615	11,2764	11,09213	10,90869	10,72598	10,54391	10,36235	10,1812	10,00038	9,819816	9,639455	9,459248	9,27916
5		12,3136229	12,11637	11,91803	11,72112	11,5265	11,33428	11,14424	10,95605	10,7694	10,58399	10,39957	10,21596	10,03299	9,850536	9,668495	9,486786	9,305347
6		12,430581	12,21348	11,99982	11,79115	11,58746	11,38813	11,19243	10,99965	10,80922	10,62064	10,43355	10,24763	10,06266	9,878446	9,694851	9,511758	9,329076
7		12,546581	12,3074	12,07739	11,85661	11,64382	11,43753	11,23637	11,03924	10,84525	10,65372	10,46414	10,27609	10,08928	9,903468	9,718458	9,534107	9,350299
8		12,6599651	12,39671	12,14966	11,91671	11,69502	11,48204	11,27574	11,07455	10,87728	10,68306	10,49121	10,30125	10,11279	9,925531	9,739255	9,553782	9,368972
9		12,7683628	12,47966	12,21541	11,97058	11,74043	11,52124	11,31022	11,10535	10,90514	10,70851	10,51466	10,323	10,13309	9,944571	9,757189	9,570737	9,385054
10		12,8686046	12,55417	12,27328	12,01732	11,77944	11,55468	11,33949	11,1314	10,92864	10,72994	10,53437	10,34127	10,15012	9,96053	9,772211	9,584931	9,398511
11		12,9567688	12,6179	12,32184	12,05604	11,81149	11,58198	11,36329	11,15251	10,94764	10,74723	10,55026	10,35598	10,16382	9,973359	9,78428	9,596329	9,409313
12		13,0284487	12,66845	12,35973	12,08593	11,83603	11,60278	11,38136	11,16851	10,96201	10,76029	10,56225	10,36706	10,17414	9,983017	9,793361	9,604903	9,417436
13		13,0792871	12,7036	12,38574	12,10628	11,85266	11,61682	11,39352	11,17925	10,97164	10,76904	10,57027	10,37448	10,18104	9,989473	9,79943	9,610632	9,422862
14		13,1057178	12,72165	12,39899	12,11658	11,86105	11,62389	11,39963	11,18464	10,97648	10,77343	10,57429	10,37819	10,18449	9,992706	9,802469	9,613499	9,425578
15		13,1057178	12,72165	12,39899	12,11658	11,86105	11,62389	11,39963	11,18464	10,97648	10,77343	10,57429	10,37819	10,18449	9,992706	9,802469	9,613499	9,425578
16		13,0792871	12,7036	12,38574	12,10628	11,85266	11,61682	11,39352	11,17925	10,97164	10,76904	10,57027	10,37448	10,18104	9,989473	9,79943	9,610632	9,422862
17		13,0284487	12,66845	12,35973	12,08593	11,83603	11,60278	11,38136	11,16851	10,96201	10,76029	10,56225	10,36706	10,17414	9,983017	9,793361	9,604903	9,417436
18		12,9567688	12,6179	12,32184	12,05604	11,81149	11,58198	11,36329	11,15251	10,94764	10,74723	10,55026	10,35598	10,16382	9,973359	9,78428	9,596329	9,409313
19		12,8686046	12,55417	12,27328	12,01732	11,77944	11,55468	11,33949	11,1314	10,92864	10,72994	10,53437	10,34127	10,15012	9,96053	9,772211	9,584931	9,398511
20		12,7683628	12,47966	12,21541	11,97058	11,74043	11,52124	11,31022	11,10535	10,90514	10,70851	10,51466	10,323	10,13309	9,944571	9,757189	9,570737	9,385054
21		12,6599651	12,39671	12,14966	11,91671	11,69502	11,48204	11,27574	11,07455	10,87728	10,68306	10,49121	10,30125	10,11279	9,925531	9,739255	9,553782	9,368972
22		12,546581	12,3074	12,07739	11,85661	11,64382	11,43753	11,23637	11,03924	10,84525	10,65372	10,46414	10,27609	10,08928	9,903468	9,718458	9,534107	9,350299
23		12,430581	12,21348	11,99982	11,79115	11,58746	11,38813	11,19243	10,99965	10,80922	10,62064	10,43355	10,24763	10,06266	9,878446	9,694851	9,511758	9,329076
24		12,3136229	12,11637	11,91803	11,72112	11,5265	11,33428	11,14424	10,95605	10,7694	10,58399	10,39957	10,21596	10,03299	9,850536	9,668495	9,486786	9,305347
25		12,1967932	12,01712	11,83292	11,64722	11,4615	11,2764	11,09213	10,90869	10,72598	10,54391	10,36235	10,1812	10,00038	9,819816	9,639455	9,459248	9,27916
26		12,080754	11,91653	11,74523	11,57008	11,39297	11,2149	11,03643	10,85782	10,67918	10,50058	10,322	10,14345	9,964913	9,786367	9,607801	9,429203	9,250566
27		11,9658703	11,81515	11,65553	11,49023	11,32134	11,15014	10,97743	10,80369	10,6292	10,45417	10,27869	10,10285	9,926697	9,750274	9,573605	9,396715	9,219621
28		11,8523082	11,71339	11,56429	11,40812	11,24703	11,08248	10,91543	10,74654	10,57624	10,40484	10,23254	10,0595	9,885832	9,711624	9,536944	9,361848	9,186382
29		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Для мовних залів реконмендований діапазон G -2 ... 5 Дб

G від 10,9 Дб до 13,07 Дб

G від 9,4 Дб до 10,9 Дб



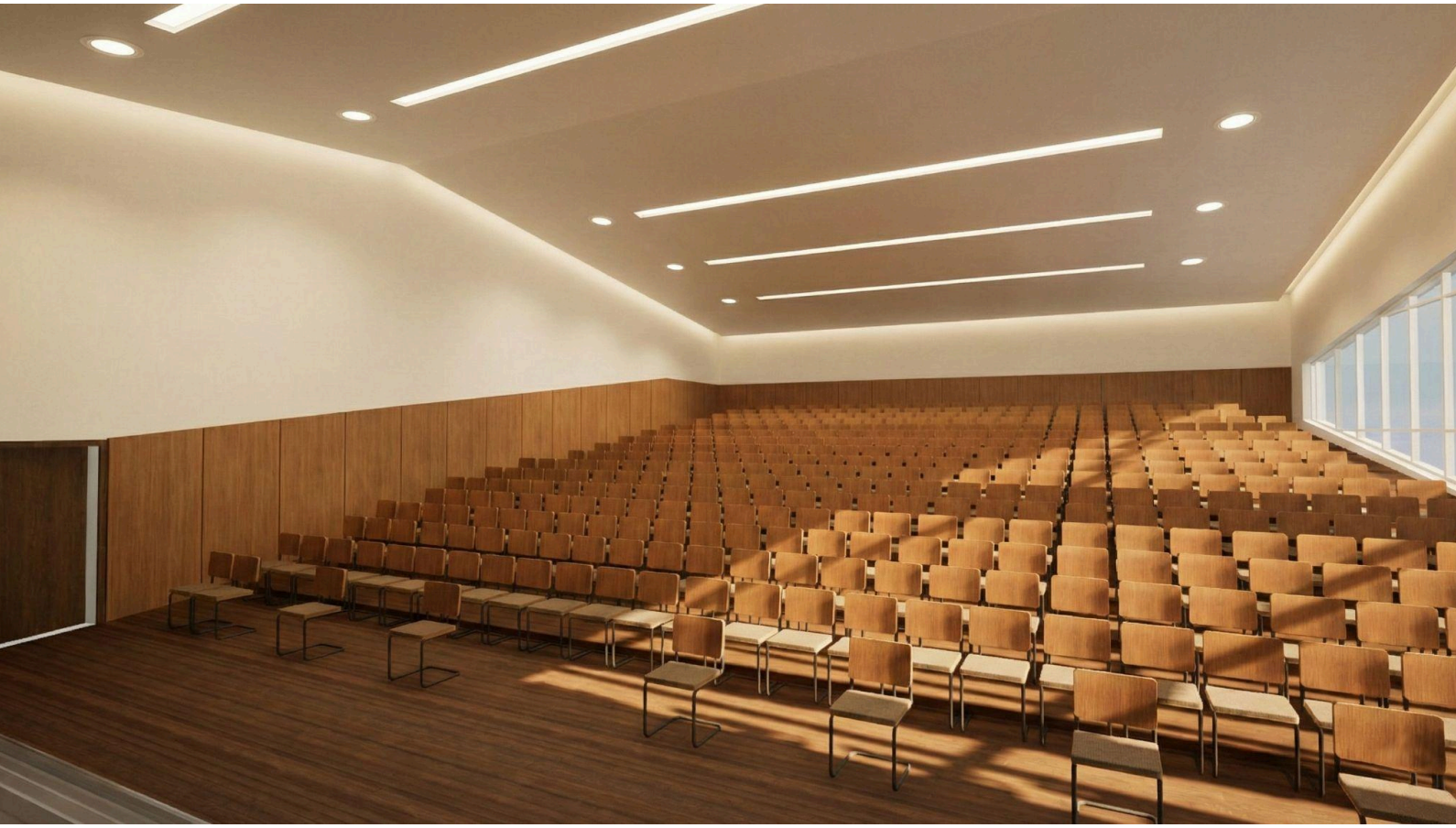
Висновок: розрахунок індексу гучності G виявив високі значення рівня звукового тиску в діапазоні від +13,1 дБ (у перших рядах) до +9,4 дБ (на останніх рядах). Отримані результати перевищують стандартні рекомендації для мовних аудиторій (-2 ... +5дБ), що пояснюється компактним питомим об'ємом залу (3,5 м3/люд) та високою ефективністю звуковідбиваючих поверхонь у зоні сцени.Таке відхилення інтерпретується як позитивне для навчального процесу, оскільки забезпечує високий запас гучності природного звуку. Це дозволяє проводити лекції без напруження голосових зв'язок доповідача та без застосування систем електроакустичного підсилення, гарантуючи відмінну чутність навіть у найвіддаленіших точках залу.

Висновки:

У курсовій роботі проведено акустичний розрахунок лекційної аудиторії на 441 місце об’ємом 1535м3. Об’ємно-планувальне рішення залу забезпечує рівномірний розподіл звукових відбиттів по всій площі аудиторії, що було підтверджено геометричним аналізом, який також засвідчив відсутність зон акустичних дефектів, гарантуючи знаходження всіх глядацьких місць у зоні дії прямого звуку та корисних перших відбиттів. Розрахунок фактичного часу реверберації показав, що при заповненні залу на 70% його значення на основних мовних частотах 500-1000 Гц складають 0,92 - 1,01 с, що ідеально відповідає нормативному діапазону для лекційних залів (0,94 - 1,27 с), при цьому на низьких частотах спостерігається незначне перевищення норми (1,31с), яке сприяє акустичній «теплоті» приміщення, а стабільність акустичних умов зберігається в широкому діапазоні заповнення залу від 50% до 95%. Індекс розбірливості мови (STI) плавно знижується від сцени до останніх рядів у діапазоні 0,68 … 0,53, забезпечуючи оцінку «Добре» в першій третині залу та «Задовільно» в решті, що гарантує достатню чіткість мови для навчального процесу без використання електроакустичних систем, при цьому втрата приголосних %Alcons не перевищує 11%. Енергетичні показники також підтверджують високу якість акустики: індекс ясності (C80) знаходиться в межах +2 +6 дБ, що свідчить про домінування корисної звукової енергії, а високі значення індексу гучності звуку G 9,4 … 13,1 дБ забезпечують високу гучність природного голосу лектора навіть на останніх рядах. Досягнення нормативних показників стало можливим завдяки раціональному вибору оздоблювальних матеріалів, зокрема використанню твердих поверхонь (гіпсокартон, дерево) у зоні сцени та на передній частині стелі для підтримки ранніх відбиттів, звукопоглинальних матеріалів на задній стіні для усунення ехо, а також напівм’яких крісел, що стабілізують акустику. Розрахунок коефіцієнта бічної енергії JLF показав значення в діапазоні 0,20 … 0,27, що відповідає нормативним рекомендаціям і свідчить про високу якість просторової акустики та ефект «акустичного оточення».

Таким чином, запроектована зала повністю відповідає сучасним акустичним вимогам до приміщень мовного призначення, забезпечуючи комфортні умови як для слухачів завдяки високій розбірливісті, так і для доповідача завдяки достатній гучності без напруження голосу.

Додатки
візуалізація аудиторії



Список використаних джерел:

1. Сергейчук О.В. Строительная физика. Акустика : учеб.пособие для ст р. с пец. О .В. Сергейчук. К.К.: УМК ВО, 1992. 120 с

2. ДБН В.2.2-16-2019 "Культурно-видовищні та дозвіллєві заклади."

3. ДБН В.2.2-3:2018 "Заклади освіти"

4. Section: Архітектурно-будівельна акустика | АРХ "Архітектурна будевельна фізика" | Освітній сайт КНУБА