

ИП Шевцов Станислав Евгеньевич

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПРОЕКТ ИЗМЕРЕНИЯ И
НАСТРОЙКИ АКУСТИКИ ЗАЛА НОВОЙ СЦЕНЫ УЧЕБНОГО
ТЕАТРА ТЕАТРАЛЬНОГО ИНСТИТУТА В ГОРОДЕ ЕКАТЕРИНБУРГЕ**

05.06.2026

к.т.н. Шевцов С.Е.



Москва

2026

СОДЕРЖАНИЕ ПРОЕКТА

1. ВВЕДЕНИЕ.....	2
1.1 ПРОВЕДЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	2
1.2. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ.....	3
1.3. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ	4
1.3.1 Описание средств измерений и условий проведения измерений.....	4
1.3.2 Описание измеряемого акустического параметра - Время стандартной реверберации RT_60/с	4
1.3.3 Индекс музыкальной ясности C-80/дБ.....	5
1.3.4 Индекс передачи речи STI.....	5
1.3.5 Индекс заметности эха EK speech	6
1.3.6 Методика измерений	6
1.4. Анализ результатов измерений.....	7
2 ОЦЕНКА ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНОГО РЕШЕНИЯ ЗАЛА.....	9
2.1 Методика акустического моделирования	9
2.2. Построение трёхмерной акустической модели и настройка условий подобия модели и измеренных данных.....	10
2.2.1. Изменение интерьера зала.....	11
2.2.2. Время реверберации T-30с при наличии зрителей и сравнение с рекомендацией	14
2.2.3 Индекс музыкальной ясности C-80дБ.....	16
2.2.4 Индекс передачи речи STI.....	18
2.2.5 Критерий эхообразования EK speech.....	18
ВЫВОДЫ.....	20
Литература.....	20
Приложение	21

Согласовано:			

Взам. инв.№

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата			
						Стадия	Лист	Листов
						ЭП	1	

Разработал	Шевцов		05.26
Проверил	Созонов		05.26

1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа ставит своей целью натурные акустические измерения и рекомендации по коррекции акустики зала Новой сцены Театрального института в городе Екатеринбурге, находящегося в учебном театре.

1.1 ПРОВЕДЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗАЛА.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Объект обследования - театральный зал, расположенный на 2 этаже.

Помещение зрительного зала прямоугольной формы. Потолок имеет переменную высоту. Сценическая коробка отсутствует. По обеим боковым стенам расположены окна на двух уровнях. Стены – оштукатуренная кладка. Одна из торцевых стен облицована гипсокартоном на каркасе. Пол имеет один уровень. Для зрителей предусмотрены стулья.

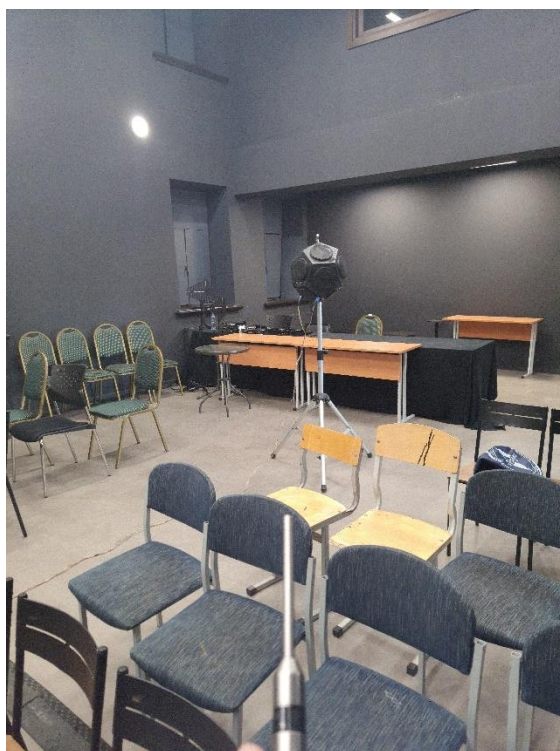


Рисунок 1. Фото измерений.

Инва. №подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№

Изм.	Кол.уч	Лист	Недок.	Подп.	Дата

1.3. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

1.3.1. Описание средств и условий проведения измерений.

28 мая 2026г. инженером-акустиком С.Е. Шевцовым был проведен комплекс акустических замеров с помощью средств, представленных в таблице 1. В качестве источника звука использовался измерительный излучатель - додекаэдр "Октава OED".

Таблица 1. Средства измерений и вспомогательное оборудование.

№	Наименование оборудования.
1.	Измерительный излучатель - додекаэдр "Октава OED"
2.	Измерительный микрофон EMX - 7150 (Германия)
3.	Измерительная станция EASERA 1.2.13
4.	Аналого-цифровой интерфейс MOTU Ultra Lite mk5

Таблица 2. Условия проведения измерений

Наименование помещения	Температура воздуха/С°	Влажность воздуха/%	Уровень шума дБА
Зал Новой сцены	22	41	22

1.3.2. Описание измеряемого акустического параметра - Время стандартной реверберации T_{60} /с.

Время реверберации T_{30} соответствует T_{60} /с и рассчитывается по измеренному импульсному отклику согласно ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013. Эта величина определяет интервал времени, отсчитываемый от момента выключения источника, в течение которого принимаемый микрофоном сигнал уменьшается на 30 дБ с последующей интерполяцией до 60дБ. Время реверберации всеобъемлюще характеризует физические свойства помещения.

Взам. инв.№	
Подпись и дата	
Инд. №подл.	

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата	Лист
						4

Таблица 3.

<i>Качественная оценка</i>	<i>STI</i>
<i>Плохая</i>	<i>0...0,3</i>
<i>Неудовлетворительная</i>	<i>0,3...0,45</i>
<i>Удовлетворительная</i>	<i>0,45...0,6</i>
<i>Хорошая</i>	<i>0,6...0,75</i>
<i>Превосходная</i>	<i>0,75...1</i>

1.3.5 Индекс заметности эха ЕК.

Индекс заметности эха EchoSpeech, отражает заметность эха при речевых сигналах. Для отсутствия заметных эхообразований, значения данных критериев не должны превышать пороговых значений. Для речи это значение – 0,9 [5].

1.3.9. Методика измерений

Измерения в зале проводились по методике, регламентированной международным стандартом ИСО 3382-1-2013.

Выбиралось 18 измерительных позиций для микрофона и 2 позиции для излучателя.

Для каждой из этих точек измерены импульсные отклики. Источник звука размещался на высоте 1,5 м от поверхности пола, измерительный микрофон – на высоте 1,2 м от уровня пола.

Измерения выполнены в программном обеспечении EASERA 1.2.13.

На рисунке 3 представлено местоположение позиций излучателя и приёмных позиций.

Инв. №подл.	Взам. инв.№
	Подпись и дата

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата	Лист 6

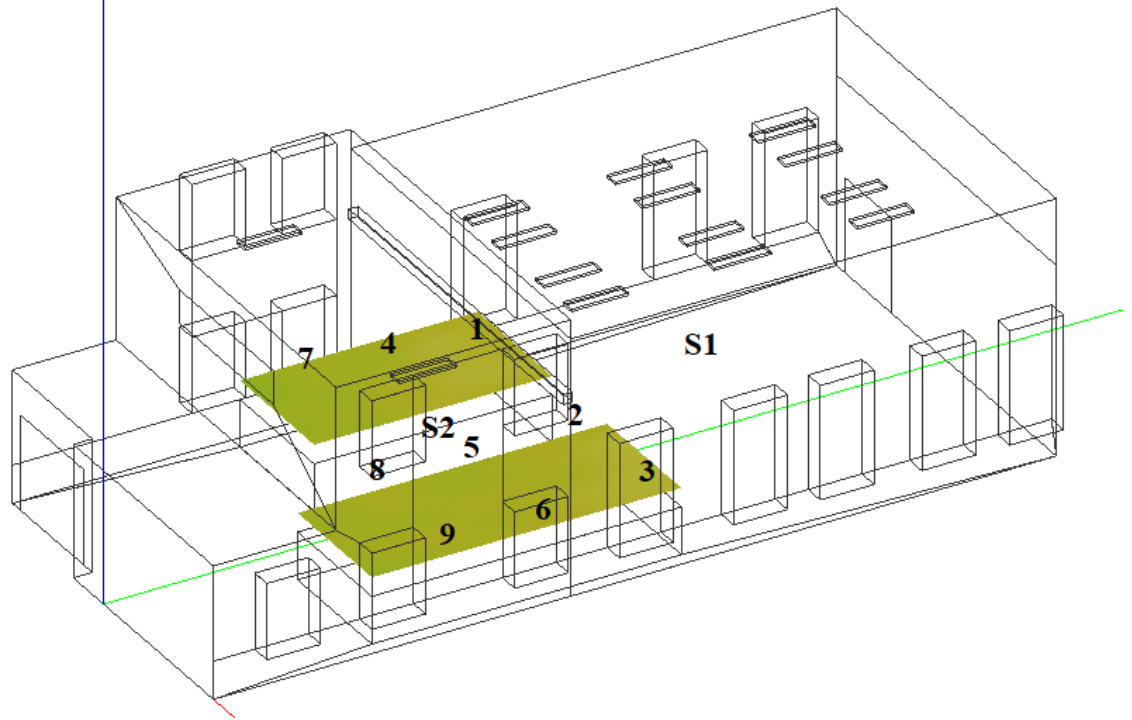


Рисунок 3. План зала с обозначением позиций излучателя и приёмных позиций.

1.4. Анализ результатов измерений.

Для каждого из измерений приведена зависимость амплитуды импульсного отклика от времени. Амплитуда отклика нормирована на максимальное значение в выбранном временном интервале.

По импульсному отклику определено время реверберации T_{30} и частотная характеристика времени реверберации.

1.4.1. Время реверберации

На рисунке 4 приведены измеренные значения времени реверберации (T_{30}/c).

Инв. №подл.	Взам. инв.№
	Подпись и дата

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата
------	--------	------	-------	-------	------

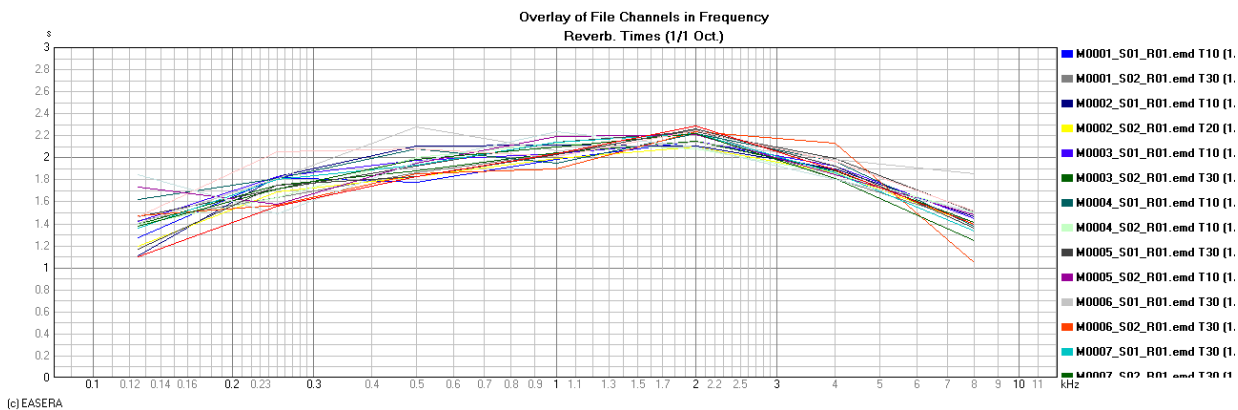


Рисунок 4. Показатели T-30/c для приемных позиций (1-18) для источников S1-S2.

В таблице 4 представлены усредненные значения по приёмным позициям.

Таблица 4.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	250-2k Hz	500-4k Hz
	s	s	s	s	s	s	s	s	s
M0009_S02_R01.emd	1,1	1,56	1,83	2,04	2,29	1,89	1,4	1,93	2,01
M0001_S02_R01.emd	1,43	1,64	1,86	2,04	2,26	1,82	1,41	1,95	1,99
M0003_S02_R01.emd	1,4	1,75	1,88	2,04	2,15	1,88	1,42	1,96	1,99
M0005_S01_R01.emd	1,46	1,72	1,93	2,14	2,24	1,99	1,51	2,01	2,07
M0007_S01_R01.emd	1,36	1,8	1,93	2,14	2,22	1,86	1,33	2,02	2,04
M0007_S02_R01.emd	1,38	1,72	1,99	2,1	2,22	1,81	1,25	2,01	2,03
M0008_S02_R01.emd	1,84	1,49	1,96	2,24	2,1	1,81	1,51	1,95	2,03
M0009_S01_R01.emd	1,17	1,75	1,83	2,03	2,27	1,93	1,36	1,97	2,01
Average	1,39	1,68	1,9	2,1	2,22	1,87	1,4	1,97	2,02
Std. Dev.	0,21	0,1	0,06	0,07	0,06	0,06	0,08	0,03	0,03
Maximum	1,84	1,8	1,99	2,24	2,29	1,99	1,51	2,02	2,07
Minimum	1,1	1,49	1,83	2,03	2,1	1,81	1,25	1,93	1,99

Полученные значения времен реверберации нуждаются в пересчёте на заполнение публикой, что будет сделано в следующем разделе.

Инв. №подл.	Взам. инв.№
	Подпись и дата

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата	Лист
						8

2. ОЦЕНКА ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНОГО РЕШЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО АКУСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ.

Пропорции длины к ширине и ширины к высоте соответствуют следующим значениям: $L/W = 2,2$; $W/H = 1,4$. По нормативу [1] соотношения должны быть > 1 , и < 2 .

L - длина – 17,7м;

W - ширина - 8м;

H - максимальная высота – 5,8м.

Согласно [1], нижняя граница частотного диапазона для статистического метода, выше которой можно считать расчёты в рамках допустимых погрешностей для воздушного объема 708м^3 равна 66,5Гц (по выражению $f_{кр} = \frac{1770}{\sqrt{V}}$). Для алгоритма лучевой трассировки по выражению $f_2 = 4f_1$ получаем 266Гц. Таким образом, по формуле Эйринга расчёту можно доверять начиная с первой регламентируемой частоты - 125Гц. По более точному алгоритму - лучевой трассировки, доверительная граница будет начинаться примерно с третьоктавной полосы центром которой будет являться 315Гц.

Для хорошей акустики зала важно правильно выбрать его геометрическую форму и очертания внутренних поверхностей. Этим достигается надлежащее распределение отражённого звука и достаточная диффузность звукового поля.

2.1 Методика акустического моделирования.

Исследование акустики помещения было проведено на компьютерной модели, выполненной в программе *EASE 4.4*. Геометрия поверхностей помещения, принималась по предоставленным архитектурным чертежам.

Взам. инв.№	
Подпись и дата	
Инв. №подл.	

										Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата					9

Расчёты параметров выполнялись с помощью формулы Эйринга (согласно статистической теории) и с использованием лучевой трассировки, входящих в состав *EASE 4.4*.

Создание компьютерной модели с названными алгоритмами обработки данных, диктуется методом акустического проектирования, описанным в документе [1,4].

2.2. Построение трёхмерной акустической модели и настройка условий подобия модели и измеренных данных.

Модель содержит 200 трёх координатных точек и 131 плоскостей, см рисунок 14.

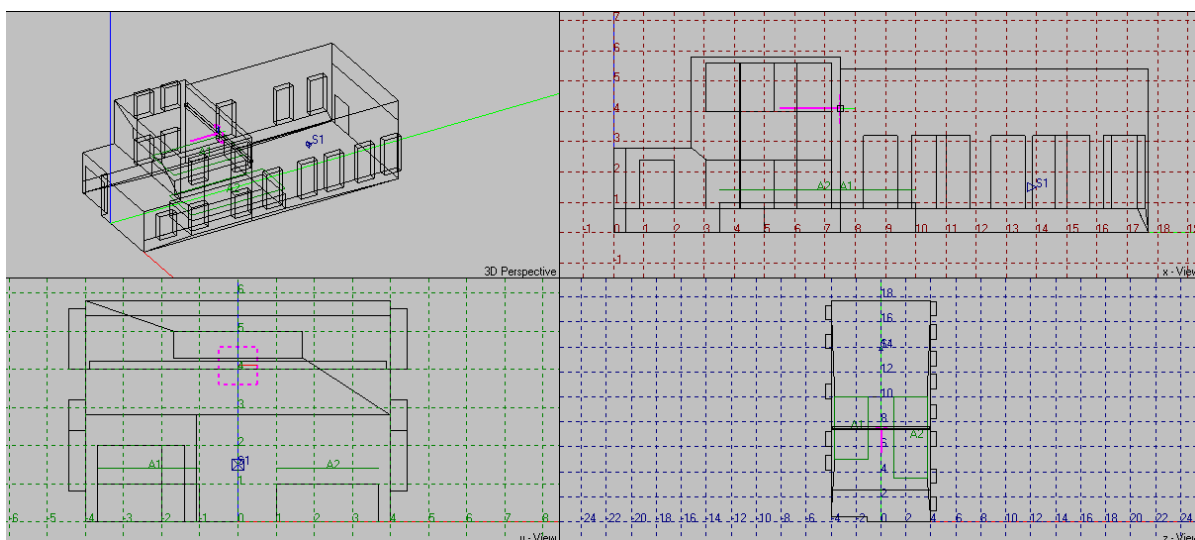


Рисунок 14. Трёхмерная модель зала.

Первоначально, выполнено условие подобия:

1. Смоделировано помещение в нынешнем виде;
2. Выполнено усреднение показателей времени реверберации, измеренных в помещении;
3. По результатам пункта 3 модель настраивалась под соответствие частотной характеристики времени реверберации измеренным показателям, где для плоскости стен подбирались такие коэффициенты поглощения, которые дали бы в результате близкое совпадение T30, см рисунок 15.

Инв. №подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата

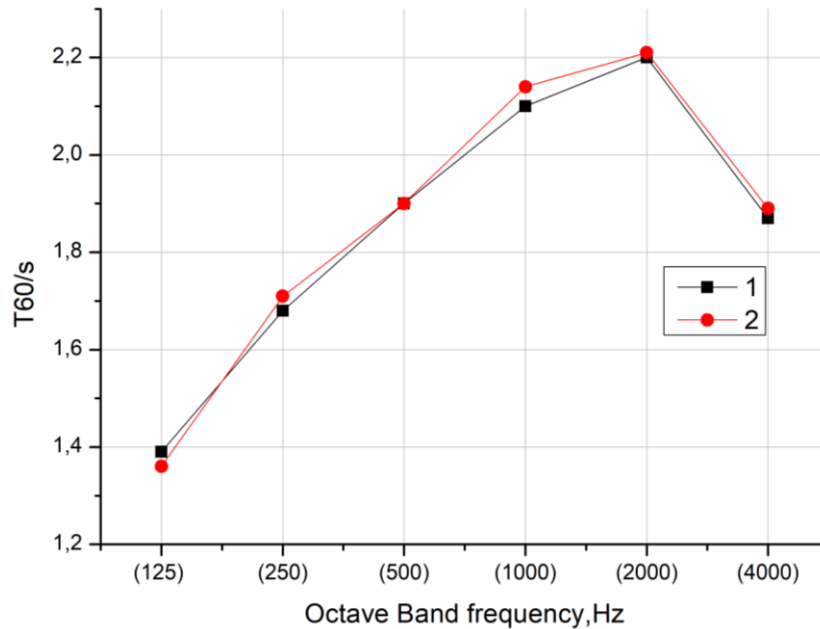


Рисунок 15. Калибровка модели по времени реверберации.
 1 - измерение;
 2 - модель.

2.2.1. Изменение интерьера зала.

Предусматриваются следующие изменения:

1. На торцевых стенках монтируется каркас типа Вибранет ПП и ПН на отnose 50мм, полость заполняется плитами акустической минеральной ваты Шуманет БН, сверху закрепляются древесно-волокнистые плиты типа SoundBoard Superfine. Монтаж в одном случае осуществляется на верхней части стены, поскольку нижняя часть должна оставаться гладкой для видео проекции (просьба заказчика). В другом случае в сплошном виде, см рисунки 16 - 18;

2. На потолке подвешиваются панели типа Саундлюкс Solo в горизонтальном положении на уровне порядка 600мм от потолка. Раскладка может быть выполнена согласно “обхода” светильников, но соблюдая расстояние между панелями порядка 1000мм. Всего 14 панелей. В одной из частей потолка по середине развес панелей исключается в виду вентиляционной конструкции, см рисунок 16, 19.

Инв. №подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата

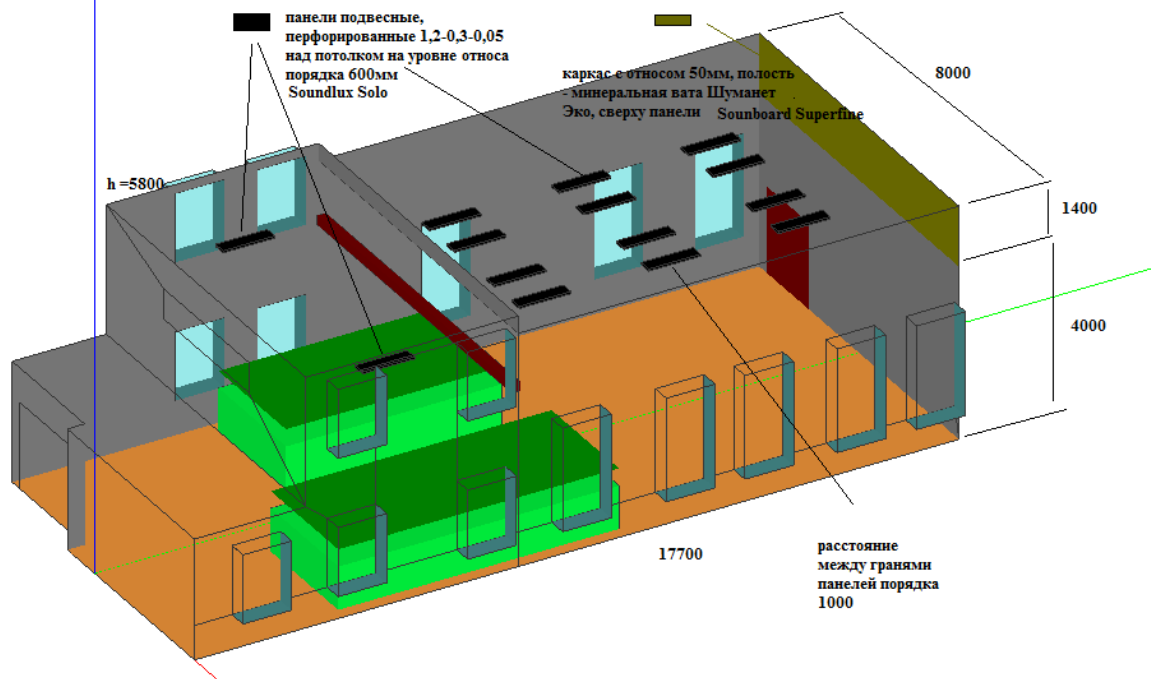


Рисунок 16. Место размещение материалов.



Рисунок 17. Панели SoundBoard Superfine

Инв. №подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата

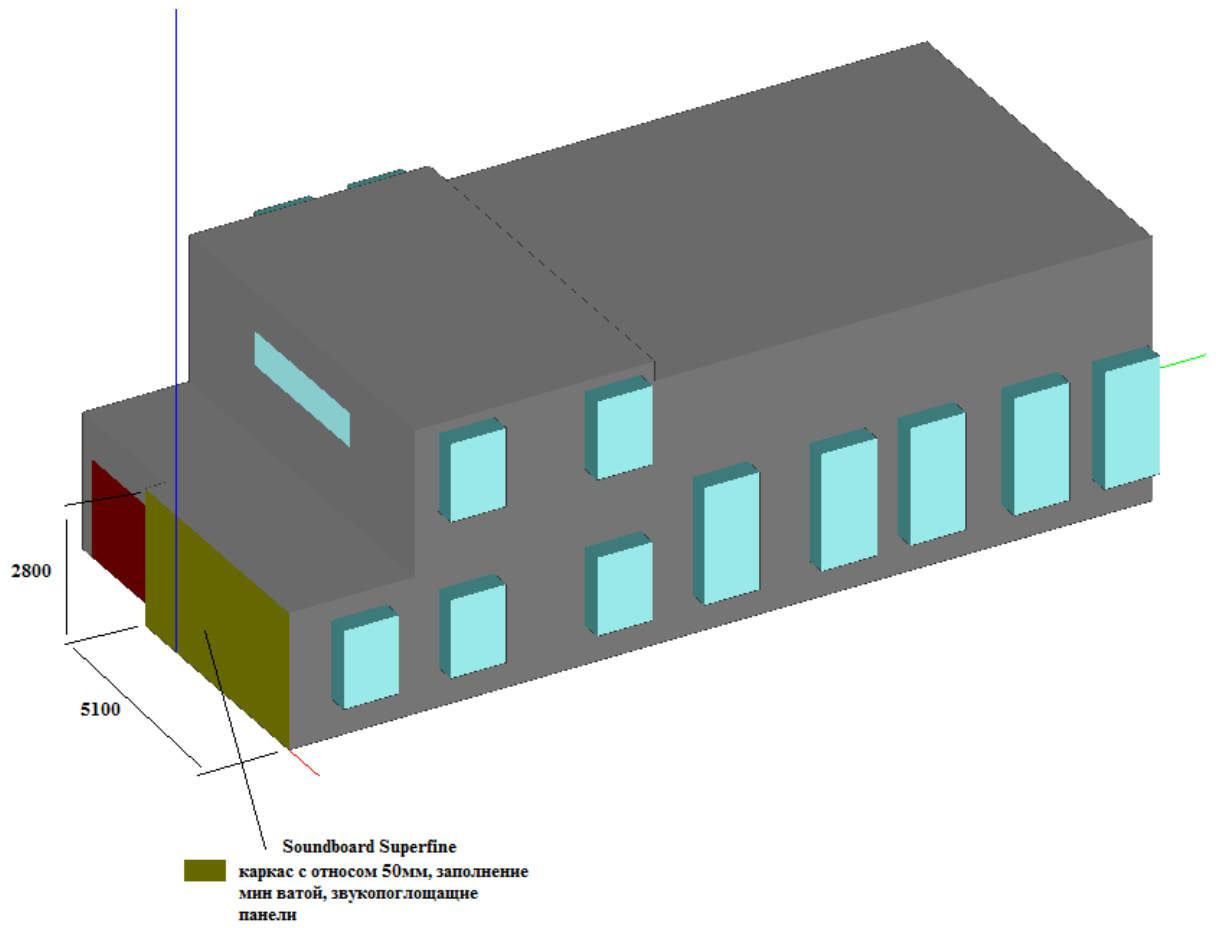


Рисунок 18. Место размещение материалов.



Рисунок 19. Панели Саундлюкс Solo.

Инв. №подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата

2.2.2 Время реверберации Т-30с при наличии зрителей и сравнение с рекомендацией.

Далее, для зрительской зоны выбрана характеристика звукопоглощения, соответствующая людям, сидящим на стульях [3].

Для зала драматического театра, согласно [1] время реверберации исходя из воздушного объема должно соответствовать ~1с, см рисунок 20.

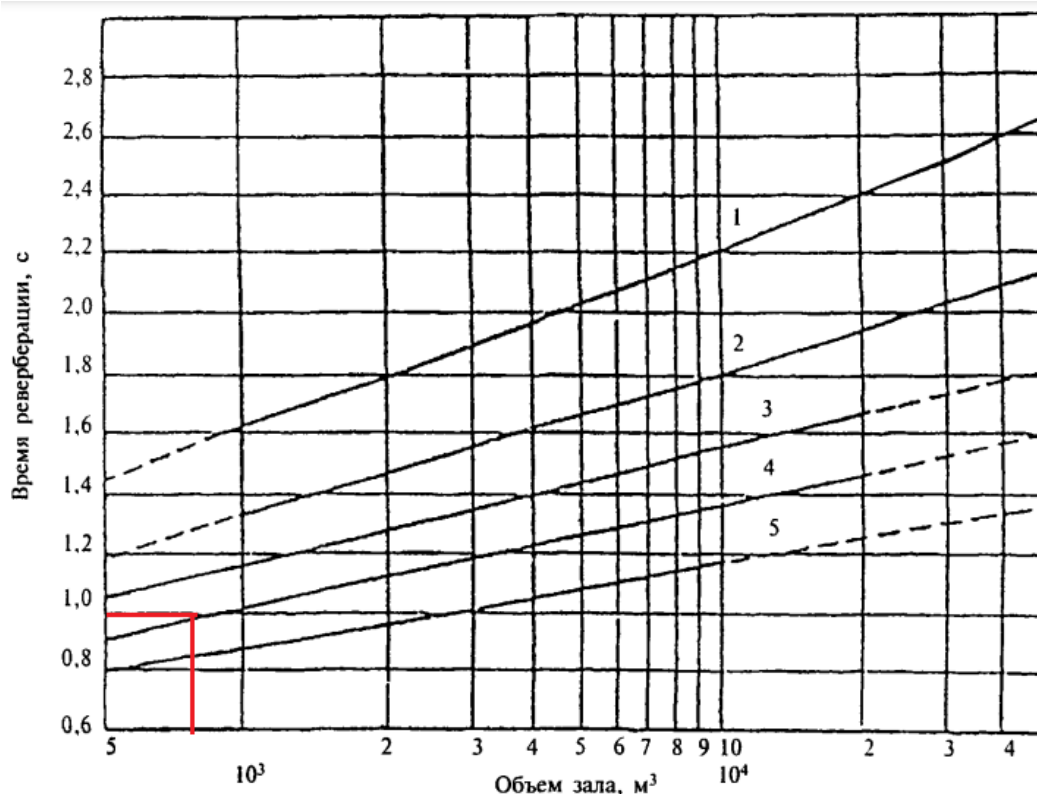


Рисунок 20. Нормативные линейные функции времени реверберации для среднечастотного диапазона (октавные частоты с центром на 500 и 1000 Гц) в заполненном зале. Заимствовано из нормативного документа СП 51.13330.2011

1 — залы для ораторий и органной музыки; 2 — залы для симфонической музыки, залы оперных театров; 3 — залы для камерной музыки, залы музыкально-драматических театров; 4 — залы многоцелевого назначения, залы драматических театров; 5 — лекционные залы, залы заседаний, концертные залы современной эстрадной музыки, пассажирские залы, залы ожидания, спортивные залы.

Воздушный объём по модельному расчёту составляет 708м³, см рисунок 21.

Инов. №подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата

Room Geometry		
Volume [m ³]:	<input type="text" value="708.82"/>	<input type="checkbox"/> Room open
Effective Surface [m ²]:	<input type="text" value="641.95"/>	<input type="checkbox"/> Room symmetric
Total Surface [m ²]:	<input type="text" value="641.95"/>	Symmetry Axis at x = <input type="text" value="0.00"/> m
Mean free path length:	4.42 m	
Mean free path time:	0.01 s	

Рисунок 21.

На рисунках 22-23 представлено сравнение T60 - фактическое и рекомендуемое. При этом, допускается подъем в области нижних частот до 20% и спад на высоких частотах до 10%.

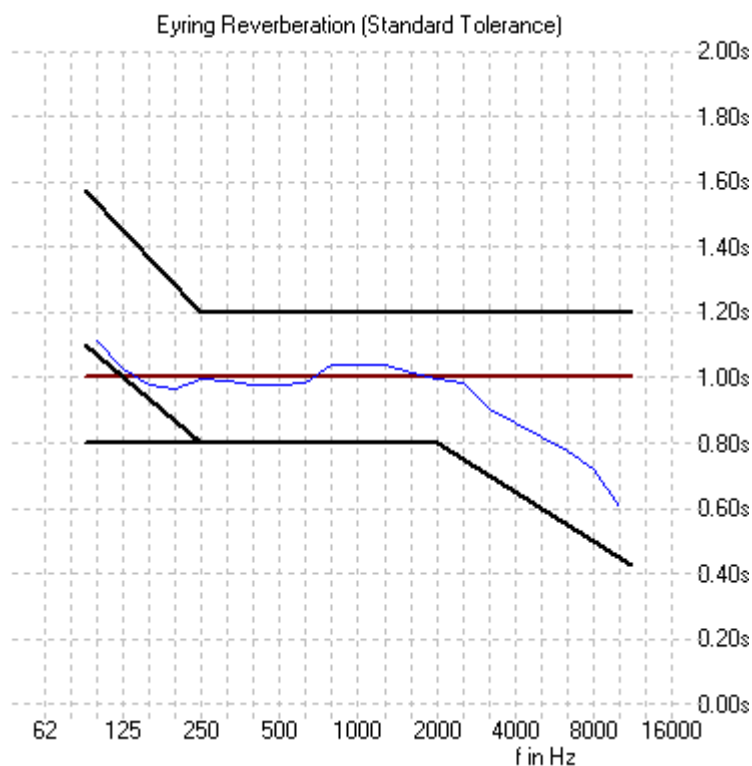


Рисунок 22. Частотная характеристика времени реверберации в заполненном зале - функция синего цвета; черные линии - рекомендуемый диапазон значений. Расчёт выполнен по статистической теории.

Инд. №подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№

Изм.	Кол.уч	Лист	Недок.	Подп.	Дата

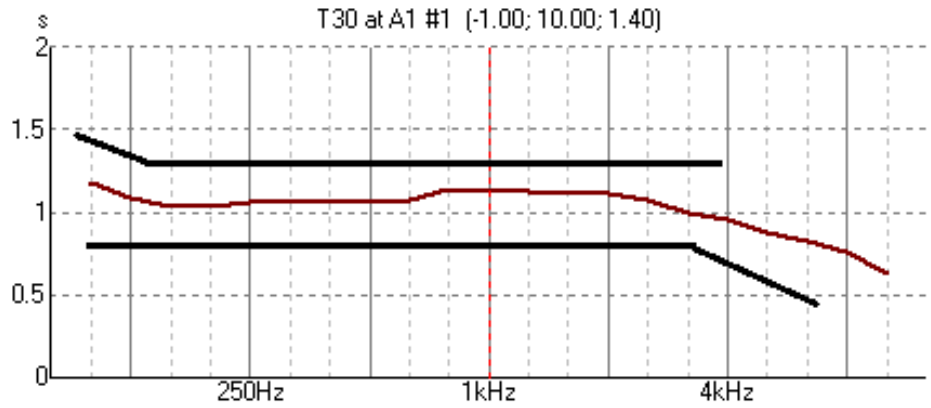


Рисунок 23. Частотная характеристика времени реверберации в заполненном зале по алгоритму лучевой трассировки.

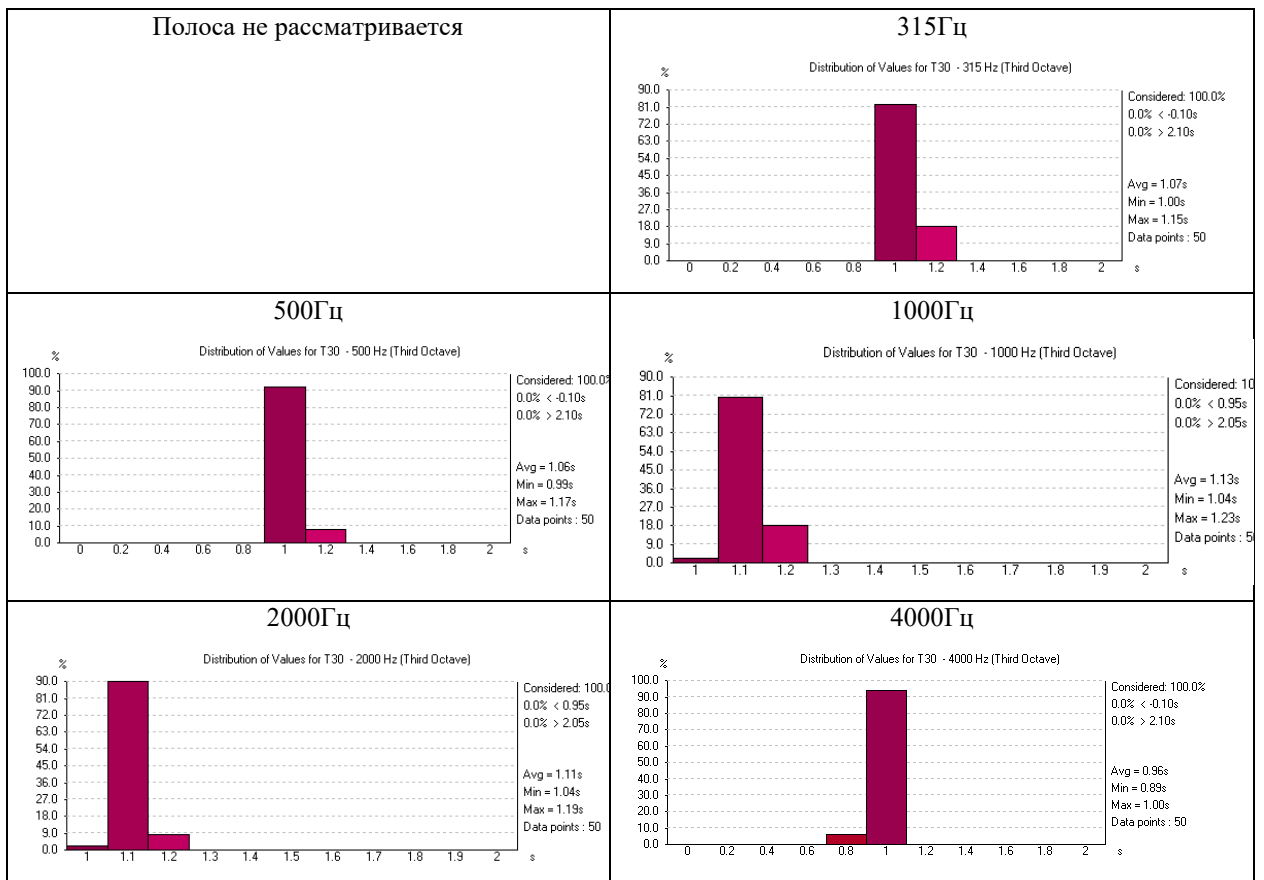


Рисунок 24. Процентное распределение усреднённых показателей T-30с по залу.

2.2.3 Индекс музыкальной ясности C-80дБ

На рисунках 25 представлена характеристика параметра, которая удовлетворяет режиму драматического театра.

Инв. №подл.	Взам. инв.№
	Подпись и дата

Изм.	Кол.уч	Лист	Недок.	Подп.	Дата
------	--------	------	--------	-------	------

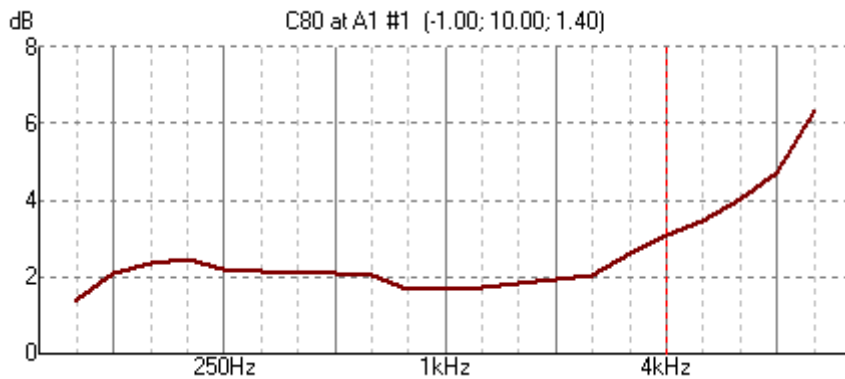


Рисунок 25а. Усредненная частотная характеристика параметра С-80дБ.

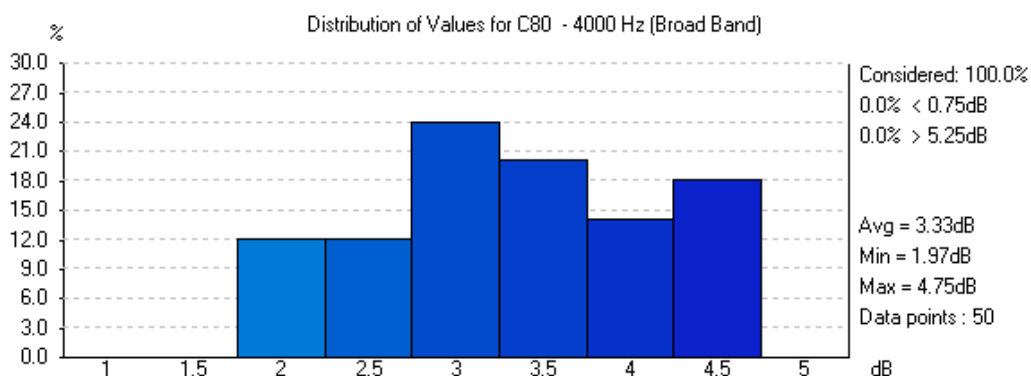


Рисунок 25б. Процентное распределение параметра С-80дБ по залу в широкой полосе частот (с весовым коэффициентом А).

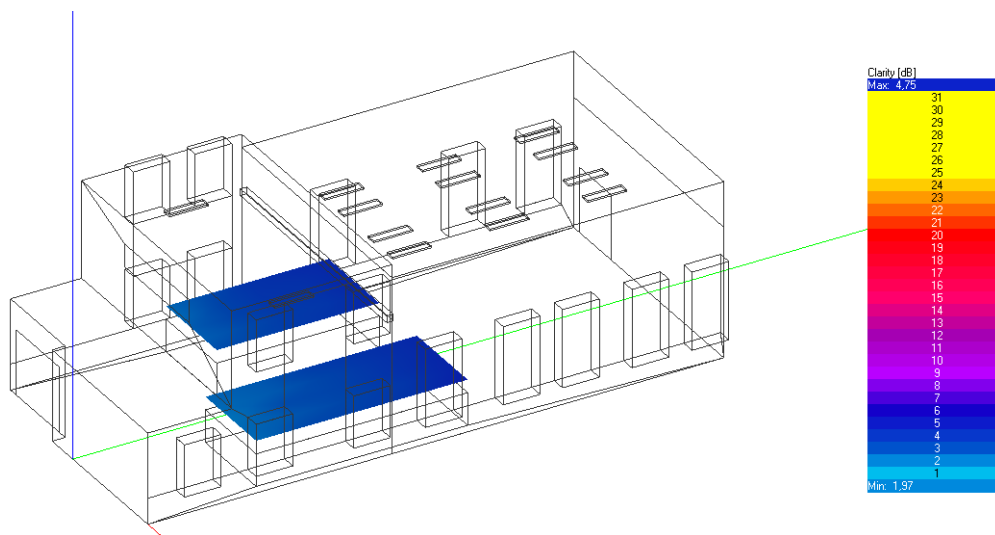


Рисунок 25в. Цветовая картография распределения параметра С-80дБ по залу в широкой полосе частот (с весовым коэффициентом А).

Инв. №подл.	Взам. инв.№				
	Подпись и дата				
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата

2.2.4 Индекс передачи речи STI.

На рисунках 26 представлена характеристика параметра, которая соответствует характеристике - хорошая разборчивость.

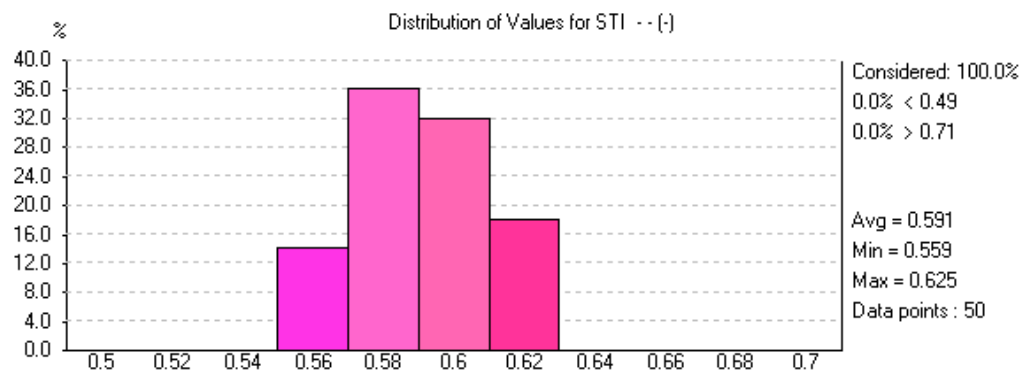


Рисунок 26а. Процентное распределение параметра STI по залу.

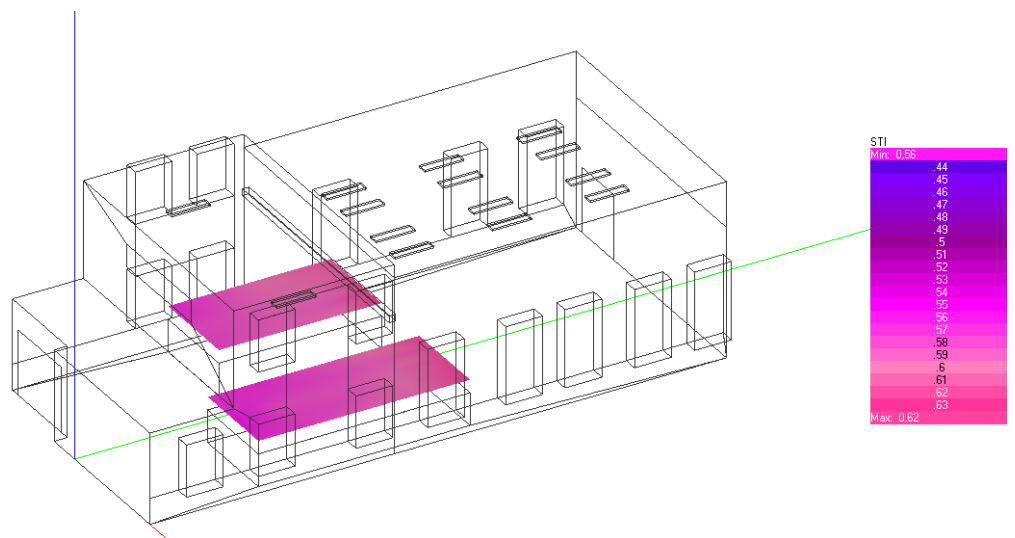


Рисунок 26б. Цветовая картография распределения параметра STI.

Инв. №подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№

2.2.5 Критерий эхообразования ЕК speech.

На рисунках 27 представлена характеристика параметра, которая исключает эхообразования в зале.

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата	Лист 18

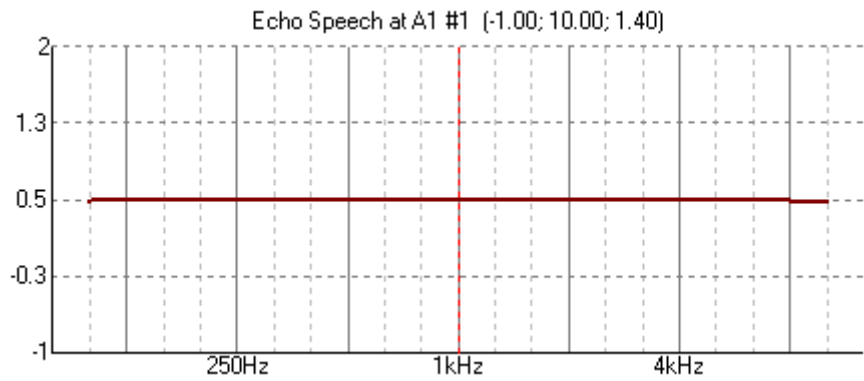


Рисунок 27а. Усредненная частотная характеристика параметра ЕК.

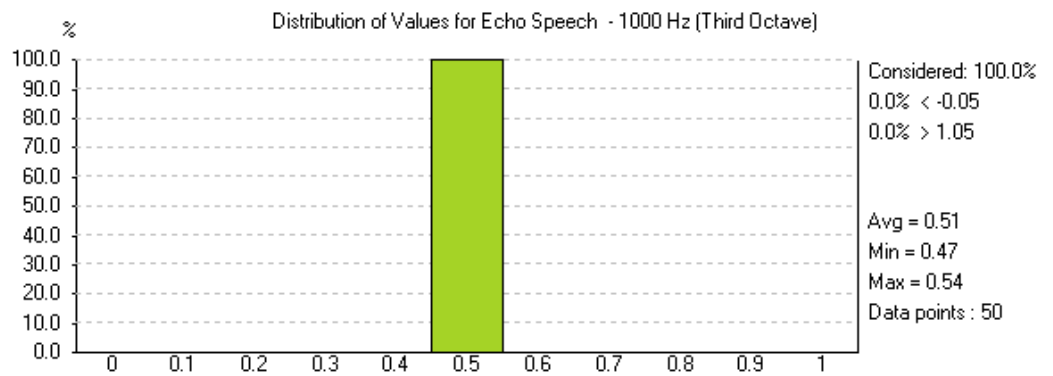


Рисунок 27б. Процентное распределение параметра ЕК по залу в широкой полосе частот (с весовым коэффициентом А).

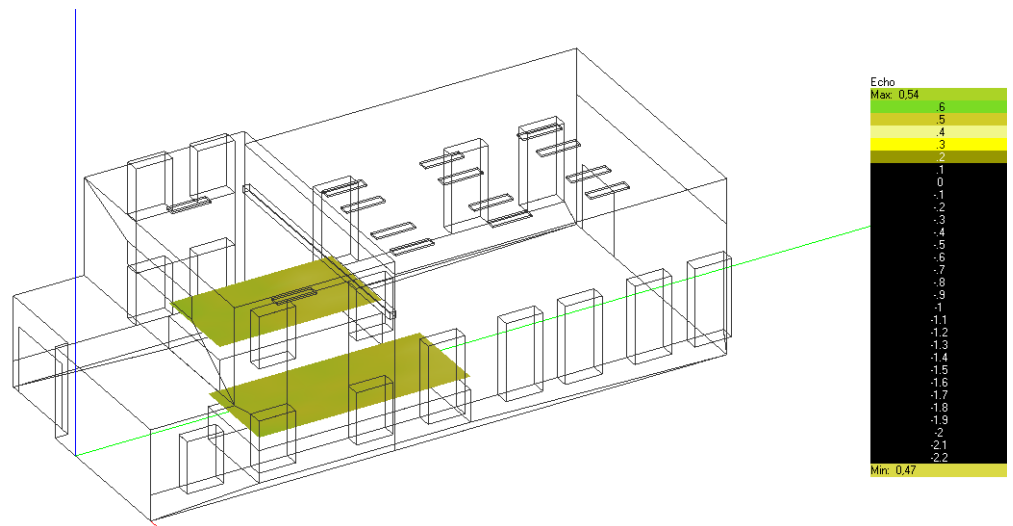


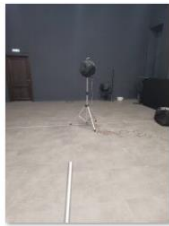
Рисунок 27в. Цветовая картография распределения параметра ЕК по залу в широкой полосе частот (с весовым коэффициентом А).

Инв. №подл.	Взам. инв.№
	Подпись и дата

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата
------	--------	------	-------	-------	------

ПРИЛОЖЕНИЕ

Фото с измерений



20260523_184616



20260523_184958



20260523_185045



20260523_185123



20260523_185144



20260523_185209



20260523_185230



20260523_185248



20260523_190237



20260523_190306



20260523_190354



20260523_190412



20260523_190436



20260523_190448



20260523_190506

Инв. №подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата