

УДК 534.6
OECD 01.03.AA

Оценка шума, проникающего через перегородку между двумя кинозалами

Цукерников И.Е.¹, Фадеев А.С.^{2*}

¹Профессор, НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ НАУК (НИИСФ РААСН),
г. Москва, Россия

²Аспирант, НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ НАУК (НИИСФ РААСН),
г. Москва, Россия

Аннотация

На территории России за последние 10-15 лет значительно увеличилось количество кинотеатральных залов - мультиплексов в торговых и развлекательных центрах, которые предполагают соседство нескольких залов и их одновременную эксплуатацию. Рассмотрена задача изоляции воздушного шума преградой между двумя кинотеатральными залами, входящими в состав мультиплекса. Проведена серия натурных измерений акустических параметров, показано несоответствие оцененных по ним параметров звукоизоляции требованиям действующих нормативных документов. Рассмотрен вопрос одночисловой оценки изоляции воздушного шума в расширенном диапазоне частот. Оценено влияние акустической отделки на уровни проникающего шума из одного кинозала в другой.

Ключевые слова: перегородка, звукоизоляция, кинотеатральный зал, акустические измерения

Evaluation of the noise that penetrating through the partition between two cinema halls

Tsukernikov I.E.¹, Fadeev A.S.^{2}*

¹*Professor, Research Institute of Building Physics (NIISF RAABS), Moscow, Russia*

²*Ph.D. Student, Research Institute of Building Physics (NIISF RAABS), Moscow, Russia*

Abstract

The number of cinemas has increased over the past 10 - 15 years in Russia. The main part of new cinemas is multiplex cinemas in the shopping and entertainment malls. It is mean that in multiplex two cinemas may show the movies at the same time. The problem of airborne sound isolating by a partition/slab between two multiplex cinemas halls is considered. The levels of penetrating noise through a partition between two cinemas halls are measured for two cinemas. The discrepancy between the estimated sound insulation parameters and the requirements of the current regulatory documents are shown. A series of field measurements of acoustic parameters is carried out. The discrepancy of the airborne sound insulation parameters by partition is shown. The case of one-number estimation of airborne of sound isolation in the low frequency range is considered. The influence of acoustic finishing on the levels of penetrating noise from one cinema hall to another is estimated.

Key words: partition, sound insulation, cinema, noise, acoustic measurement

Введение

На 2019 год на территории Российской Федерации находится более 4000 действующих кинотеатральных залов, большинство из которых входят в состав мультиплексов, что подразумевает возможность расположения нескольких залов в

* Автор корреспонденции: 89268339937@mail.ru (Фадеев А.С.)

непосредственной близости друг от друга. В большинстве мультиплексов залы разделяются между собой перегородкой, реже – междуэтажным перекрытием.

Система звуковоспроизведения современного кинотеатрального зала характеризуется возможностью воспроизведения высоких уровней в области низких частот (октавные полосы со среднегеометрическими частотами ($f_{с.г.}$) 31,5; 63 и 125 Гц). В то же время, как известно из теории и практики строительной акустики, изоляция воздушного шума преградой в области низких частот имеет невысокие значения по сравнению с изоляцией воздушного шума той же преградой в области средних и высоких частот. Таким образом, соседство двух кинотеатральных залов может приводить к проникновению звукового сигнала системы звуковоспроизведения одного кинозала в другой и вызывать жалобы зрителей на проникающий шум.

Указанные обстоятельства позволяют считать задачу изоляции воздушного шума преградой (перегородкой или перекрытием) между двумя кинотеатральными залами в области низких частот актуальной прикладной задачей современной строительной акустики. В настоящей статье приведены результаты серии натурных измерений изоляции воздушного шума перегородкой между парой кинозалов. Показан дефицит изоляции воздушного шума перегородкой относительно действующих нормативно технических документов особенно в низкочастотном диапазоне (октавные полосы с $f_{с.г.} = 31,5-125$ Гц).

1. Натурные измерения акустических параметров в мультиплексах

Проведена серия акустических измерений в мультиплексах г. Москвы и Санкт-Петербурга:

- Мираж в Озерках (г. Санкт-Петербург, 2017);
- Киномакс Колумбус (г. Москва, 08.2017);
- Киномакс Миля (г. Москва, 19.04.2018);
- Киномакс Титан (г. Москва, 11.10.2018).

Натурные измерения акустических параметров с целью дальнейшей оценки звукоизоляционных свойств конструкции осуществлены для четырёх пар кинозалов, разделённых между собой перегородкой.

2.1. Схема проведения измерений

На многоканальную звуковоспроизводящую систему одного из кинозалов (помещение высокого уровня – ПВУ) оператором кинозала подавался тестовые сигналы – «розовый» шум, рекламный ролик (трейлер). Шумомером-анализатором спектра ЭКОФИЗИКА-110А (Россия) измеряли уровни звукового давления (УЗД) в ПВУ и соседнем кинозале (помещении низкого уровня – ПНУ).

Ситуационный план с указанием точек, в которых проведены измерения акустических параметров одной из пар кинозалов представлен на рис. 1, геометрические параметры залов приведены в табл. 1.

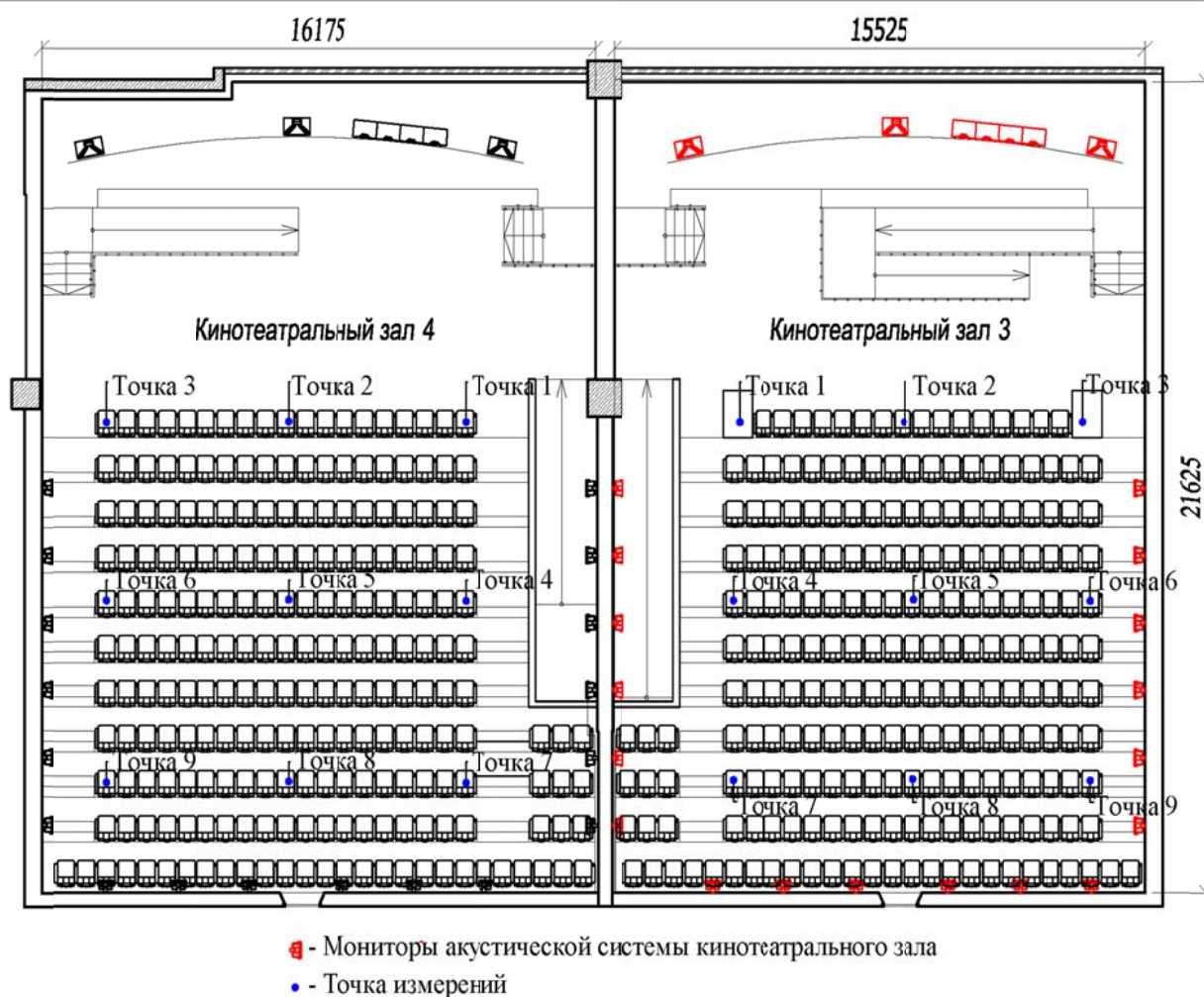


Рис. 1. Кинозалы 3 и 4 мультиплекса «Киномакс Колумбус»

Таблица 1

Геометрические характеристики кинозалов

Киноплекс	Площадь перегородки между ПВУ и ПНУ, м ²	Объем ПНУ, м ³
Мираж в Озерках	100	1410
Киномакс Колумбус	315	4890
Киномакс Миля	115	720
Киномакс Титан	135	1480

2.2. Результаты натурных измерений акустических параметров

2.2.1. Уровни звукового давления в ПВУ

На рис. 2 приведены А-корректированные спектры звука, зафиксированные при воспроизведении трейлера. Эталонные спектры, отмеченные на рис. 2 – спектры №1 и №2 из ГОСТ Р 56769-2015 [1], для удобства сравнения с измеренными получены путём смещения вверх до уровня 75 дБ в октавной полосе с $f_{с.г.} = 500$ Гц.

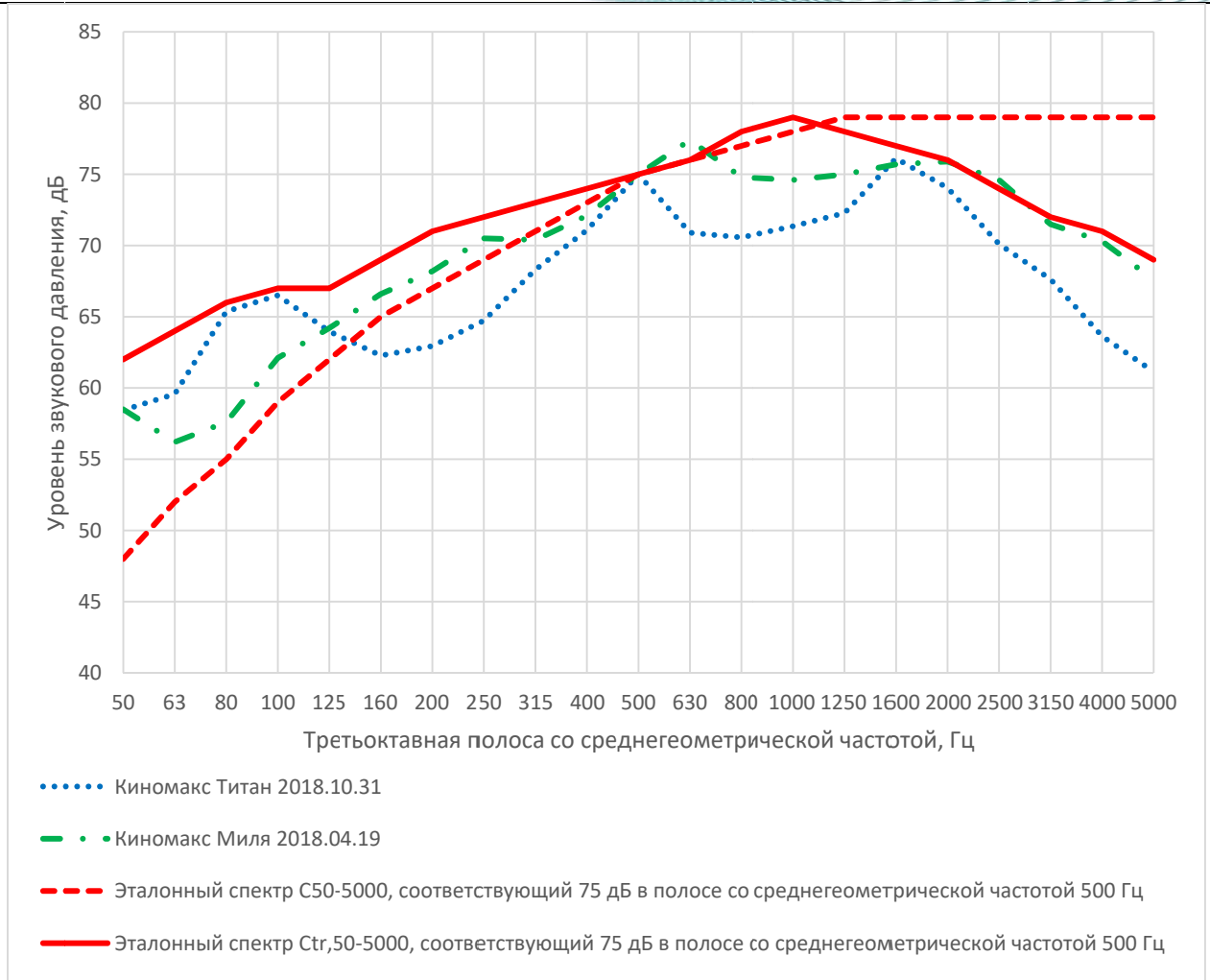


Рис. 2. А-корректированные УЗД в ПВУ при воспроизведении трейлера

На рис. 2 видно, что спектр $C_{tr,50-5000}$ больше соответствует измеренным А-корректированным спектрам при воспроизведении трейлера. Вместе с тем в работе [2] показано, что для зала кинотеатра (Киномакс Колумбус 2018.08) лучшую оценку снижения уровня звука А дает использование спектра $C_{50-5000}$.

2.2.2. Уровни проникающего шума в ПНУ при звуковоспроизведении трейлера в ПВУ

На рис. 3 измеренные УЗД в ПНУ при звуковоспроизведении трейлера на акустической многоканальной системе ПВУ сравниваются с допустимыми значениями нормативных документов [3]-[7], обзор которых выполнен в [2]. Превышения нормативных значений зафиксированы в октавных полосах с $f_{с.г.} = 31,5$ и 63 Гц. Наибольшие превышения имеют место в октавной полосе с $f_{с.г.} = 63$ Гц, и в зависимости от нормативного документа отклонения составляют от 4 до 12 дБ.

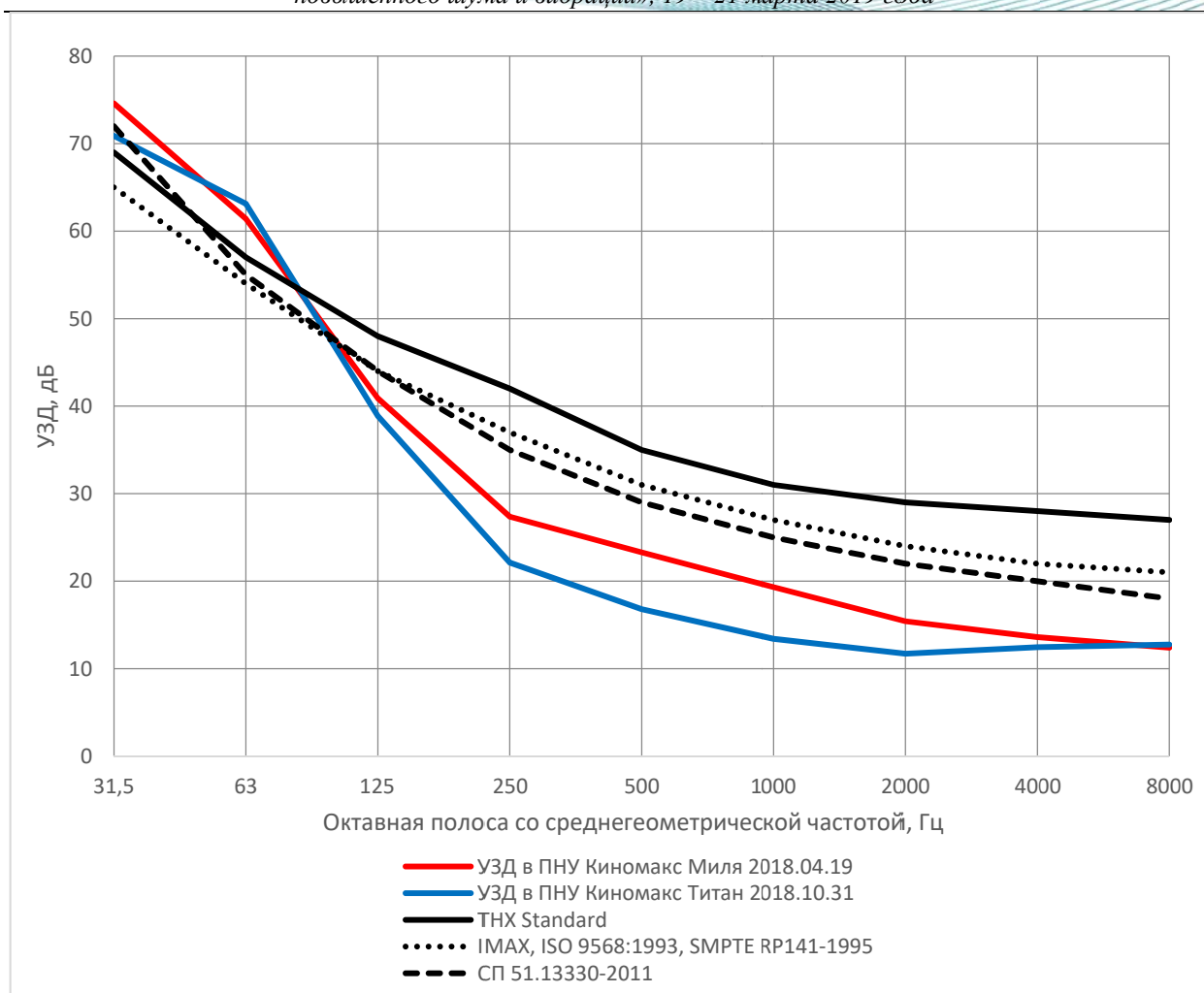


Рис. 3. УЗД в ПНУ при воспроизведении трейлера в соседнем кинозале

2.2.3. Ослабление шума перегородкой между ПВУ и ПНУ

Ослабление шума (NR) перегородкой между кинозалами определяется соотношением:

$$NR = L_{m1} - L_{m2}, \quad (1)$$

Результаты расчётов в октавных полосах частот для различных типов источников и сигналов представлены на рис. 4, где также выполнено сравнение с требованиями нормативных документов [4], [7].

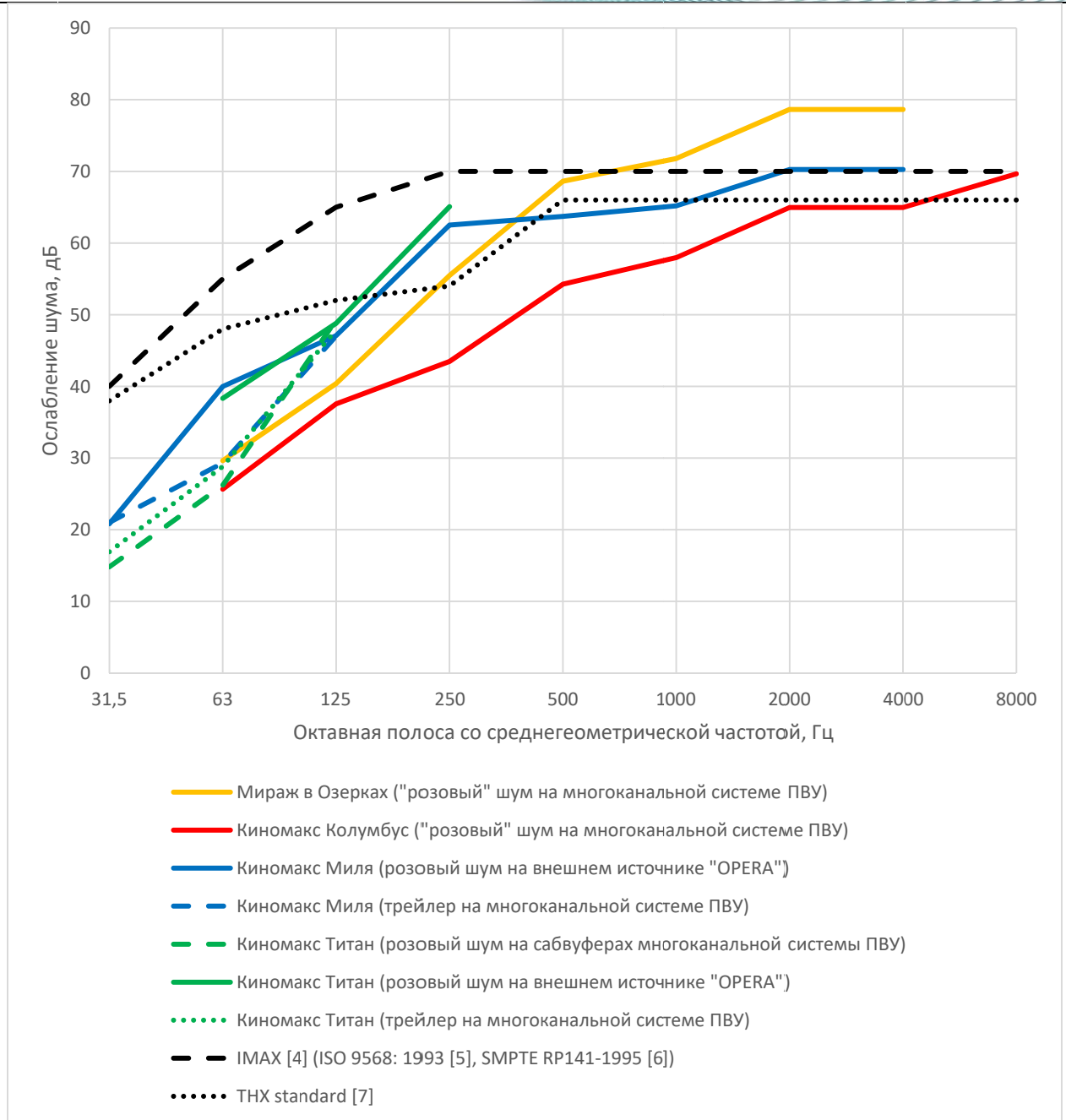


Рис. 4. Измеренное ослабление шума перегородкой в мультимплексах

Отсутствующие участки графиков ослабления на рис. 4 обусловлены высокой изоляцией перегородки и недостаточным уровнем полезного сигнала. Ослабление шума между залами в октавных полосах с $f_{с.г.} = 31,5; 63$ и 125 Гц не удовлетворяет требованиям Международного Стандарта [5] и документов [4, 6] для всех рассматриваемых случаев.

2.2.4. Изоляция воздушного шума перегородкой между ПВУ и ПНУ

На рис. 4 видно, что в натуральных условиях не всегда удаётся получить УЗД в ПНУ, достаточные для определения изоляции воздушного шума перегородкой между двумя кинозалами. Причины невозможности получения достоверных данных:

- Высокая изоляция воздушного шума перегородкой;
- Ограниченная мощность источника звука ПВУ;

- Высокие фоновые шумы ПНУ, обусловленные работой систем вентиляции ПНУ и/или здания.

Из рассматриваемых серий измерений только один случай из четырёх позволяет определить изоляцию воздушного шума в нормируемом и расширенном диапазонах частот (в третьоктавных полосах с $f_{с.г.} = 50 - 5000$ Гц). В [2] определена изоляция воздушного шума в нормируемом и расширенном диапазонах частот, а также соответствующие одночисловые параметры.

2.2.5. Оценка влияния закрепления и размещения источника ПВУ на изоляцию воздушного шума между кинозалами

В обследуемых ПВУ, как большинстве современных кинозалов, используется многоканальная система звукоусиления. Системы рассматриваемых ПВУ состоят из мониторов, жёстко закреплённых на стенах, и сабвуферов, установленных за звукопроницаемым экраном. Рассмотрим возможность использования акустической системы кинозала для измерений ослабления шума и изоляции воздушного шума с целью получения достоверных результатов. На рис. 5 приведены результаты измерений ослабления шума на внешнем источнике и на акустической системе ПВУ для различных типов сигналов в третьоктавных полосах.

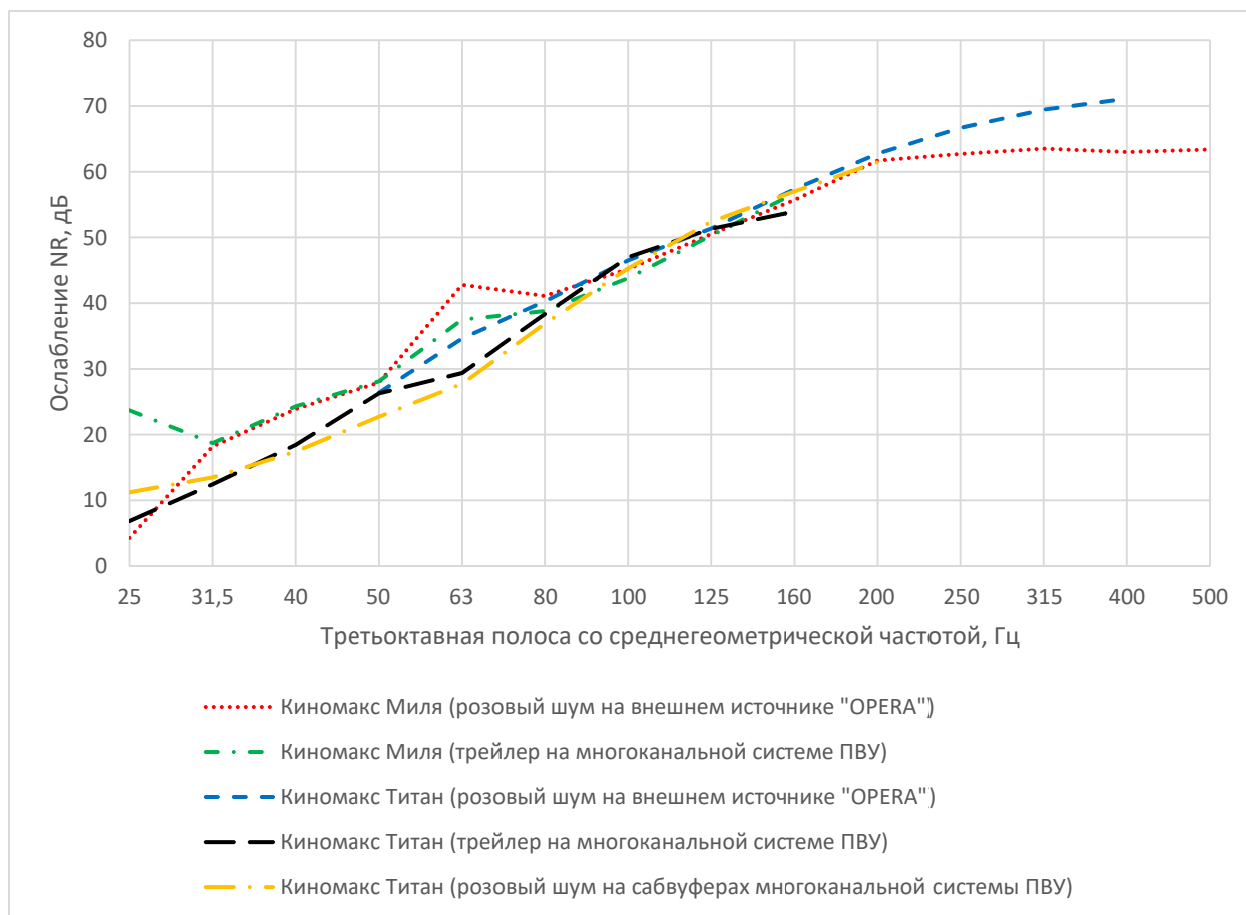


Рис. 5. Измеренное ослабление шума перегородкой

В случае использования акустических мониторов, закреплённых к перегородке, разделяющей ПВУ и ПНУ, для измерений ослабления шума и изоляции воздушного шума перегородкой способ закрепления может влиять на полученные результаты. Это обусловлено возможным возбуждением мониторами многоканальной акустической системы кинозала вибрации и структурного шума на конструкции перегородки.

Результаты и сравнительный анализ, представленный на рис. 5 свидетельствуют, что для оценки звукоизоляционных свойств перегородок в низкочастотном диапазоне (октавные полосы с $f_{с.г.} = 31,5-125$ Гц) допустимо использовать как внешний источник, так и многоканальную акустическую систему одного из залов с воспроизведением сигнала «розовый» шум или рекламного трейлера. При выборе типа источника и сигнала приоритетным является максимальный уровень звука в рассматриваемой октавной или третьоктавной полосе, позволяющий получить наилучшее соотношение сигнал/фоновый шум в ПНУ.

2.2.6. Оценка снижения проникающего шума из одного кинозала во второй за счёт увеличения фонда звукопоглощения в области низких частот

В формуле 1 ослабление шума определяется разностью УЗД в ПВУ и ПНУ. При воспроизведении трейлера УЗД в ПВУ определяются следующими факторами:

- спектральный характер трейлера (зависит от изготовителя трейлера);
- уровень звука (определяется кинотехником, как правило, не меняется).
- акустическая отделка ПВУ.

Если первые две составляющие носят непостоянный характер, то акустическая отделка постоянна, оценка данного фактора на NR представляет интерес.

В рамках настоящей работы время реверберации в ПВУ не измерялось. На рис. 6 приведены измеренные значения реверберации в ПНУ.

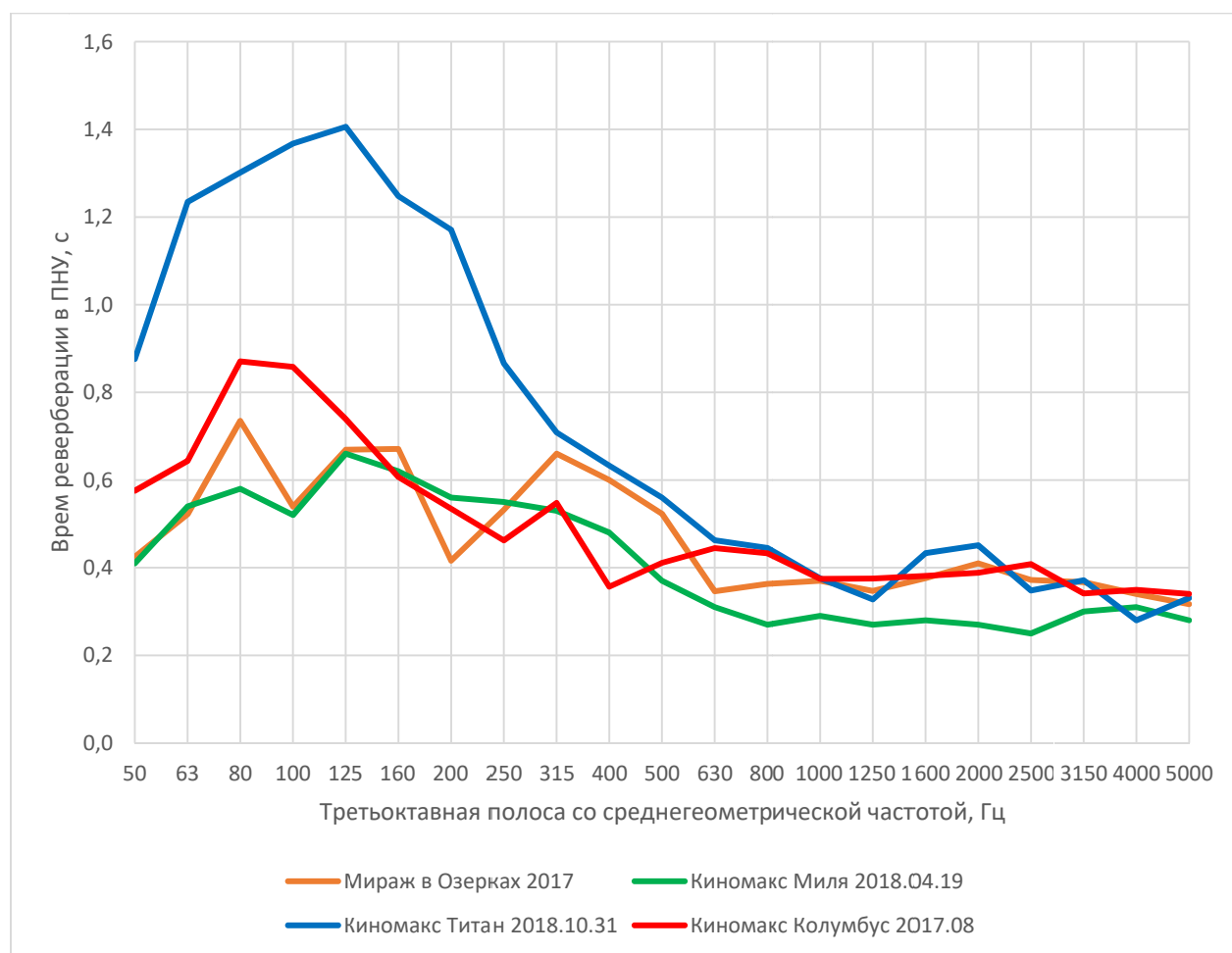


Рис. 6. Измеренное время реверберации в ПНУ

ПВУ и ПНУ - кинозалы схожих объёмов и отделки. Для оценочных расчётов настоящего раздела время реверберации в ПВУ принимается равному времени реверберации в ПНУ. Из графиков рис. 7 видно, что время реверберации в области низких частот выше, чем в областях средних и высоких частот, что является общей тенденцией для всех рассматриваемых кинозалов.

На рис. 7 рассматривается кривая с наибольшим дисбалансом измеренных значений (Киномакс Титан 2018.10.31) и приведены соответствующие требования из [4].

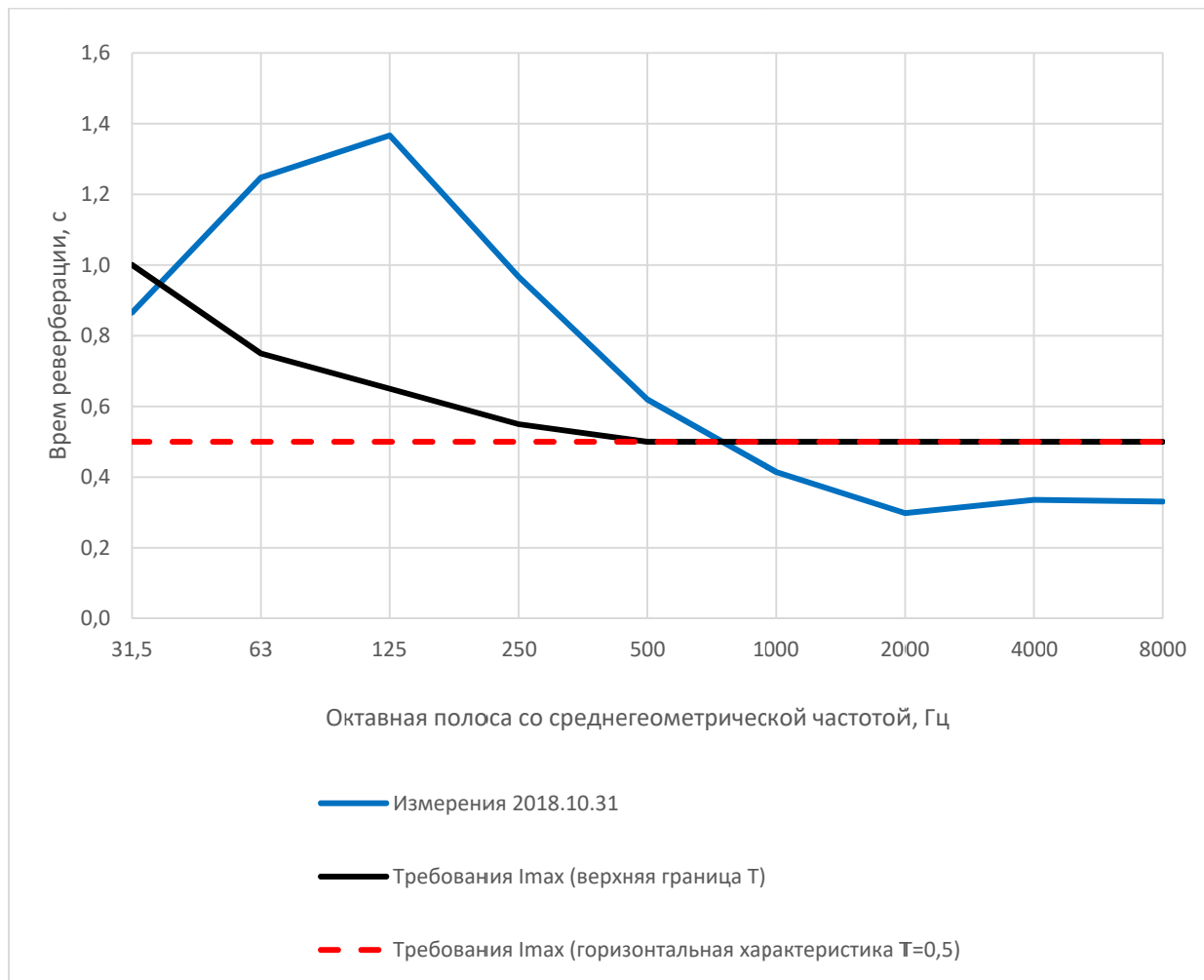


Рис. 7. Время реверберации в кинозалах «Киномакс Титан»

На рис. 7 видно, что измеренные значения времени реверберации превышают рекомендованные в октавных полосах с $f_{с.г} = 31,5 - 500$ Гц. Объем каждого из залов составляет около 1480 м^3 , а площадь внутренних поверхностей около 845 м^2 . Оценим влияние реверберации залов на ослабление шума NR между двумя рассматриваемыми кинозалами для модели измерений согласно [8] и трёх случаев, соответствующих значениями времени реверберации рис. 7. Расстояние между источником и микрофоном ПВУ принимается равным 5 м.

Октавные уровни звукового давления в расчетной точке ПВУ $L_{\text{ПВУ}}$, дБ, определяются по формуле [9]

$$L = L_w + 10 \lg \left(\frac{\chi \Phi}{\Omega r^2} + \frac{4}{k B} \right), \quad (2)$$

где L_w - октавный уровень звуковой мощности, дБ; χ - коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля; Φ - фактор направленности источника шума; Ω -

пространственный угол излучения источника, рад; r - расстояние от акустического центра источника шума до расчетной точки, м; k - коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении; B - акустическая постоянная помещения, м^2 , определяемая по формуле

$$B = \frac{A}{1 - \alpha_{\text{ср}}}, \quad (3)$$

где A - эквивалентная площадь звукопоглощения, м^2 , определяемая по формуле

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i + \sum_{j=1}^m A_j n_j, \quad (4)$$

где α_i - коэффициент звукопоглощения i -й поверхности; S_i - площадь i -й поверхности, м^2 ; A_j - эквивалентная площадь звукопоглощения j -го штучного поглотителя, м^2 ; n_j - число штучных поглотителей; $\alpha_{\text{ср}}$ - средний коэффициент звукопоглощения, определяемый по формуле

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{A}{S_{\text{огр}}}, \quad (5)$$

где $S_{\text{огр}}$ - суммарная площадь ограждающих поверхностей помещения, м^2 .

Октавные уровни звукового давления проникающего шума в ПНУ $L_{\text{ПНУ}}$, дБ, согласно п. 7.8 [10] определяются по формуле:

$$L = L_{\text{ш}} - R + 10 \lg S - 10 \lg B_{\text{и}} - 10 \lg k, \quad (6)$$

где $L_{\text{ш}}$ - октавный уровень звукового давления в помещении с источником шума на расстоянии 2 м от разделяющего помещения ограждения, дБ; R - изоляция воздушного шума ограждающей конструкцией, через которую проникает шум, дБ; S - площадь ограждающей конструкции, м^2 ; $B_{\text{и}}$ - акустическая постоянная изолируемого помещения, м^2 ; k - то же, что и в формуле (2).

Акустическая отделка ПВУ и ПНУ при неизменной акустической мощности источника влияет на УЗД в кинозалах. Данное влияние определяется членами $10 \lg(\chi \Phi / (\Omega^2 r^2) + 4 / (k B))$ и $-10 \lg(B_{\text{и}})$ в ПВУ и ПНУ соответственно. В табл. 2 и 3 рассчитаны соответствующие значения.

Таблица 3

Поправки для УЗД в ПВУ за счёт акустической отделки

Октавная полоса со среднегеометрической частотой, Гц	10*lg($\chi \Phi / (\Omega^2 r^2) + 4 / (k B)$), дБ, для времени реверберации			Поправка $\Delta L_{\text{ПВУ}} = L_{\text{ПВУ изм}} - L_{\text{ПВУ треб}}$, дБ	
	Измерения	Требования I max		Требования I max	
		верхняя граница T	горизонтальная характеристика T=0,5 с	верхняя граница T	горизонтальная характеристика T=0,5 с
31,5	-21,6	-20,3	-18,9	1,4	-1,8
63	-18,6	-17,9	-20,9	-3,0	-4,7
125	-18,1	-17,5	-22,0	-4,5	-5,5
250	-20,0	-19,0	-22,6	-3,6	-3,9
500	-24,4	-22,2	-23,0	-0,8	-0,8
1000	-27,7	-23,9	-23,0	0,9	0,9
2000	-30,4	-24,8	-23,0	1,8	1,8
4000	-29,3	-24,5	0,50	3,6	3,6
8000	-29,4	-24,5	0,50	3,7	3,7

Таблица 4

Поправки для УЗД в ПНУ за счёт акустической отделки

Октавная полоса со среднегеометрической частотой, Гц	-10*lg(B _ш), дБ, для времени реверберации			Поправка $\Delta L_{\text{ПНУ}} = L_{\text{ПНУ изм}} - L_{\text{ПНУ Треб}}$, дБ,	
	Измерения	Требования I _{тах}		Требования I _{тах}	
		верхняя граница T	горизонтальная характеристика T=0,5 с	верхняя граница T	горизонтальная характеристика T=0,5 с
31,5	-26,1	-25,2	-30,3	0,9	-4,3
63	-23,9	-27,0	-30,3	-3,1	-6,4
125	-23,4	-28,1	-30,3	-4,7	-6,9
250	-25,4	-29,4	-30,3	-4,1	-4,9
500	-28,4	-30,3	-30,3	-1,9	-1,9
1000	-32,5	-30,3	-30,3	2,2	2,2
2000	-41,2	-30,3	-30,3	10,8	10,8
4000	-36,3	-30,3	-30,3	6,0	6,0
8000	-36,7	-30,3	-30,3	6,4	6,4

Полученные в табл. 2 и 3 поправки к УЗД в ПВУ и ПНУ характеризуют влияние акустической отделки и прибавляются к соответствующим УЗД в ПВУ и ПНУ при воспроизведении трейлера на многоканальной системе ПВУ. На рис. 8 приведены расчётные УЗД в ПНУ для трёх вариантов акустической отделки в октавных полосах с $f_{с.г.} = 31,5-125$ Гц, которые сравниваются с требованиями нормативных документов.

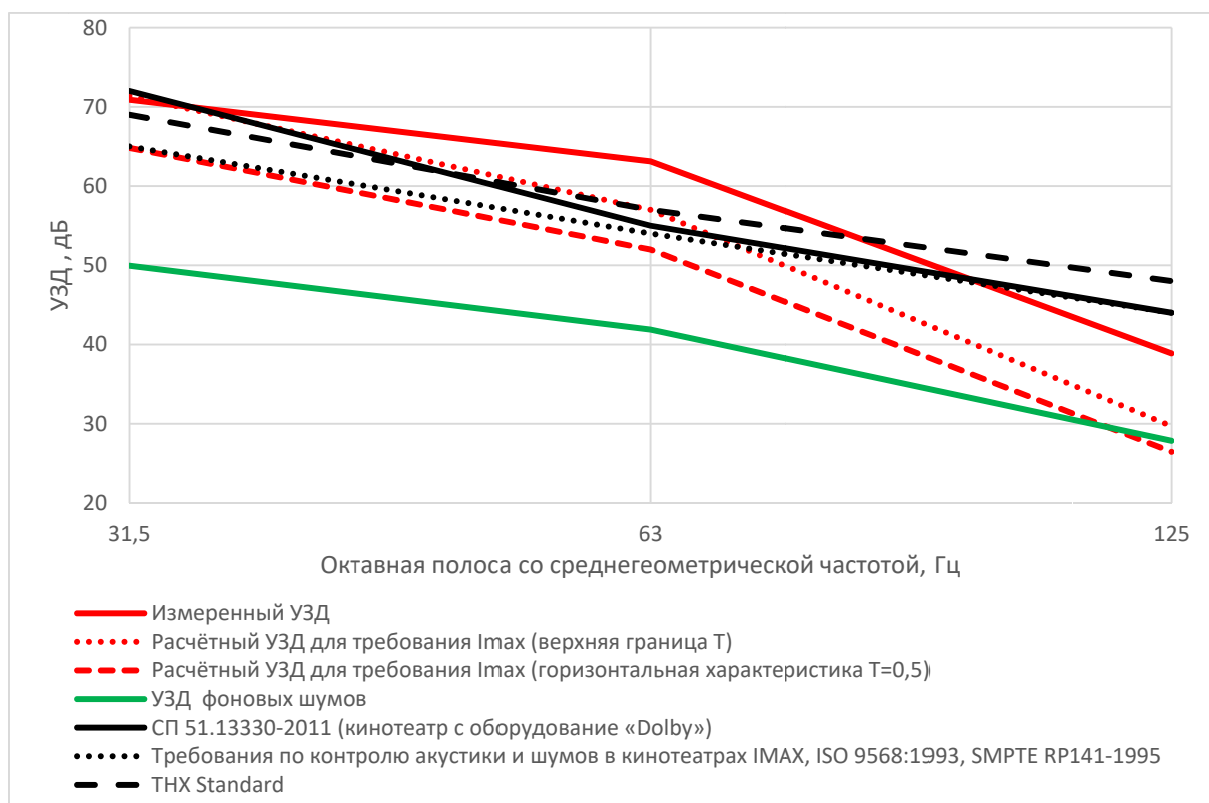


Рис. 8. УЗД в ПНУ

Увеличение фонда звукопоглощения в области низких частот позволяет снизить уровень проникающего шума до 9 дБ в отдельных полосах частот, что в рассматриваемом

случае достаточно, чтобы удовлетворить требованиям нормативных документов. При этом время реверберации удовлетворяет требованиям стандарта [4].

Заключение

Установлено, что характер звука трейлера, воспроизводимого на многоканальной акустической системе кинозала ближе к спектру №2, чем спектру №1 ГОСТ Р 56769-2015. Для одночисловой оценки рекомендуется применять член спектральной адаптации S_{tr} . Вместе с тем в работе [2] показано, что лучшую оценку снижения уровня звука А дает использование спектра $S_{50-5000}$.

Выполненными экспериментальными исследованиями установлен дефицит изоляции воздушного шума перегородкой, а также превышение предельно допустимых уровней проникающего звука трейлера из одного кинозала в другой относительно действующих нормативно технических документов. Показано, что наиболее проблемным диапазоном частот является низкочастотный диапазон (октавные полосы с $f_{с.г.} = 31,5-63$ Гц), что наглядно свидетельствует о необходимости повышения звукоизолирующих свойств перегородок особенно в низкочастотном диапазоне.

Для оценки звукоизоляционных свойств перегородки в области низких частот (октавные полосы с $f_{с.г.} = 31,5-125$ Гц) допустимо использовать как внешний источник, так и многоканальную систему кинозала с подачей сигналов «розовый» шум, трейлер. Фактор закрепления части мониторов многоканальной системы на тестируемой конструкции не влияет на полученные результаты в октавных полосах с $f_{с.г.} = 31,5-125$ Гц.

Рассмотрено влияние акустической отделки на уровень проникающего шума из одного кинозала в другой. Выполнена расчётная оценка снижения уровня проникающего шума для одной из пар кинозалов, обусловленная увеличением фонда звукопоглощения в октавных полосах с $f_{с.г.} = 31,5-125$ Гц. На рис. 8 показана важность обеспечения высокого уровня фонда звукопоглощения в области низких частот в кинозалах мультимплексов с целью снижения уровней проникающего шума из одного кинозала в другой.

Список литературы

1. ГОСТ Р 56769-2015 (ИСО 717-1:2013) Здания и сооружения. Оценка звукоизоляции воздушного шума, Москва, Стандартинформ, 2016 – 10 с.
2. Цукерников И.Е., Фадеев А.С. Оценка изоляции шума преградой между двумя кинотеатральными залами // Бюллетень строительной техники, БСТ.
3. СП 51.13330-2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003, Минрегион России, 2010. – 7 с.
4. IMAX. Требования по контролю акустики и шумов в кинотеатрах, Миссиссауга, Онтарио – 2002, 5-6 с.
5. ISO 9568:1993 Cinematography - Background acoustic noise levels in theatres, review rooms and dubbing rooms, ISO, Geneva, Switzerland, 1993.
6. Society of Motion Picture and Television Engineers, SMPTE RP 141, Background Acoustic Noise Levels in Theatres and Review Rooms, 1995
7. THX tech pages. THX. (2012). Retrieved February 13, 2012 [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.cinemaequipmentsales.com/athx2.html>
8. ГОСТ Р 56769-2015 (ИСО 717-1:2013) Здания и сооружения. Оценка звукоизоляции воздушного шума, Москва, Стандартинформ, 2016 – 10 с.
9. СНиП 23-03-2003 «Защита от шума», Минрегион РФ, 2010. – 38 с.