

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

УДК 725.81:534

Ю. И. ИСАКОВ, аспирант кафедры архитектуры; Е. Н. ЛИХАЧЕВ, науч. руководитель, канд. архитектуры, доц., зав. кафедрой архитектуры

ВЛИЯНИЕ ПРОСТЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ НА АКУСТИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО ЗРИТЕЛЬНОГО ЗАЛА

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств имени А. Д. Крячкова»

Россия, 603099, г. Новосибирск, Красный проспект, д. 38. Тел.: (383) 209-17-50; эл. почта: st18.y.isakov@nsuada.ru; lixachev@nsuada.ru

Ключевые слова: архитектурная форма, зрительный зал, звуковое поле, акустические параметры.

Приводятся результаты теоретических исследований параметров звукового поля зрительных залов 4 простых архитектурных форм: прямоугольной, веерной, обратного веера и многоугольной. В исследовании доказываемся, что время реверберации, рассчитанное на основе статистической теории, не может быть достоверным критерием акустического качества, так как в большой степени форма влияет на параметры звукового поля зрительного зала.

1. Введение

Архитектурное проектирование зрительного зала начинается с выбора объемно-планировочного решения [1, с. 46]. Форма ограждающих поверхностей отвечает за формирование отражений, которые вместе с прямым звуком формируют звуковое поле аудитории. В практике архитектурного проектирования формы ограждающих поверхностей используется геометрическое построение звуковых лучей с одним отражением (или отражением первого порядка) по методу мнимых источников [2, с. 56]. В начале XX века У. Сабин предложил формулу для расчета времени реверберации. На практике пользуются усовершенствованной формулой Эйринга. У. Сабин также отмечал, что существует понятие оптимального времени реверберации, которое уже субъективно и различно для разных жанров [3, с. 74]. В отечественном своде правил [4], основанных на трудах советских и российских ученых [5], приводится рекомендуемое время реверберации в зависимости от объема зрительного зала и жанра, которое остается самым важным критерием качества акустики залов для экспертов проекта. Однако М. Ю. Ланэ, Х. А. Щиржецкий [6] и другие российские ученые использовали для оценки акустического качества залов еще такие энергетические критерии, как индекс прозрачности S_{80} и пространственного впечатления LE . В наше время приняты международные стандарты, в которых качество акустики зрительного зала оценивается по параметрам звукового поля аудитории, коррелирующими с субъективным восприятием звука слушателями. Контроль параметров звукового поля осуществляется по импульсному отклику помещения [7]. К объективным параметрам относятся: T_{20} (T_{30}) – время реверберации, значение которого вычисляется по времени затухания энергии импульсного отклика на 20 дБ

(от -5 до -25 дБ) или на 30 дБ (от -5 до -35 дБ). К основным параметрам, которые описывают субъективное восприятие, относятся: *Early Decay Time, EDT* – время раннего затухания или субъективно воспринимаемая реверберация [8]; *Definition, D50* – четкость речи; *Clarity, C80* – прозрачность музыки; *Lateral Fraction, LF* – доля боковой составляющей энергии ранних отражений и *Sound Strength, G* – сила звука [9]. В нашем исследовании используется еще один параметр: *Speech Transmission Index (STI)* – индекс разборчивости речи [10].

В исследованиях последних лет широко применяются методы компьютерного акустического моделирования, которые позволяют с большей достоверностью учесть форму в оценке акустического качества проектируемых залов, чем статистическая теория [11, 12, 13, 14]. Однако исследуются в основном прямоугольные и веерные формы. В практике архитектурного проектирования зрительных залов в Сибири, кроме классических форм, были использованы: форма многоугольника – Большой зал Томской филармонии [15] (рис. 1а цв. вклейки) и форма обратного веера – Большой зал Омской филармонии [16] (рис. 1б цв. вклейки). Объект исследования – звуковое поле зрительного зала (аудитории).

Цель исследования: изучить влияние формы зрительного зала на параметры звукового поля (акустическое качество зрительного зала).

2. Методика исследований

Исследования проведены методом компьютерного акустического моделирования с помощью программы *EASE 4.4* с модулем *AURA4*. Построены 4 модели зрительного зала с плоским полом с формами аудиторий: *Rectangular-R*, прямоугольника, *Fan-F*, веера, *Fan Revers – FR*, обратного веера, *Polygon – P*, многоугольника (рис. 2 и 3 цв. вклейки). Все залы имеют одинаковую длину 30 м. Площадь аудитории равна площади пола и выдерживается одинаковой во всех моделях, $S_{as} = 690 \text{ м}^2$. В соответствии с архитектурными нормами вместимость этих аудиторий около 860 мест. При высоте $H = 10 \text{ м}$ и плоским полом удельный объем на одного слушателя составляет $8,0 \text{ м}^3$. Источник звукового сигнала, $S1$ – пульсирующая сфера, расположенная у фронтальной стены на высоте 2,5 м от пола (1 м – обычная высота сцены и 1,5 м – положение источников от пола сцены) таким образом, что излучение происходит только в полусферу. Высота расположения органов слуха слушателей в креслах составляет 1,2 м от пола. Слушательские места во всех формах аудитории заняты, кресла средне-мягкие. Коэффициент звукопоглощения слушателей в креслах на средних частотах (500–1000 Гц) равен 0,815 [17, с. 662]. Звукопоглощающие поверхности имеют стопроцентное звукопоглощение во всем диапазоне частот. Отражающие поверхности имеют звукопоглощение 10 % во всем диапазоне частот. Дополнительно исследуются залы с наклонным полом аудитории А+ (рис. 2в цв. вклейки). Удельный объем на одного слушателя в этом случае составляет 6 м^3 . Модели 4 форм с плоским полом представлены на рис. 3 цв. вклейки.

3. Влияние боковых ограждающих поверхностей на параметры звукового поля

Роль боковых ограждающих поверхностей очень важна для формирования боковых ранних отражений, поэтому их влияние изучено отдельно. Данные, полученные в результате расчета и моделирования при отражающих только боковых поверхностях, приведены в табл. 1.



Таблица 1

Данные расчетов и моделирования для 4 форм аудиторий при отражающих только боковых поверхностях

Параметры звукового поля аудиторий		Форма аудитории			
		прямо- угольник R_w	веер F_w	веер обрат- ный FR_w	много- уго- льник P_w
Эйринг. Время реверберации	RT_{60} , с (500–1 000 Гц)	0,36	0,37	0,36	0,39
Время раннего затухания	EDT , с (500–1 000 Гц)	0,85	0,42	0,83	0,35
Время реверберации	T_{20} , с (500–1 000 Гц)	1,19	0,37	0,74	1,16
Четкость речи	D_{50} , % (500–1 000 Гц)	84,1	95,6	84,6	94,8
Прозрачность музыки	C_{80} , дБ (500–1 000 Гц)	10,8	22,4	11,8	18,5
Доля боковой составляющей	LF , % (125–1 000 Гц)	20,4	14,7	22,6	20,1
Сила звука	G , дБ	-0,1	0,01	-0,6	0,3
Индекс разборчивости речи	STI	0,79	0,87	0,80	0,87

Время реверберации RT_{60} рассчитано по формуле Эйринга. У прямоугольника, веера и обратного веера значения близки, а у многоугольника на 8 % больше, чем у прямоугольника, поэтому на графиках приводятся кривые времени реверберации прямоугольника RT_{60R_w} и многоугольника RT_{60P_w} (рис. 4 цв. вклейки).

Графики (рис. 4 цв. вклейки) показывают, что форма боковых поверхностей имеет значительное влияние на время реверберации: параллельные (прямоугольник) и сужающиеся (обратный веер), отражающие боковые поверхности, значительно увеличивают время раннего затухания EDT_w , по сравнению с RT_{60R_w} на всех частотах. Расширяющиеся (веер) и ломаные в плане (многоугольник) боковые поверхности в меньшей степени влияют на время раннего затухания EDT_w . Значения последних близки к результатам, полученным по статистической теории RT_{60R_w} . Время реверберации T_{20_w} у веера также близко к значению RT_{60R_w} , особенно на средних частотах. Но сужающиеся боковые поверхности увеличивают время реверберации T_{20_w} почти вдвое значений RT_{60R_w} . Параллельные отражающие боковые поверхности увеличивают время реверберации T_{20_w} более чем в три раза относительно статистического RT_{60R_w} во всем частотном диапазоне. Ломаные в плане (многоугольник) боковые поверхности увеличивают время реверберации T_{20_w} еще больше, чем параллельные, особенно на частотах ниже 500 Гц.

**К СТАТЬЕ Ю. И. ИСАКОВА, Е. Н. ЛИХАЧЕВА
«ВЛИЯНИЕ ПРОСТЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ НА АКУСТИЧЕСКОЕ
КАЧЕСТВО ЗРИТЕЛЬНОГО ЗАЛА»**



a

б

Рис. 1. Большие залы филармоний Сибири: *a* – зал Томской филармонии – многоугольник, проект В. Лутиковой и В. Лебедевой, ЦНИИЭП им. Мезенцева [15]; *б* – зал Омской филармонии – обратный веер, акустический проект Николааса Эдвардса, английская фирма “Acoustic dimensions” [16]

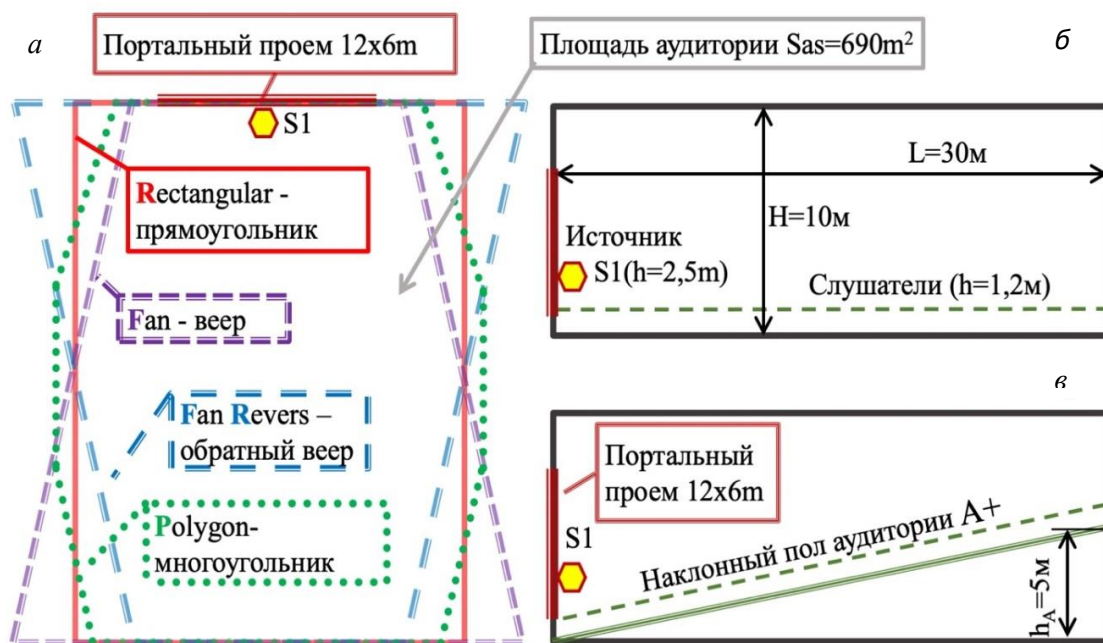


Рис. 2. Формы исследуемых аудиторий: *a* – планы аудиторий; *б* – продольный разрез аудиторий с плоским полом; *в* – продольный разрез аудиторий с наклонным полом

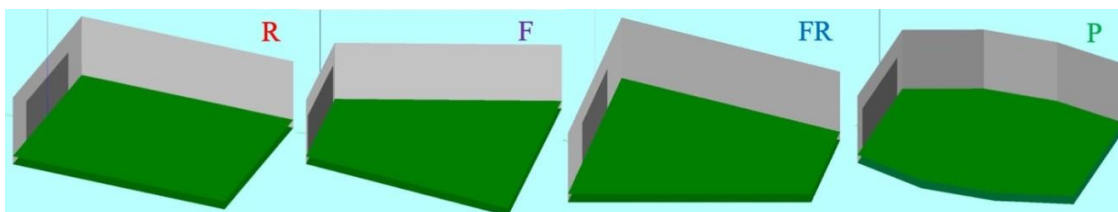


Рис. 3. Модели зрительных залов четырех форм с прямым полом: *R* – прямоугольник, *F* – веер, *FR* – обратный веер, *P* – многоугольник

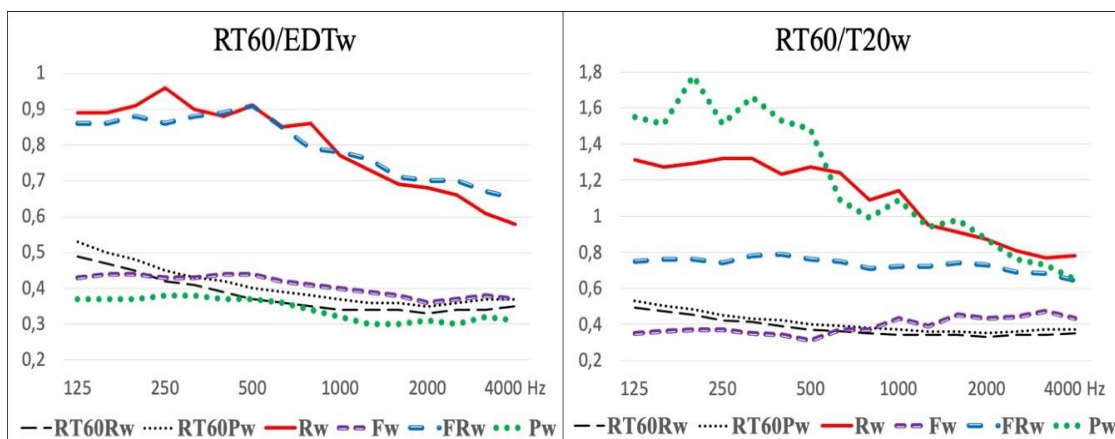


Рис.4. Графики зависимости значений времени реверберации RT_{60w} , EDT_w , T_{20w} от частоты у 4 форм аудиторий с отражающими боковыми стенами и прямым полом

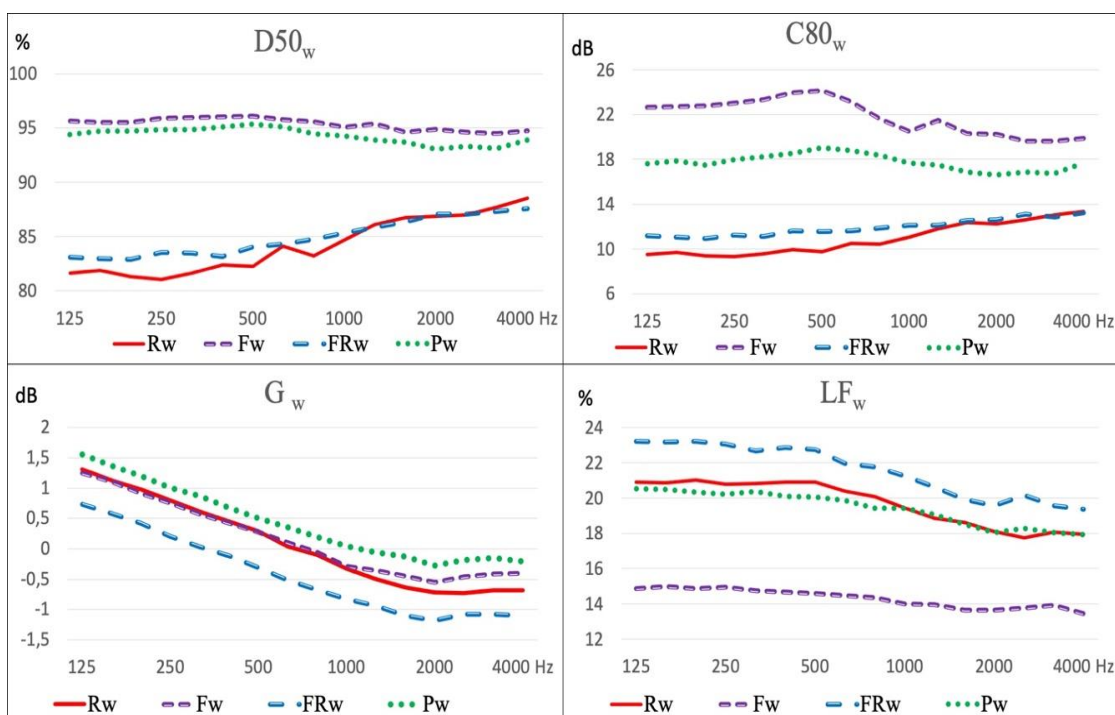


Рис. 5. Графики зависимости значений акустических параметров D_{50} , C_{80} , G , LF от частоты у 4 форм аудиторий с отражающими боковыми стенами и с прямым полом

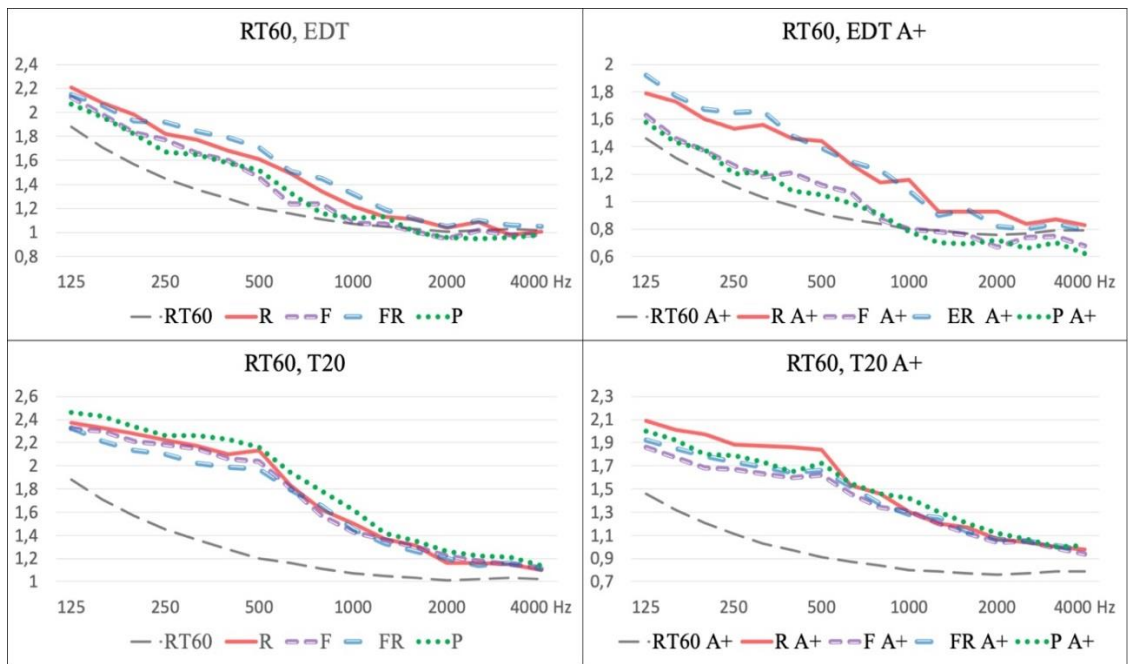


Рис. 6. Графики зависимости значений времени раннего затухания EDT и времени реверберации $T20$ от частоты для разных положений пола 4 форм аудиторий

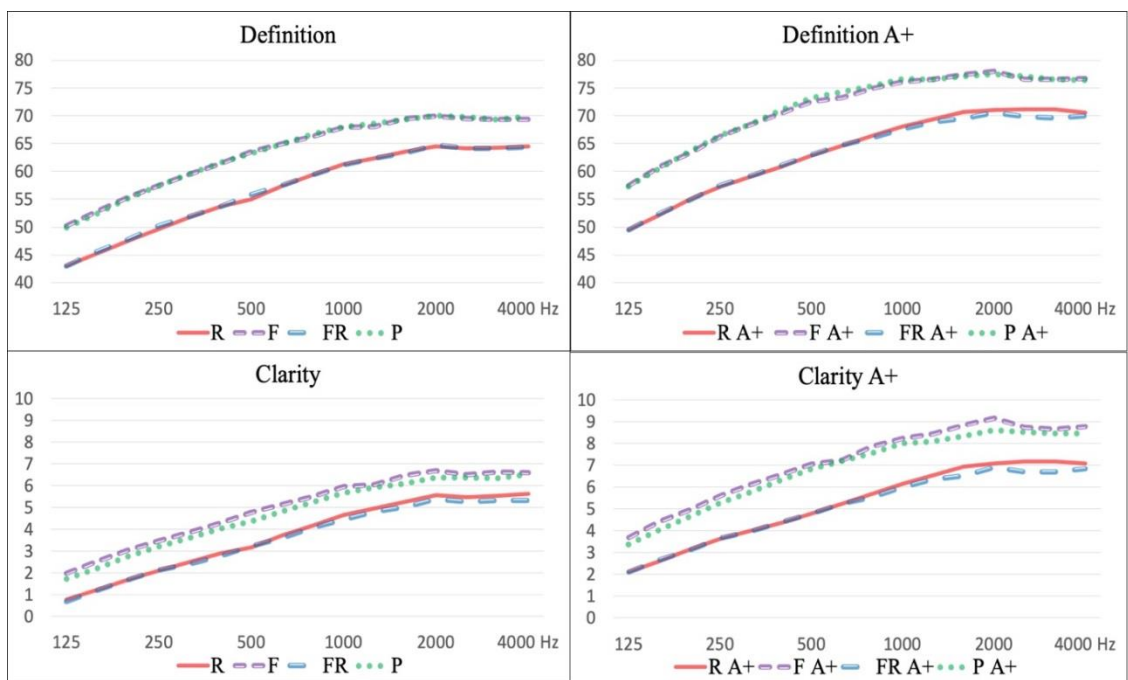


Рис. 7. Графики зависимости значений $Definition$ и $Clarity$ от частоты для разных положений пола четырех форм аудиторий

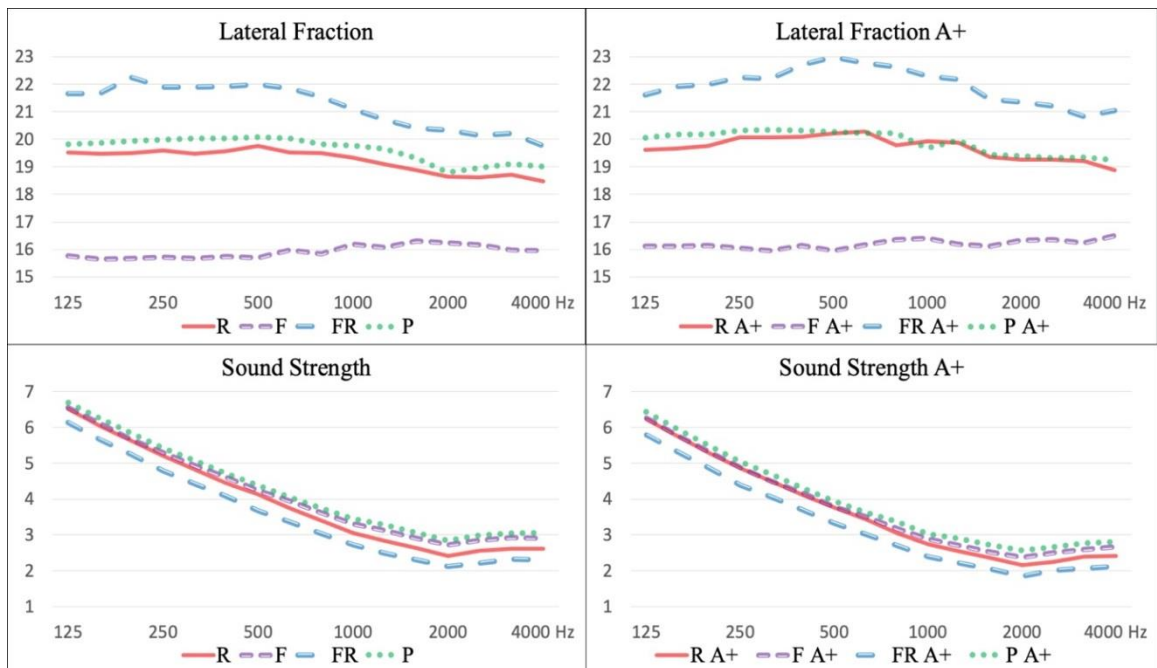


Рис. 8. Графики зависимости значений *Lateral Fraction* и *Sound Strength* от частоты для разных положений пола 4 форм аудиторий

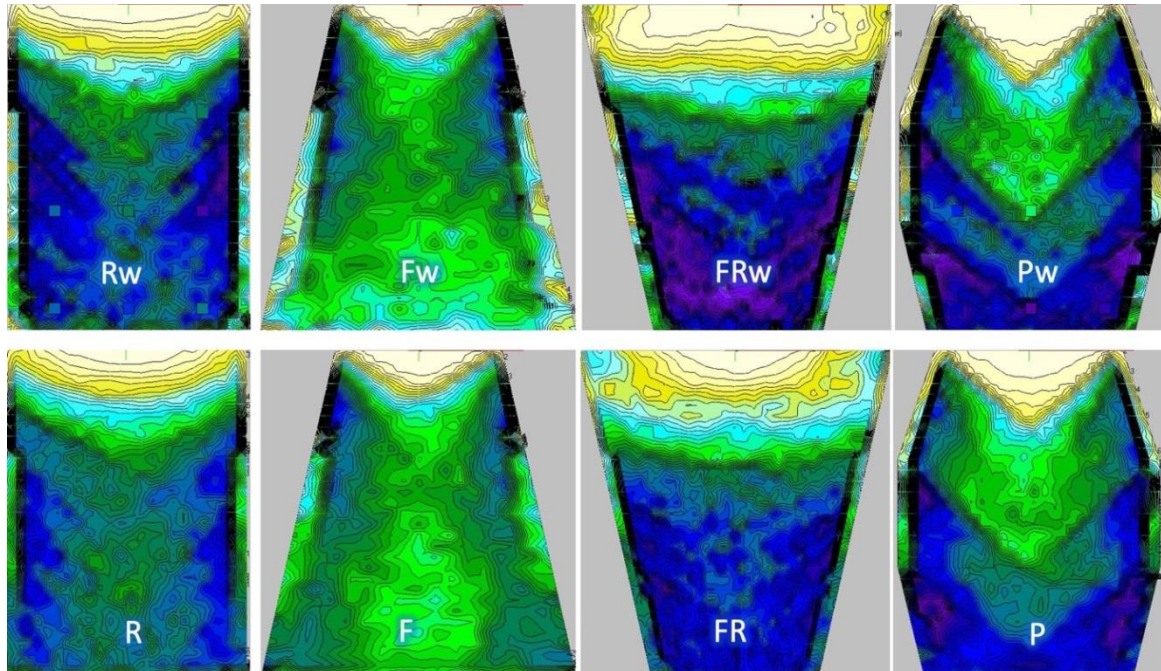


Рис. 9. Карты распределения значений *Lateral Fraction* по звуковому полю в октавной полосе 1 кГц для 4 форм аудиторий: *Rw*, *Fw*, *FRw*, *Pw* – отражающие только боковые стены; *R*, *F*, *FR*, *P* – отражающие потолок и все стены, кроме порталного проема



Четкость речи $D50w$ и прозрачность музыки $S80w$ значительно ниже у параллельных и сужающихся боковых отражающих поверхностей (рис. 5 цв. вклейки). У расширяющихся (веер) боковых поверхностей четкость речи и прозрачность музыки максимальна среди четырех форм. Ломаные в плане (многоугольник) боковые поверхности способствуют высокой четкости речи, как у веера, но прозрачность музыки немного меньше, чем у веера. Наибольшая сила звука Gw у ломаных в плане (многоугольник) боковых поверхностей (рис. 5 цв. вклейки), наименьшая – у сужающихся. Наибольшая боковая составляющая энергии отражений LFw у формы обратного веера, близкие значения – у прямоугольной и многоугольной аудитории. Наименьшее значение боковой составляющей LFw у расширяющихся (веер) боковых поверхностей. Индекс разборчивости речи выше у веера и многоугольника (табл. 1).

4. Расчет параметров звукового поля 4 форм аудиторий при отражающих всех поверхностях и при прямом и наклонном полу

Реально в зале может быть сцена, но необходимо, чтобы размеры порталного проема сцены были одинаковыми. Поэтому следующее исследование проводится со всеми отражающими поверхностями с порталным проемом 12×6 м. Референсными значениями являются $RT60$ (плоский пол) и $RT60A+$ (наклонный пол). Данные, полученные в результате расчетов, сведены в табл. 2 (жирным шрифтом выделены значения параметров для плоского пола). Для описанных условий расчетное время реверберации по формуле Эйринга $RT60$ на средних частотах одинаковое для четырех аудиторий с плоским полом (табл. 2). Однако время раннего затухания EDT у веерной аудитории на 11 % выше, чем $RT60$. И это минимальное отклонение. У прямоугольной аудитории EDT на 25 % выше, чем $RT60$. Максимальное значение EDT у аудитории с формой обратного веера FR на 32 % более, чем $RT60$, у многоугольника – превышение на 13 %. Для времени реверберации $T20$ максимальное превышение $RT60$ составило 64 % для многоугольной аудитории с плоским полом, минимальное значение на 51 % у веерной аудитории выше $RT60$. При наклоне пола аудиторий значение $RT60 A+$ уменьшилось в среднем на 25 % у всех форм аудиторий. Отклонения от среднего значения $RT60 A+$ у аудиторий форм прямого и обратного веера ± 3 %. Воспринимаемая реверберация $EDTA+$ имеет максимальное значение у прямоугольной аудитории и обратного веера на 46 % больше значения $RT60A+$. Минимальное значение $EDTA+$ наблюдается у многоугольной формы аудитории, на 9 % больше $RT60A+$. $EDTA+$ у прямого и обратного веера на 13 % и 10 % больше $RT60A+$, соответственно.

Время реверберации $T20A+$ имеет максимальное отклонение 80 % от значений $RT60A+$ у многоугольной аудитории. Минимальное отклонение составляет 68 % у веерной формы. Если сравнить среднее значение $T20$ для аудиторий с плоским полом с $T20$ аудиторий с наклонным полом, то разница составит 16 %.

В частотной области максимальное отклонение значений $T20$ от $RT60$ наблюдается на частоте 500 Гц (рис. 6 цв. вклейки). Время раннего затухания EDT , на 9–46 % и время реверберации $T20$, на 51–80 % выше значения $RT60$ на средних частотах у всех форм аудиторий. Что иллюстрирует значительную ошибку статистической теории.



Таблица 2

Параметры звукового поля аудиторий 4 форм, с отражающими поверхностями потолка и стен, с плоским и наклонным полом

Параметры звукового поля аудиторий		Форма аудитории			
		прямоугольная R/R A+	веер F/F A+	веер обратный FR/FR A+	многоугольник P/P A+
Эйринг. Время реверберации	<i>RT60</i> , с (500–1 000 Гц)	1,14/ 0,86	1,14/ 0,83	1,14/ 0,88	1,14/ 0,86
Время раннего затухания	<i>EDT</i> , с (500–1 000 Гц)	1,42/ 1,25	1,26/ 0,97	1,5 1,25	1,28/ 0,93
Параметры звукового поля аудиторий		Форма аудитории			
		прямоугольная R/R A+	веер F/F A+	веер обратный FR/FR A+	многоугольник P/P A+
Время реверберации	<i>T20</i> , с (500–1 000 Гц)	1,77/ 1,53	1,71/ 1,43	1,72 1,46	1,88 1,54
Четкость речи	<i>D50</i> , % (500–1000 Гц)	58,3/ 65,5	65,7/ 74,2	58,5/ 65,4	65,7 74,9
Прозрачность музыки	<i>S80</i> , дБ (500–1000 Гц)	3,9/ 5,5	5,3/ 7,6	3,8/ 5,4	5,0/ 7,4
Доля боковой составляющей	<i>LF</i> , % (125–1000 Гц)	19,5/ 19,9	15,8/ 16,1	21,8/ 22,3	19,9/ 20,2
Сила звука	<i>G</i> , дБ (500–1 000 Гц)	3,6/ 3,3	3,8/ 3,3	3,2/ 2,9	3,9/ 3,5
Индекс разборчивости речи	<i>STI</i>	0,62/ 0,66	0,65/ 0,70	0,62 0,66	0,65/ 0,70

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения параметров для плоского пола

Четкость речи *D50* (табл. 2) – наилучшая у веерной и многоугольной аудиторий, на 7,5 % (абсолютная величина) значения ниже у прямоугольной и обратного веера во всем диапазоне частот для плоского пола аудиторий (рис. 7 цв. вклейки). При наклоне пола наилучшая четкость наблюдается у многоугольной и веерной аудиторий на 9,4 и 8,7 % выше, чем у прямоугольной и обратного веера. При этом наклон пола улучшает четкость речи в среднем на 7 % (абсолютная величина). Слушатель отмечает изменение *D50* на 5 %, следовательно, веерная и многоугольная аудитории для слушателя будут предпочтительными.

Прозрачность музыки, *Clarity*, *S80* (табл. 2) наилучшая у веерной и многоугольной аудиторий, на +1,4 дБ и +1,1 дБ больше, чем у аудиторий прямоугольной и обратного веера, во всем диапазоне частот (рис. 7 цв. вклейки).



При наклоне пола общее значение S_{80} увеличивается на 1,5 дБ, однако, веерная многоугольная аудитории сохраняют преимущество +2,2 дБ и +1,9 дБ, по сравнению с прямоугольной и обратного веера у последних значения практически одинаковые. Слушатель замечает изменение прозрачности музыки на 1дБ. Следовательно, веерная и многоугольная аудитории для слушателя, который следит по партитуре, будут предпочтительными.

Боковая составляющая энергии ранних отражений, *Lateral Fraction, LF* (табл. 2) имеет максимальное значение у аудитории с формой обратного веера *FR*, (рис. 8 цв. вклейки). На 2,3 % выше, чем у прямоугольной аудитории. Минимальное значение *LF* у веерной аудитории на 3,7 % меньше, чем у прямоугольной аудитории. У многоугольной аудитории значение *LF* лишь на 0,4 % выше, чем у прямоугольной. Наклон пола аудиторий практически не повлиял на соотношение значений и их абсолютные значения. Однако на графике (рис. 8 цв. вклейки) видно, что у обратного веера происходит увеличение абсолютного значения *LF* в широкой полосе с центральной частотой 500 Гц при наклоне пола аудитории. Слушателю заметно изменение боковой составляющей на 5 %. Следовательно, слушатель услышит бóльшую объемность в аудитории с обратным веером, лишь сравнив с веерной аудиторией. Если сравнить карты звукового поля для значений *LF_w*, когда отражают только боковые стены, и для значений *LF*, когда отражают все стены и потолок (рис. 9 цв. вклейки), то обнаруживается сильное влияние на этот параметр боковых стен у всех форм аудиторий. У веера добавление отражений потолка и задней стены немного улучшает равномерность значений параметра *LF* по звуковому полю. Следует отметить, у всех форм аудиторий значения параметра *LF* резко снижаются на зрительских местах рядом с боковыми стенами. Поэтому рекомендуется организовывать проходы около боковых стен.

Сила звука, *Sound Strength, G* (табл. 2), наименьшее значение имеет у аудитории с формой обратного веера. Максимальное значение *G* – у многоугольной аудитории. При этом наклон пола аудитории приводит к общему понижению силы звука на 10 %. Но лидером остается многоугольная аудитория (рис. 8 цв. вклейки). Однако не всякий слушатель услышит разницу между аудиториями.

Разборчивость речи, *Speech Transmission Index, STI* (табл. 2), показывает, что по качественному показателю разборчивость речи «хорошая» у всех аудиторий. Однако наилучшая разборчивость речи у аудиторий с формами веера и многоугольника.

6. Выводы:

Время реверберации *RT60*, рассчитанное с помощью статистической теории, не может быть надежным критерием экспертной оценки качества акустических параметров зрительного зала.

Параметры, рассчитанные по импульсному отклику зала, приведенные в международных нормах ИСО 3382, в бóльшей степени соответствуют оценке акустического качества зрительного зала. Эти параметры характеризуют восприятие звука зрителем и зависят от формы зрительного зала. Оптимальные значения этих параметров зависят от жанра и достигаются совместной работой архитектора и акустика.

Результаты данного исследования могут быть также полезны архитекторам зрительных залов на этапе выбора формы.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковригин, С. Д. Архитектурно-строительная акустика : учебное пособие для вузов / С. Д. Ковригин. – Москва : Высшая школа, 1980. – 184 с. – Текст : непосредственный.
2. Макриненко, Л. И. Акустика помещений общественных зданий / Л. И. Макриненко. – Москва : Стройиздат, 1986. – 173 с. – Текст : непосредственный.
3. Sabine, W. C. Collected Papers on Acoustics / Sabine W. C. – London : Humphrey Milford Oxford University Press, 1922.
4. СП 51.13330.2011. Защита от шума : своды правил : издание официальное : утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 28 декабря 2010 г. N 825 : дата введения 2011-05-20 : актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084097?ysclid=lpqtwkdhdv561336590>. – Текст : электронный.
5. Lannie M., Architectural Acoustics in Russia / Lannie M., Sukhov V. // AES Presented at the 21-st Conference. – St. Petersburg, Russia, 2002.
6. Ланэ, М. Ю. Акустические характеристики классических концертных залов России / М. Ю. Ланэ, Х. А. Щиржецкий. – Текст : непосредственный // Акустический журнал. – 1992. – Том 38, № 6. – С. 1052–1056.
7. ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013. Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Часть 1. Зрительные залы : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 5 декабря 2013 г. N 2171-с : дата введения 2014-12-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108152?ysclid=lpqu62yid493902532>. – Текст : электронный.
8. Йордан, В. Акустическое проектирование концертных залов и театров / В. Йордан ; перевод с английского С. А. Хомутова. ; под редакцией Л. И. Макриненко. – Москва : Стройиздат, 1986. – 170 с. : ил. – Текст : непосредственный.
9. Barron, M. Measuring Acoustic Quality for Audience in Concert Halls / Barron M. // Paper 5th International Symposium on Temporal Design. – Sheffield, 2021.
10. ГОСТ Р ИСО 9921-2013. Эргономика. Оценка речевой связи : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 ноября 2013 г. N 1653-ст : дата введения 2014-12-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108195?ysclid=lpqupgnqyx151325505>. – Текст : электронный.
11. Klosak, A. Relationship Between Room Shape and Acoustics of Rectangular Concert Halls, Acoustics'08 / Klosak, A., Gade A. – Paris, 2008.
12. Канев, Н. Г. Реверберация в трапециевидном помещении / Н. Г. Канев. – Текст : непосредственный // Акустический журнал. – 2013. – Том 59, № 5. – С. 607–612.
13. Hidaka T. and Nishihara N. Acoustical Quality in Concert Halls as Related to Hall Shape: Shoebox, Surround, and other / Hidaka T., Nishihara N. // Psychomusicology : Music, Mind, and Brain. – 2015. – № 3. – P. 240–252.
14. Zhu X., Kang J., Ma H. The Impact of Surface Scattering on Reverberation Time in Differently Shaped Spaces // Applied Sciences. – 2020. – № 10. – 4880.
15. Томская филармония. Большой концертный зал. – URL: <https://tomskfil.ru/zali/bolshoj-konzertnyj-zal/> – Текст : электронный.
16. Омская филармония. Концертный зал. – URL: <https://omfil.ru/halls/concert-hall/>. – Текст : электронный.
17. Long, M. Architectural Acoustics / M. Long. – London : Elsevier Academic Press, 2006.



**ISAKOV Yuriy Iosifovich, postgraduate student of the chair of architecture;
LIKHACHYOV Evgeniy Nikolaevich, scientific supervisor, candidate of
architecture, associate professor, holder of the chair of architecture**

INFLUENCE OF SIMPLE ARCHITECTURAL SHAPES ON THE ACOUSTIC QUALITY OF THE AUDITORIUM

Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts named after A. D. Kryachkov
38, Krasny Prospekt, Novosibirsk, 603099, Russia. Tel.: +7 (383) 209-17-50;
e-mail: st18.y.isakov@nsuada.ru ; lixachev@nsuada.ru

Key words: architectural form, auditorium, sound field, acoustic parameters.

The article presents the results of theoretical studies of the sound field parameters of auditoriums of 4 simple architectural shapes: rectangular, fan, reverse fan, and polygonal. The study proves that the reverberation time, calculated based on statistical theory, cannot be a reliable criterion for acoustic quality, since, to a large extent, the shape affects the sound field parameters of the auditorium.

REFERENCES

1. Kovrigin S. D. Arkhitekturno-stroitel'nay akustika [Architectural - building acoustics]: ucheb.posobie dla vuzov. – Moscow : Vyschaya shkola, 1980. – 184 p.
2. Makrinenko L. I. Akustika pomescheniy obschestvennykh zdaniy [Public buildings room acoustics]. – Moscow : Stroyizdat 1986. – 173 p.
3. Sabine W. C. Collected Papers on Acoustics. London : Humphrey Milford Oxford University Press, 1922.
4. SP 51.13330.2011. Zashchita ot shuma [Sound protection] : svody pravil : utverzhd. prikazom Min-va regional. razvitiya RF (Minregion Rossii) ot 28 dekabrya 2010 g. N 825 : data vved. 2011-05-20 : aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP 23-03-2003. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084097?ysclid=lpqtwkdhdv561336590>.
5. Lannie M., Sukhov V. Architectural Acoustics in Russia. AES Presented at the 21-st Conference. St.Petersburg, Russia, 2002.
6. Lannie M. Yu., Schirzhetsky Kh. A. Akusticheskie kharakteristiki klassicheskikh kontsertnykh zalov Rossii [Acoustic Characteristics of Russian Classic Concert Halls]. Akusticheskiy Zhurnal [Acoustical Journal]. 1992. Vol. 38, № 6. P. 1052-1056.
7. GOST R ISO 3382-1-2013. Akustika. Izmerenie akusticheskikh parametrov pomescheniy. Chast 1. Zritelnye zaly [Acoustics. Measurement of room acoustic parameters. Part1. Performance spaces] : utverzhd. i vved. v deystvie Prikazom Federal. agent-va po tekhnich. regulir. i metrologii ot 5 dekabrya 2013 g. N 2171-s : data vved. 2014-12-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108152?ysclid=lpqu62yid493902532>.
8. Jordan V. L. Akusticheskoe proektirovanie kontsertnykh zalov i teatrov [Acoustical Design of Concert Halls and Theatres]. Per. s angl. S. A. Khomutova. Pod red. L. I. Makrinenko, Moscow : Stroyizdat, 1986. 170 p., il.
9. Barron M. Measuring Acoustic Quality for Audience in Concert Halls. Paper 5th International Symposium on Temporal Design, Sheffield, 2021.
10. GOST R ISO 9921-2013. Ergonomika. Otsenka rechevoy svyazi [Ergonomics. Assessment of speech communication] : utverzhd. i vved. v deystvie Prikazom Federal. agent-va po tekhnich. regulir. i metrologii ot 22 noyabrya 2013 g. N 1653-st : data vved. 2014-12-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108195?ysclid=lpqupnqyx151325505>.



11. Klosak A., Gade A. Relationship Between Room Shape and Acoustics of Rectangular Concert Halls, Acoustics'08. Paris, 2008.
12. Kanev N. G. Reverberatsiya v trapetsevidnom pomeschenii [Reverberation in trapezoidal room]. Akusticheskiy Zhurnal [Acoustical Journal]. 2013. Vol. 59, № 5. P. 607-612.
13. Hidaka T. and Nishihara N. Acoustical Quality in Concert Halls as Related to Hall Shape: Shoebox, Surround, and other. Psychomusicology: Music, Mind, and Brain. 2015. № 3. P. 240–252.
14. Zhu X., Kang J., Ma H. The Impact of Surface Scattering on Reverberation Time in Differently Shaped Spaces. Applied Sciences. 2020, № 10, 4880.
15. Tomskaya filarmoniya. Bolshoy kontsertny zal [Tomsk Philharmonic. Great concert hall]. URL: <https://tomskfil.ru/zali/bolshoj-konzertnyj-zal/>.
16. Omskaya filarmoniya. Kontsertny zal [Omsk Philharmonic. Concert hall]. – URL: <https://omfil.ru/halls/concert-hall/> Accessed 02 Sep. 2023.
17. Long M. Architectural Acoustics. London: Elsevier Academic Press, 2006.

© Ю. И. Исаков, Е. Н. Лихачев, 2023

Получено: 20.11.2023 г.