

ВИТРУВИЙ О ЗНАЧЕНИИ МУЗЫКИ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ АРХИТЕКТУРЫ ЗРИТЕЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА АНТИЧНОГО ТЕАТРА.

Часть II

Исаков Юрий Иосифович

аспирант.

Научный руководитель: кандидат архитектуры, доцент Е.Н. Лихачев.

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

Россия, Новосибирск, e-mail: isakoustik@gmail.com

УДК: 725.81

DOI: 10.47055/1990-4126-2021-1(73)-8

Аннотация

В наследии Витрувия указывается на значение музыки в совершенствовании архитектурной акустики античных театров. В частности, он подробно описал звучащие сосуды, или $\eta\chi\epsilon\iota\alpha$ - «голосники», об эффективности которых до сих пор ведутся дискуссии. Методами компьютерного моделирования исследуется влияние «голосников» на акустические параметры большого классического греческого античного театра. В создании моделей «голосников» учтены описания Витрувия и музыкальные теории Аристоксена и Пифагора. В исследовании используется программа EASE4.4, с помощью которой рассчитываются акустические параметры большого театра без «голосников» и с ними. Получен позитивный результат влияния «голосников» на акустические параметры C50, C80, STI звукового поля зрительного пространства античного большого театра.

Ключевые слова:

греческий античный театр, звучащие сосуды Витрувия, архитектурная акустика, управление звуковым полем, компьютерное акустическое моделирование

VITRUVIUS ON THE VALUE OF MUSIC IN ENHANCING THE ARCHITECTURE OF THE ANTIQUE THEATER'S AUDIENCE SPACE. Part 2.

Isakov Yuriy I.

Doctoral student.

Research supervisor: Associate Professor E.N. Likhachev, PhD. (Architecture)

Novosibirsk State University of Architecture, Design and Art.

Russia, Novosibirsk, e-mail: isakoustik@gmail.com

УДК: 725.81

DOI: 10.47055/1990-4126-2021-1(73)-8

Abstract

In Vitruvius' legacy, music is noted as being important for enhancing the architectural acoustics of ancient theaters. In particular, he described in detail the sounding vessels, or $\eta\chi\epsilon\iota\alpha$ ("echea"), the effectiveness of which still has not been proven. The effect of echea on the acoustic parameters of the great classical Greek theater is investigated using computer-modeling methods. These theater models take into account

the recommendations of Vitruvius and published data on the acoustic parameters of ancient theaters reconstructed in our time. The descriptions of Vitruvius and the musical theories of Aristoxenus and Pythagoras were also considered in the development of echea models. Using the standard algorithm of the EASE4.4 program, the parameters of the great theater were calculated with and without echea. Echea were found to produce a positive effect on the auditorium's sound field acoustic parameters C50, C80, and STI.

Keywords:

Greek antique theater, sounding vessels of Vitruvius, architectural acoustics, sound field control, computer acoustic modeling

Введение

Изобретение древних греков – звучащие бронзовые, медные или даже глиняные сосуды, или, как они их называли древние зодчие Греции, $\eta\chi\epsilon\iota\alpha$ – «голосники», Витрувий описал довольно подробно в V книге своего труда об архитектуре, а также их настройку и расположение в малом и большом театре. Но подтверждения использования звучащих сосудов для улучшения акустики античных театров довольно редки. В 1583 г. венецианский путешественник Онорио Белли в рукописи «История Кандии» описал один из театров Крита – античный театр Литта. Этот театр был самым большим театром Крита. По описанию Онорио Белли в нем использовалось три ряда по 13 бронзовых ваз [5, 11]. В изображении плана театра (рис. 1) указаны места расположения ваз.

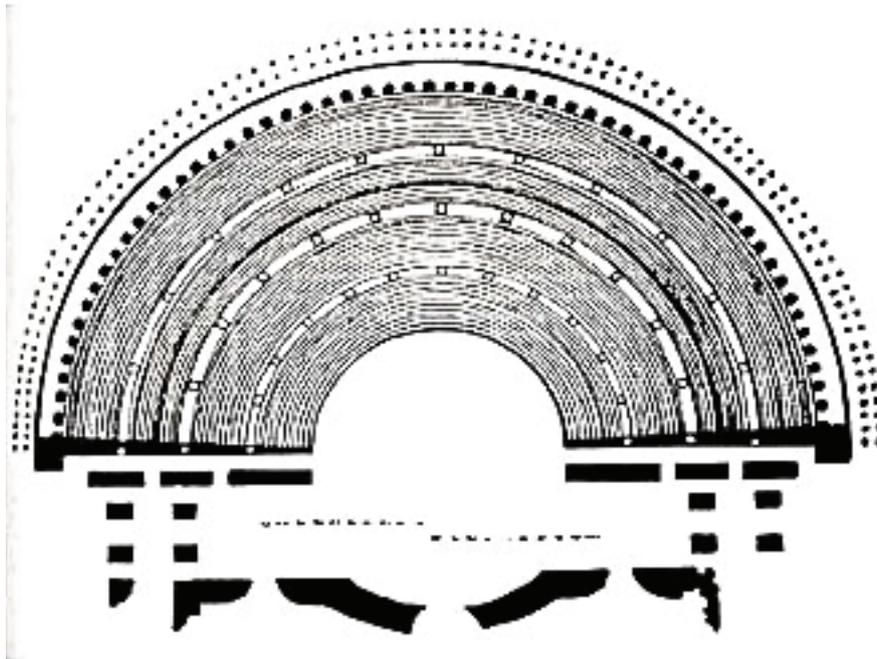


Рис. 1. План греческого театра Литта [5, fig.1]

Однако в V книге Витрувий пишет, что в большом театре используется не 39 сосудов, как это описано у Белли, а 38, в среднем ряду только 12 сосудов. Объектом исследования данной работы является большой театр с 38 «голосниками».

У нас уже есть результаты исследований влияния «голосников» на акустику малого античного греческого театра с 13 «голосниками», описанные в первой части данной работы.

Основная цель второй части нашего исследования – получить подтверждение, что «голосники» в активном состоянии изменяют параметры звукового поля зрительного пространства

большого античного греческого театра и эти изменения делают звук более «ясным и приятным» [1, с. 18].

Материалы и методы

В исследовании использовался метод компьютерного акустического моделирования в программе EASE 4.4. Ставились задачи: первая – смоделировать большой классический греческий театр по рекомендациям Витрувия, акустические параметры которого без зрителей и со зрителями коррелируются с уже известными результатами моделирований и измерений, восстановленных после раскопок античных театров, вторая – рассчитать параметры звукового поля большого древнего театра со зрителями без «голосников» и с активными «голосниками». Для исследования авторы используют стандартный алгоритм программы EASE4.4. Критерии оценок – параметры звукового поля зрительного пространства: C50, C80, STI.

Параметр C50 (Clarity 50 мс) – индекс, необходимый для оценки четкости речи. Для современных оперных и драматических театров с хорошей акустикой значение индекса должно быть >0 дБ. Границы определены нормативами $-3,7$ дБ... $+3,7$ дБ (что соответствует $D50 = 30\% \dots 70\%$). Параметр C80 (Clarity 80 мс) – индекс прозрачности, чистоты и ясности музыки – определен границами -5 дБ ... $+5$ дБ. STI (Speech Transmission Index) – индекс разборчивости речи безразмерная величина от 0 до 1. Значение STI более 0,6 считается очень хорошей разборчивостью, а более 0,75 – превосходной.

Построение компьютерной акустической модели большого классического греческого театра по Витрувию

Для расчета построена компьютерная акустическая модель (рис. 2) большого греческого театра на 17 000 мест. Модель большого театра является достроенной моделью малого театра (так же делали древние зодчие в истории) и имеет геометрические параметры (кроме количества круговых ходов), близкие к знаменитому древнегреческому театру в Эпидавре, всесторонне

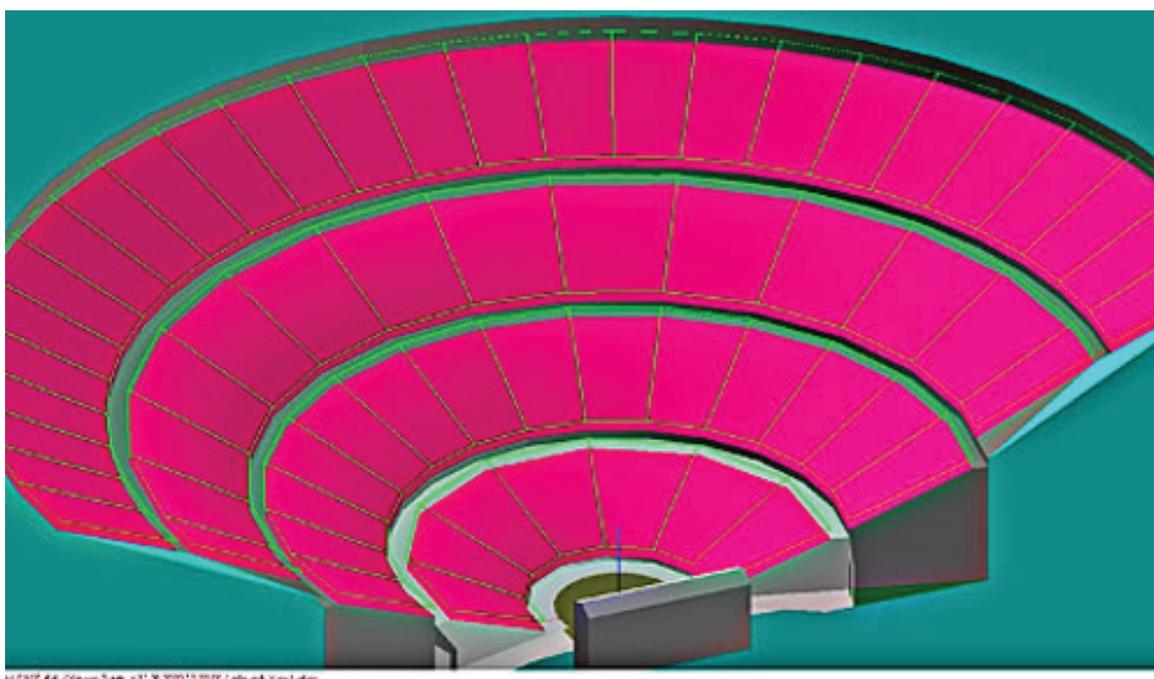


Рис. 2. Модель большого греческого театра с тремя круговыми ходами. Автор модели Ю.И. Исаков

изученного многими исследователями как в XX в. [9], так и в наши дни [5, 6]. Этот классический греческий театр славится превосходной архитектурой, и по словам Шенкленда [9], по акустике превосходит многие римские театры, построенные позже. В модели театра гребенка зрительных мест имеет уклон $\frac{1}{2}$. Большой театр имеет три окружных хода, разделяющие зрительное пространство на четыре части.

Моделирование «голосников» Витрувия

Симуляция работы «голосников» в компьютерной акустической модели большого театра выполнена с помощью всенаправленных $\frac{1}{3}$ октавных излучателей так же, как в модели малого театра.

У Витрувия: «Если же величина театра будет более значительной, тогда высота его делится на четыре части так, чтобы получились три поперечных зоны для ниш: одна гармоническая, другая хроматическая, третья диатоническая. Первая зона снизу распределяется в гармоническом строе так, как было написано выше о малых театрах.» [1, с. 95]. Настройки сосудов для большого театра представлены в виде нот в редакции [2, с. 97] труда Витрувия и в работах [7, 8, 10, 12], в которых используется название «энгармонический» строй вместо «гармонического», но это не меняет настройки, поскольку используются только устойчивые ступени строя.

Для настройки частот мы будем использовать Пифагоров строй, которым пользовались в Древней Греции и до средних веков [4, с. 174].

В табл. 1 приведены результаты расчетов нот по Пифагору и настройки по Витрувию. Каждый симулятор сосуда, который должен быть настроен на соответствующую ноту в Пифагоровом строе, излучает $\frac{1}{3}$ октавный шумовой сигнал с центральной частотой, наиболее близкой к требуемой высоте ноты.

В большом театре, как отмечено выше, применяются три ряда «голосников» (рис. 3). Самая низкая нота A2 – ля большой октавы, равная 100 Гц в случае настройки A4=400 Гц будет моделироваться неполноценно. Поэтому в большом театре будем использовать настройку A4=500 Гц (табл. 1).

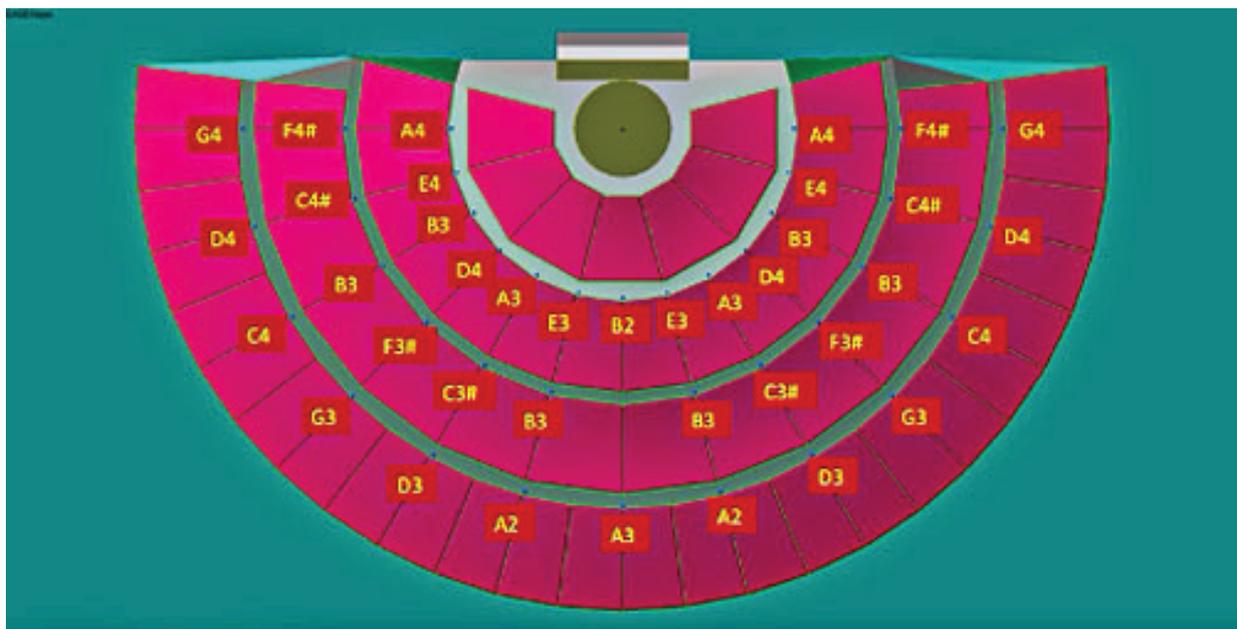


Рис. 3. Расположение и ноты настройки «голосников» в модели большого греческого театра. Автор модели Ю.И. Исаков

Таблица 1

Настройка излучателей в большом греческом театре по Витрувию в Пифагоровом строе от ноты А4=500 Гц

| | | | | | | | |
|-------------------------------------|------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| Первый ряд, нота | A4 | E4 | B3 | D4 | A3 | E3 | B2 |
| Частота ноты (Гц) | 500 | 375 | 281,25 | 333,(3) | 250 | 187,5 | 140,63 |
| Центральная частота 1/3 октавы (Гц) | 500 | 400 | 250 | 315 | 250 | 200 | 160 |
| Второй ряд, нота | F4# | C4# | B3 | F3# | C3# | B3 | |
| Частота ноты (Гц) | 421,81 | 316,4 | 281,25 | 210,9 | 158,2 | 281,25 | |
| Центральная частота 1/3 октавы (Гц) | 400 | 315 | 250 | 200 | 160 | 250 | |
| Третий ряд, нота | G4 | D4 | C4 | G3 | D3 | A2 | A3 |
| Частота ноты (Гц) | 444,(4) | 333,(3) | 296 | 222,(2) | 166,(6) | 125 | 250 |
| Центральная частота 1/3 октавы (Гц) | 400 | 315 | 250 | 200 | 160 | 125 | 250 |

Результаты исследования

Расчет параметров звукового поля большого театра выполнялся без зрителей (упосс., сокр. от upoccupied – незанятый) и при полностью заполненном зрителями (осс., сокр. от occupied – занятый), аналогично малому театру. Для расчета времени реверберации RT60 необходим расчет фонда звукопоглощения [3]. Для каменных поверхностей использовалась модель материала из библиотеки программы – «concreter». Значения коэффициентов звукопоглощения зрителей (табл. 2) на каменных скамьях были взяты из СП для зрителей на жестких сиденьях.

Таблица 2

Коэффициент звукопоглощения зрителей на жестких сиденьях

| | | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| Частота, Гц | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| Значение коэффициента | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |

Для расчета акустических параметров основной источник звукового сигнала располагался в центре оркестры (место расположения алтаря). В качестве основного источника звука использовалась модель всенаправленного излучателя, расположенного на высоте 1,5м от поверхности оркестры. Уровень звукового давления основного источника звука SPL= 94 дБ (1м) на всех частотах третьоктавной шкалы.

Расчет акустических параметров звукового поля большого театра Витрувия

Все вычисления сделаны при отсутствии зрителей и в заполненном зрителями зрелищном пространстве – около 17000 зрителей.

Расчетное время реверберации RT60 большого театра в отсутствии зрителей составляет 1,17с, а заполненного зрителями – 0,885 с на частотах 500...1000 Гц (рис. 4). Такое время реверберации хорошо коррелируется с полученными результатами в публикациях [5,8]. Активные «голосники» поднимают общий усредненный уровень звукового давления SPL максимально на 0,36 дБ на частоте 250 Гц, на остальных частотах от 125 Гц до 500 Гц на 0,04 ... 0,2 дБ (рис. 5).

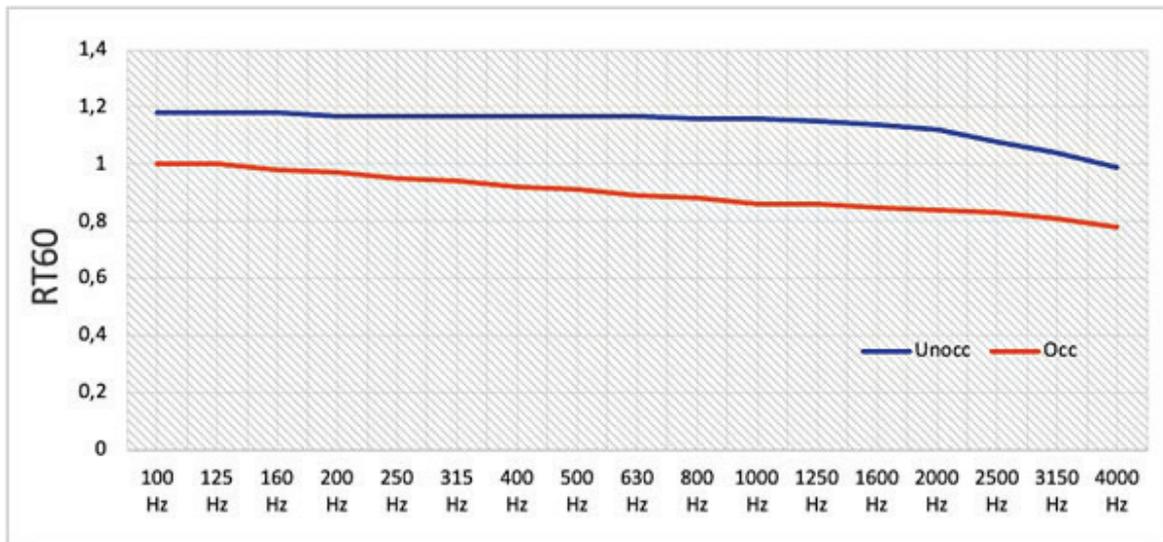


Рис. 4. Зависимость времени реверберации от частоты большого театра, незаполненного и заполненного зрителями. Автор Ю.И. Исаков

В Древней Греции артистами были только мужчины, поэтому на рис. 5 показаны диапазоны мужских голосов. Настройки «голосников» совпадают с этими диапазонами. Среднее значение индекса четкости речи C50 (рис. 6) на частотах 500 Гц...1000 Гц без зрителей составляет 1,95 дБ, со зрителями – 4,28 дБ. При активности «голосников» значение индекса четкости речи C50 уменьшается более чем на 2 дБ на всех частотах, в диапазоне 500...1000 Гц, C50 = 2,12 дБ, но остается более 1,0 дБ даже на низких частотах.

Значение индекса прозрачности музыки C80 на средних частотах 500 Гц...1000 Гц (рис. 7) составляет 4,34 дБ без зрителей, со зрителями 6,96 дБ. При активности «голосников» значения индекса C80 снижаются на более чем 1,7 дБ на всех частотах. И на средних частотах 500...1000 Гц C80 = 5,195 дБ.

Индекс разборчивости речи STI имеет среднее значение 0,648 без зрителей, 0,718 – со зрителями, а со зрителями и при активности «голосников» увеличивается до значения 0,740. При активности «голосников» количество зрительских мест с превосходной разборчивостью речи увеличивается на 10,5%, или на 1788 мест, но на самом деле более 50% мест имеют повышенную разборчивость речи со значением 0,70, а это более 8500 мест (рис. 8).

Анализ результатов

Прежде всего параметры звукового поля собственно зрелищного пространства малого и большого классических греческих театров, смоделированных в программе EASE 4.4 хорошо коррелируются с теми, что получены разными исследователями путем моделирования или натурных измерений древних греческих и римских театров, восстановленных после раскопок.

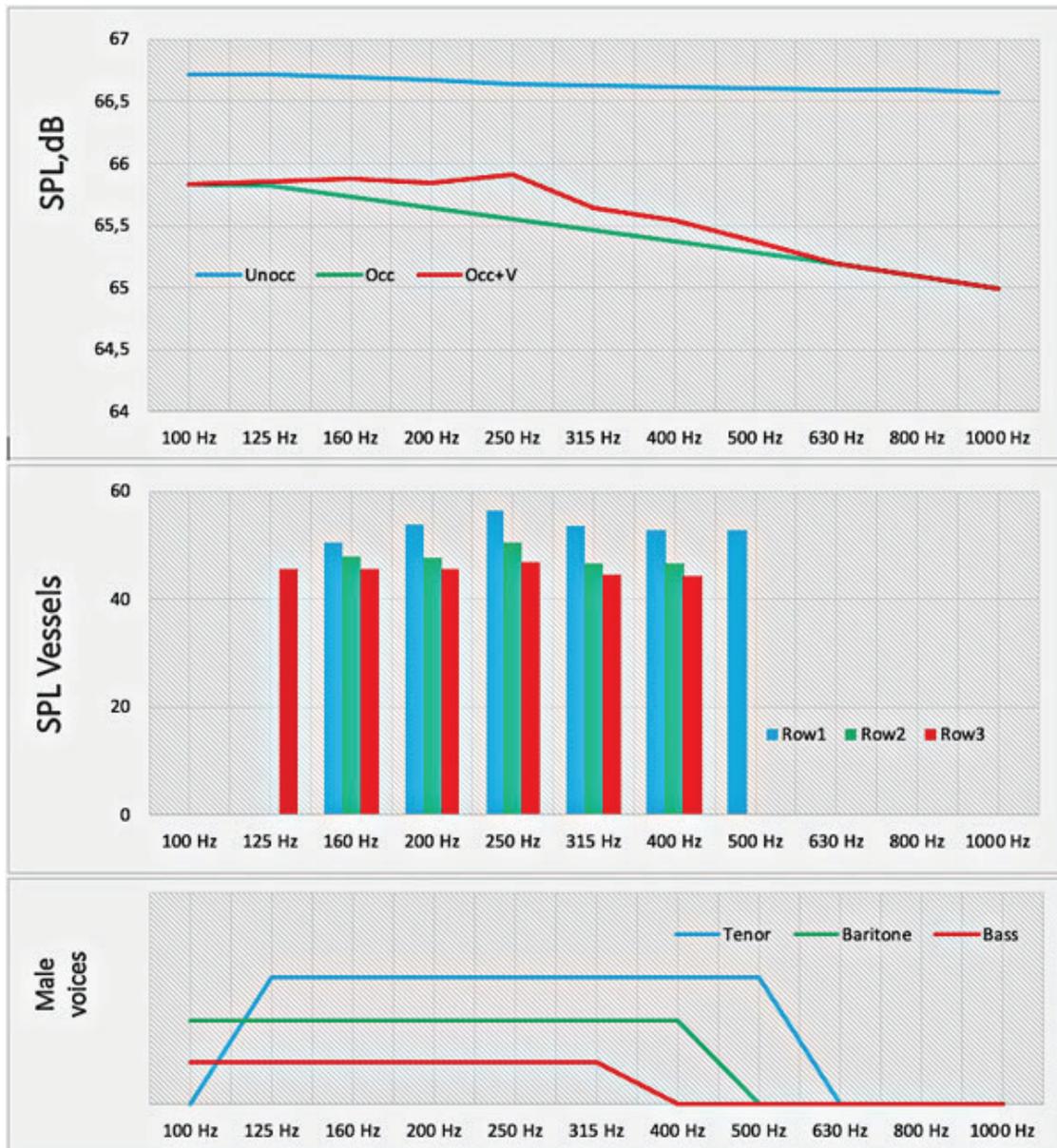


Рис. 5. Вверху – графики зависимости усредненных уровней звукового давления SPL от частоты с учетом отражений. В середине – гистограммы усредненных уровней звукового давления «голосников», настроенных на A4=500 Гц в разных окружных ходах. Внизу – диапазоны мужских голосов. Автор Ю.И. Исаков

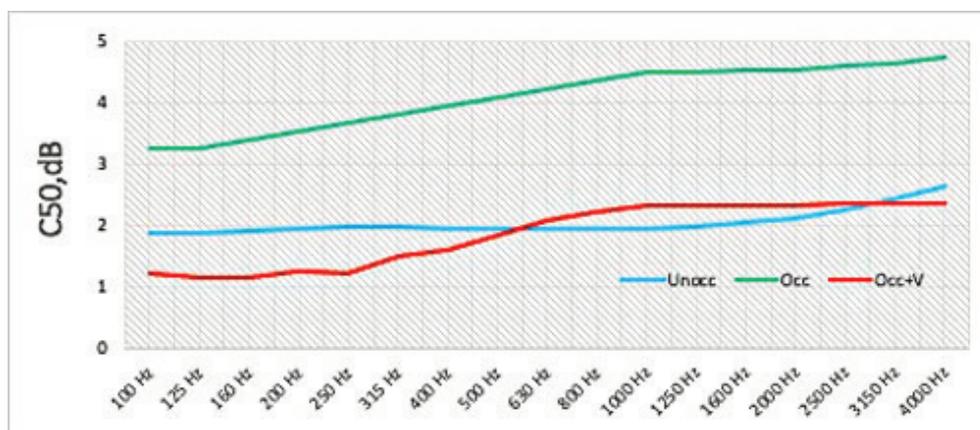


Рис. 6. Графики зависимости значений индекса четкости речи C50 от частоты и от активности «голосников» в большом театре. Автор Ю.И. Исаков

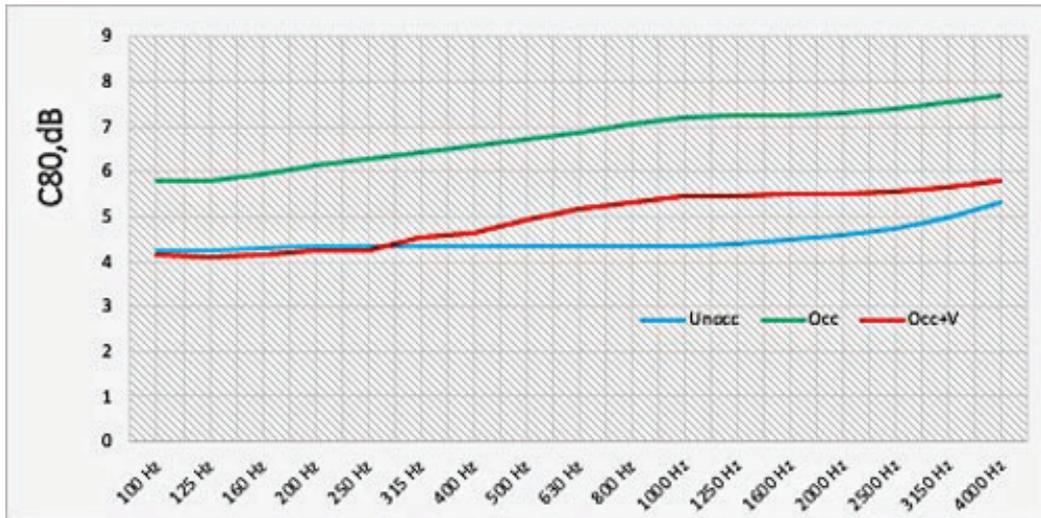


Рис. 7. Графики зависимости значений индекса прозрачности музыки C80 от частоты и от активности «голосников» в большом театре. Автор Ю.И. Исаков

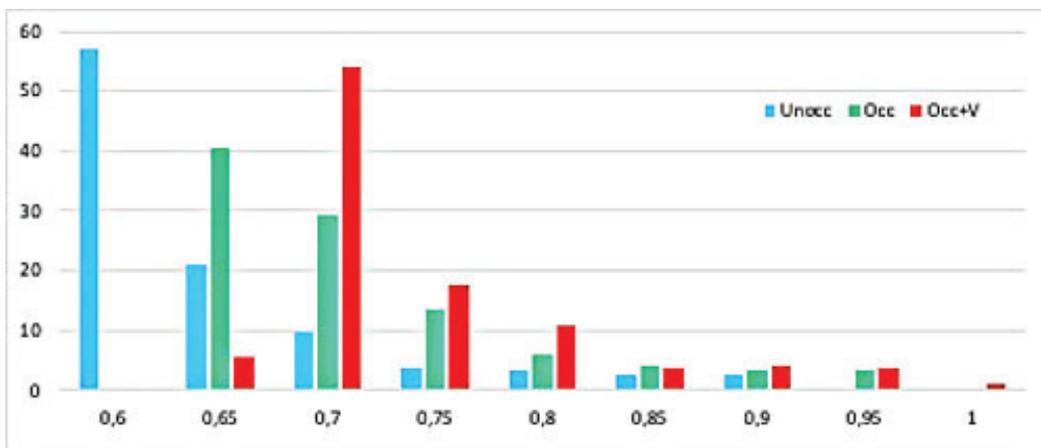


Рис. 8. Гистограммы статистики распределения значений индекса разборчивости речи по зрительным местам в большом театре. Автор Ю.И. Исаков

Таблица 3

Результаты расчетов параметров звуковых полей большого и малого театров

| Параметр в диапазоне 500-1000Гц | Без зрителей | Со зрителями | Со зрителями и активными «голосниками» A4=500Гц |
|---------------------------------|--------------|--------------|---|
| RT60, с | 1,17 | 0,885 | |
| C50, дБ | 1,95 | 4,28 | 2,12 |
| C80, дБ | 4,34 | 6,96 | 5,195 |
| STI | 0,648 | 0,718 | 0,74 |

Рассчитанные параметры звукового поля (табл. 3) подтверждают, что описанные Витрувием методы геометрического построения классических греческих малых и больших театров приводят к хорошей акустике на зрительских местах. Короткое время реверберации, даже без зрителей способствует высокой четкости речи, хорошей разборчивости речи и прозрачности музыки. Именно это и отмечается как феномен античных театров. В заполненном зрителями греческом театре еще больше улучшается разборчивость речи до «превосходной» в малом театре, и «очень хорошей» в большом театре.

Активность «голосников» на низких частотах от 125 до 500 Гц приводит к изменениям параметров звукового поля во всем диапазоне частот, а именно: снижение значений индекса четкости речи C50 на 2.0–2.5 дБ и снижение значений индекса прозрачности музыки C80 на 1,5 – 2.0 дБ во всем диапазоне рабочих частот при одновременном увеличении количества зрительских мест с превосходной разборчивостью речи STI >0,75 на 35% в малом театре и на 10% в большом театре. Но если считать порог STI >0,7, то для большого театра количество мест при активности «голосников» с улучшенной разборчивостью возрастает на те же 35% (рис. 8).

На самом деле чрезмерная прозрачность и ясность музыки снижает ее жизненность, полноту звучания и делает ее малопривлекательной для слушателя. То же происходит и с голосом, слишком четкий голос неприятен, в нем нет театральной волшебности и убедительности. Поэтому снижение значений индексов C50 и C80 является позитивным эффектом активности «голосников», который делает музыку и голос приятней для слушателей.

Выводы

Даже грубое моделирование показало, что незначительное увеличение уровня звукового давления за счет резонансов «голосников», описанных у Витрувия, позволяет значительно наполнить звучание музыкальных инструментов и мужских голосов при одновременном улучшении разборчивости речи.

Исследование породило очередные загадки, которые требуют более детального изучения, а именно, если моделировать «голосники» с помощью узкополосных излучателей, настроенных близко к музыкальным интервалам по схеме, описанной Витрувием в диапазоне частот 100...500 Гц и установить уровень излучения «голосников», который всего лишь на 0,18...0,36 дБ увеличивает средний уровень звукового давления на частоте 250 Гц, то достигаются следующие изменения акустических параметров звукового поля и в малом, и в большом театрах: во-первых, уменьшаются значения параметров Clarity C50 на 2,5...2,0 дБ, а C80 на 2,0...1,7 дБ во всем диапазоне частот, а не только в диапазоне излучения «голосников», во-вторых, вместо ожидаемого уменьшения индекса четкости речи STI, последний увеличивается, повышая разборчивость речи до «превосходной» и «очень хорошей» на 35% зрительских мест.

Это позволяет предположить, что Витрувий описал первый в истории опыт применения древними греческими зодчими регенеративной технологии управления звуковым полем [13] в архитектуре зрительного пространства, основанной на музыкальной теории, которая может быть использована в современных системах активного управления звуковым полем.

Это значит, что современному архитектору зрительных пространств и залов следует изучать не только архитектурную акустику, но и теорию музыки, как писал Витрувий: «Всякий, кто усвоил себе его теорию, сможет ...довести театр до того совершенства, которое отвечает природе голоса и наслаждению слушателей» [1, с. 96]

Примечания

¹ ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013, Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Ч. 1. Зрительные залы. – URL: <http://ivo.garant.ru>

² СП 415.1325800.2018. Здания общественные. Правила акустического проектирования. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. – М., 2018. Приложение Г. Таблица Г.2.

Библиография

1. Витрувий, Десять книг об архитектуре: Т. I. Текст трактата / Витрувий; Пер. Ф.А. Петровского. – М.: Изд-во Всесоюзной академии архитектуры, 1936. – 331 с., ил. (Классики теории архитектуры / под общ. ред. А. Г. Габричевского).
2. Vitruvius. The Ten Books on Architecture / Translated by Morris Hicky Morgan, Ph.D., LL.D. Late Professor of Classical Philology in Harvard University with Illustrations and Original Designs Prepared Under the Direction of Herbert Langford Warren, A.M. Nelson Robinson Jr. Professor of Architecture In Harvard University. – Cambridge: Harvard University Press. – London: Humphrey Milford Oxford University Press 1914. Copyright, Harvard University Press.
3. Sabine Wallace Clement. Collected Papers on Acoustics. – Cambridge: Harvard University Press. – London: Humphrey Milford Oxford University Press, 1922
4. Алдошина, И., Приттс, Р. Музыкальная акустика: учебник / И. Алдошина, Р. Приттс. – СПб.: Композитор – Санкт-Петербург, 2006. – 720 с., ил.
5. Polychronopoulos, S. The Use of Resonators in Ancient Greek Theatres [Электронный ресурс] / S. Polychronopoulos, D. Kougiyas, P. Polykarpou, D. Skarlatos // Acta Acustica United with Acustica. – 2013. – Vol. 99. – P. 64–69. – URL: <https://www.ingentaconnect.com/content/dav/aaua/2013/00000099/00000001/art00010;jsessionid=1esm7u9gxqzvd.x-ic-live-02>
6. Lokki, T. Acoustics of Epidauros. Studies With Room Acoustics Modelling Methods / T. Lokki, A. Southern, S. Siltanen, L. Savioja // Acta Acustica United with Acustica. – 2013. – Vol. 99. – P. 40–47
7. Walden, D. Frozen Music: Music and Architecture in Vitruvius' De Architectura [Электронный ресурс] / D. Walden. – University of Oxford, 2014. – URL: <https://oxford.academia.edu/DanielWalden>
8. Godman, Rob. The enigma of vitruvian resonating vases and the relevance of the concept for today [Электронный ресурс] / Rob Godman. – The Music Centre Faculty for the Creative and Cultural Industries University of Hertfordshire, UK, 2008. – URL: https://www.academia.edu/1111381/The_enigma_of_Vitruvian_resonating_vases_and_the_relevance_of_the_concept_for_today
9. Shankland, Robert S. Acoustics of Greek theatres Citation [Электронный ресурс] / Robert S. Shankland // Physics Today. – 1973. – 26, 10, 30. – URL: <https://doi.org/10.1063/1.3128277>
10. Karampatzakis, P. A study on Aristoxenus acoustic urns [Электронный ресурс] / P. Karampatzakis, V., Zafranias, S. Polychronopoulos, G. Karadedos // The Acoustics of Ancient Theatres Conference Patras. – 2011. – September 18–21. – URL: https://www.academia.edu/11310192/A_study_on_Aristoxenus_acoustic_urns
11. Telemachos k. Zakynthinos. A modified coupling model for the optimization of the acoustic system of conjugated spaces with the help of coordinators [Электронный ресурс] / Telemachos k. Zakynthinos. – Patras: University of Patras polytechnic school department of mechanical and air conditioning engineering doctoral discussion, 2007, February. – P. 20. – URL: <https://docplayer.gr/16574321-Didaktoriki-diatrivi.html>
12. Sevillano, A. Barba, Lacatis, R., Gim'enez, A., Romero, J. Acoustics vases in ancient theatres: disposition, analysis from the ancient tetracordal musical system [Электронный ресурс] / Sevillano A. Barba, R. Lacatis, A. Gim'enez and J. Romero, 2008. – URL: <http://www.upv.es/contenidos/ACUSVIRT/info/U0678805.pdf>
13. Исаков, Ю.И. Цифровая обработка звуковых сигналов в музыкальной акустике. Электроакустическая система активного управления звуковым полем [Электронный ресурс] / Ю.И. Исаков // Вестник музыкальной науки. – 2016. – Вып. 2(12). – URL: http://vestnik.nsglinka.ru/&journal_page=archive&id=13

References

1. Vitruvius. (1936) Ten Books on Architecture: Volume I. Text of the treatise. Translated by F.A.Petrovsky. Moscow: Publishing House of the All-Union Academy of Architecture.
2. Vitruvius. (1914) The Ten Books on Architecture. Translated by Morris Hicky Morgan, Ph.D., LL.D. Late Professor of Classical Philology in Harvard University with Illustrations and Original Designs Prepared Under the Direction of Herbert Langford Warren, A.M. Nelson Robinson Jr. Professor of Architecture In Harvard University. Cambridge: Harvard University Press. London: Humphrey Milford Oxford University Press.
3. Sabine Wallace Clement. (1922). Collected Papers on Acoustics. Cambridge: Harvard University Press London: Humphrey Milford Oxford University Press.
4. Aldoshina, I. and Pritts, R. (2006) Musical Acoustics. Saint-Petersburg: Composer-Saint Petersburg. (in Russian)
5. Polychronopoulos, S., Kougiyas, D., Polykarpou, P., Skarlatos, D.(2013) The Use of Resonators in Ancient Greek Theatres. Acta Acustica United with Acustica, Vol. 99, pp. 64 – 69 [Online]. Available from: <https://www.ingentaconnect.com/content/dav/aaua/2013/00000099/00000001/art00010;jsessionid=1esm7u9gxqzvd.x-ic-live-02> , [Accessed 2 July 2020]
6. Lokki, T., Southern, A., Siltanen, S., Savioja, L. (2013) Acoustics of Epidaurus. Studies With Room Acoustics Modelling Methods. ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA, Vol. 99, pp. 40 – 47
7. Walden, D. (2014) Frozen Music: Music and Architecture in Vitruvius' De Architectura. University of Oxford [Online]. Available from: <https://oxford.academia.edu/DanielWalden>, [Accessed 16 June 2020]
8. Godman, Rob. (2008) The Enigma of Vitruvian Resonating Vases and the Relevance of the Concept for Today. [Online] The Music Centre Faculty for the Creative and Cultural Industries, University of Hertfordshire, UK [Online] Available from: https://www.academia.edu/1111381/The_enigma_of_Vitruvian_resonating_vases_and_the_relevance_of_the_concept_for_today [Accessed 16 June 2020]
9. Shankland, R.S.(1973) Acoustics of Greek Theatres Citation. [Online]. Physics Today, 26, 10, 30. Available from: <https://doi.org/10.1063/1.3128277> [Accessed 16 June 2020]
10. Karampatzakis, P., Zafranias, V., Polychronopoulos, S., Karadedos, G. (2011) A Study on Aristoxenus Acoustic Urns. The Acoustics of Ancient Theatres Conference Patras, September 18-21. [Online] Available from: https://www.academia.edu/11310192/A_study_on_Aristoxenus_acoustic_urns [Accessed 2 July 2020]
11. Telemachos, K. Zakyntinos (2007) A Modified Coupling Model for the Optimization of the Acoustic System of Conjugated Spaces with the Help of Coordinators. University of Patras polytechnic school department of mechanical and air conditioning engineering doctoral discussion. Patras, February 2007 p.20. [Online] Available from: <https://docplayer.gr/16574321-Didaktoriki-diatrivi.html> [Accessed 2 July 2020]
12. Sevillano, A. Barba, Lacatis, R., Gimenez, A. and Romero, J.(2008) Acoustics Vases in Ancient Theatres: Disposition, Analysis from the Ancient Tetracordal Musical System [Online] Available from: <http://www.upv.es/contenidos/ACUSVIRT/info/U0678805.pdf> [Accessed 2 July 2020].
13. Isakov, Yu.I. (2016) Digital Processing of Sound Signals in Musical Acoustics. Electroacoustic System for Active Sound Field Control. Bulletin of Musical Science 2 (12). [Online]. Available from: http://vestnik.nsglinka.ru/&journal_page=archive&id=13 [Accessed 30.10.2020] (in Russian)



Лицензия Creative Commons

Это произведение доступно по лицензии Creative Commons «Attribution-ShareAlike» («Атрибуция - на тех же условиях»).

Дата поступления: 11.11.2020