

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

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

ББК: 85.113(3)

DOI: 10.47055/1990-4126-2020-4(72)-10

Аннотация

*В наследии Витрувия указывается на значение музыки в совершенствовании архитектурной акустики античных театров. В частности, он подробно описал звучащие сосуды, или *ηχηα* – «голосники», об эффективности которых до сих пор ведутся дискуссии. Методами компьютерного моделирования исследуется влияние «голосников» на акустические параметры малого 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 малого театра без «голосников» и с ними. Получен позитивный результат влияния «голосников» на акустические параметры C50, C80, STI звукового поля зрительного пространства античного малого театра.*

Ключевые слова:

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

Введение

Наследие архитектора, механика и философа Марка Витрувия по теории античных театров до сих пор является отправной точкой в изучении архитектуры зрительного пространства. В Древней Греции и Риме, когда еще не было измерительной техники и не знали современных акустических параметров, которыми можно описать оптимальное звуковое поле, архитектор опирался на музыку: «Музыку же архитектор должен знать для того, чтобы быть осведомленным в канонической и математической теории, а кроме того, быть в состоянии правильно рассчитывать... медные сосуды, называемые греками «голосниками», которые в театрах помещают в нишах под скамьями согласно математическому расчету звуков различной высоты, распределяют по окружности соответственно музыкальным согласиям или созвучиям: по квартам, по квинтам и октавам, вплоть до двойной октавы, для того чтобы голос актера, попадая в унисон с распределенными таким образом сосудами и становясь от этого сильнее, достигал до ушей зрителя более ясным и приятным» [1, с. 18].

Изобретение древних греков – звучащие бронзовые, медные или даже глиняные сосуды, или, как их называли древние греки *ηχηα* – «голосники», Витрувий описал довольно подробно в V книге своего труда об архитектуре, а также их настройку и расположение в театре. Но мнение

исследователей, изучавших физику звучащих сосудов, описанных Витрувием, различно. В результате исследований, выполненных методом моделирования резонансных процессов, установлено, что заметное влияние звучащие сосуды оказывают лишь на такие акустические параметры, как центральное время – T_c и уровень боковой составляющей – LEF [6]. Некоторые исследователи считают, что описание Витрувия неправильно истолковывают, и сосуды у древних греков использовались как дополнительное резонансное звукопоглощение [7]. Встречается также гипотеза, что звучащие вазы служили своеобразной эквалаизацией – выравниванием частотной характеристики звукового давления¹. А в публикации [8] изложено мнение знаменитого проектировщика и новатора в области театрального дизайна и технологий Джорджа Чарльза Изенура, который после детального изучения звучащих ваз Витрувия сказал: «What charming nonsense!» («Какая прелестная чепуха»²).

Авторам же более близко мнение тех исследователей [9,10], которые считают, что Витрувий довольно точно описал акустический эффект, создаваемый звучащими сосудами: «...голос, растекаясь со сцены, как из центра, распространяясь кругами и ударяясь о полости отдельных сосудов, достигнет большей звучности и будет, благодаря согласию звуков, вызывать должное ответное созвучие». И далее: «Сосуды же эти должно изготавливать таким образом, чтобы они, от прикосновения к ним, могли каждый с каждым издавать звуки в отношениях кварты, квинты и далее по порядку вплоть до двойной октавы. Затем, расположив их по законам музыкальной теории в особые ниши, устроенные между сидениями театра, нужно поместить их так, чтобы они нигде не касались стен, были окружены пустым пространством и имели свободный промежуток со стороны своей верхушки. Ставят же их опрокинутыми, а со стороны, обращённой к сцене, под них подкладывают клинья, высотой не меньше чем в полтора фута. Против каждой такой ниши в проступях нижних ступеней оставляют отверстия длиной в два фута и вышиной в полфута» [1. с. 95].

Для архитекторов театр с «голосниками» – это довольно сложная задача: требуется строительство специальных ниш, точнее – помещений (рис.1), в которых размещаются сосуды. Необходимы также ходы, по которым можно пронести эти сосуды и установить. Требуется обслуживание этих помещений. Значительные затраты на такое строительство, изготовление и тонкую настройку сосудов должны быть оправданы улучшением акустики зрительного пространства, заметным на слух.

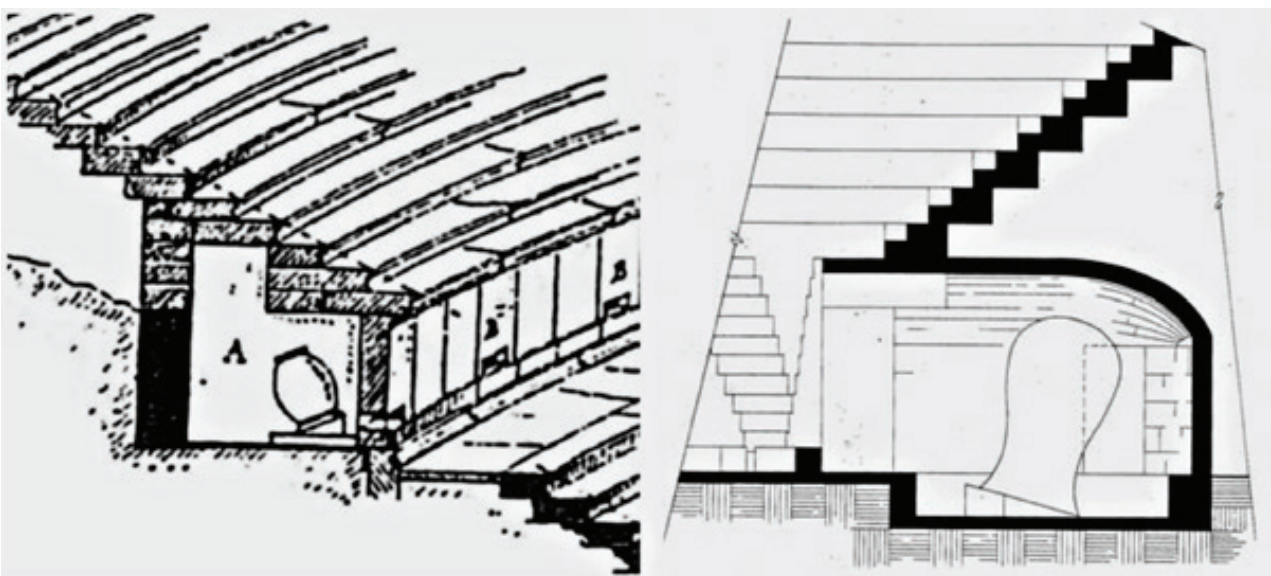


Рис.1. Архитектура зрительного пространства с применением сосудов Витрувия. Источник: слева [13, с.20. рис 1.2.4.], справа [14, Fig.13]

Авторы, как и многие исследователи [9,10,12,14], считают, что «голосники» должны входить в резонанс с основным тоном и гармониками речи, вокала или музыкальных инструментов и «издавать звуки» – излучать дополнительные звуковые сигналы на определенных частотах. Резонанс сосудов, расположенных в свободном пространстве, заставляет звучать стенки этих сосудов подобно оркестровым тарелкам или колоколам, только этот резонанс более выражен и позволяет значительно усиливать звуковые сигналы на частоте резонанса [12, с. 7]. Кроме того, помещения, в которых должны быть расположены сосуды, по сути, тоже являются эхокамерами, усиливающими звучание сосудов. Следовательно, «голосники» добавляют в звуковое поле зрительного пространства сигналы, полученные путем частотной обработки и усиления. Это позволяет предположить, что Витрувий описал первый в истории опыт применения регенеративной технологии управления звуковым полем [15] в архитектуре зрительного пространства.

Основная цель нашего исследования – получить подтверждение гипотезы, что «голосники» в активном состоянии изменяют параметры звукового поля зрительного пространства, и эти изменения, по Витрувию, делают звук более «ясным и приятным».

Материалы и методы

В своей работе мы использовали методы компьютерного акустического моделирования в программе EASE 4.4. Ставились задачи: первая – смоделировать 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 – найти способ симулирования «голосников» в построенной модели, третья – рассчитать параметры звукового поля древнего театра со зрителями без «голосников» и с активными «голосниками». Для исследования в данной работе используется стандартный алгоритм программы EASE 4.4. Критерии оценок – параметры звукового поля зрительного пространства: C50, C80, STI.

Параметр C50 – индекс 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 $D50 = 30 - 70\%$). Параметр C80 – индекс прозрачности, чистоты и ясности музыки определён границами -5 дБ ... $+5$ дБ³. Для ритмичной музыки, желательно более $+4$ дБ, для кантиленной – около 0 дБ. STI (Speech Transmission Index) – индекс разборчивости речи – безразмерная величина от 0 до 1. Значение STI более 0,6 считается хорошей разборчивостью, а более 0,75 – превосходной.

Построение компьютерной акустической модели классического греческого театра по Витрувию

Для решения первой задачи геометрические построения оркестры и зрительских мест выполнены по Витрувию для классического греческого театра (рис. 2, слева). Для расчета построена компьютерная акустическая модель (рис. 2, справа) малого греческого театра на 5500 зрителей.

В античных театрах гребенка зрительных мест может иметь уклон $\frac{1}{2}$. Малый театр разделяет один окружной ход, где устанавливаются звучащие сосуды.

Моделирование «голосников» Витрувия

Вторая задача – симулировать работу «голосников» в компьютерной акустической модели. Принимая во внимание результаты исследований [12], в которых описывается, что звучащие

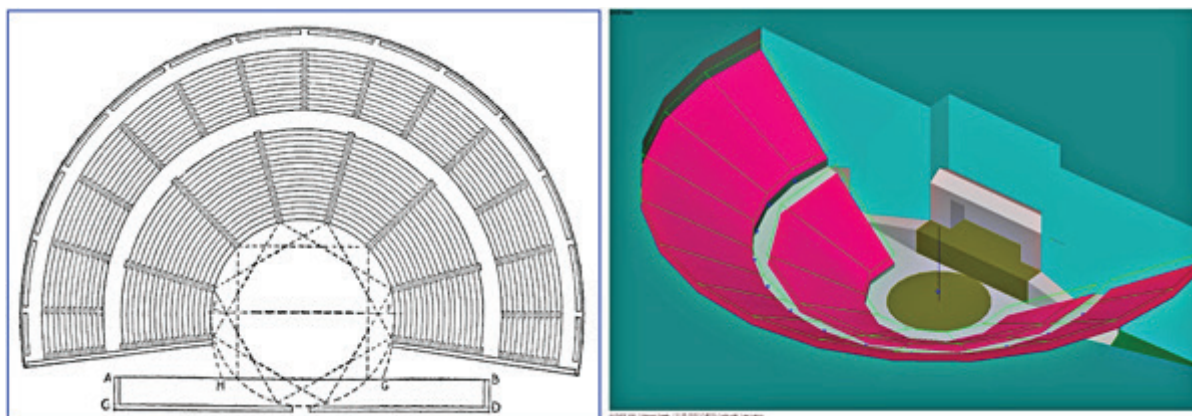


Рис. 2. Слева: План греческого театра по Витрувию. Источник [2, с. 104]. Справа: Модель малого греческого театра с одним круговым ходом. Автор Ю.И. Исаков

сосуды за счет резонанса усиливают звуковые сигналы на величину около 18 дБ, было решено симулировать работу каждого сосуда с помощью модели всенаправленного излучателя, со специально настроенными параметрами. К тому же, в современном греческом языке $\eta\chi\epsilon\iota\alpha$ – это громкоговорители.

Следующий ответственный этап – настройка голосников в соответствии с музыкальной гармонией. Витрувий пишет: «Гармония есть музыкальный предмет, темный и трудный...» [1, с.92], и объясняет ее, основываясь на труде Аристоксена. В дальнейшем мы будем применять современное обозначение нот, где ля первой октавы – А4. Настройки сосудов представлены в виде нот в редакции [2, с. 97] труда Витрувия. Сосуды по краям настроены на самые высокие ноты, А4 – ля первой октавы (рис. 3). Затем на кварту ниже Е4 – ми первой октавы и еще на кварту ниже В3 – си малой октавы. Далее квинта от А4 нота D4 – ре первой октавы, от которой строятся по квартам А3, Е3, В2. Таким образом, в центре ряда находится самая низкая нота В2 – си большой октавы.

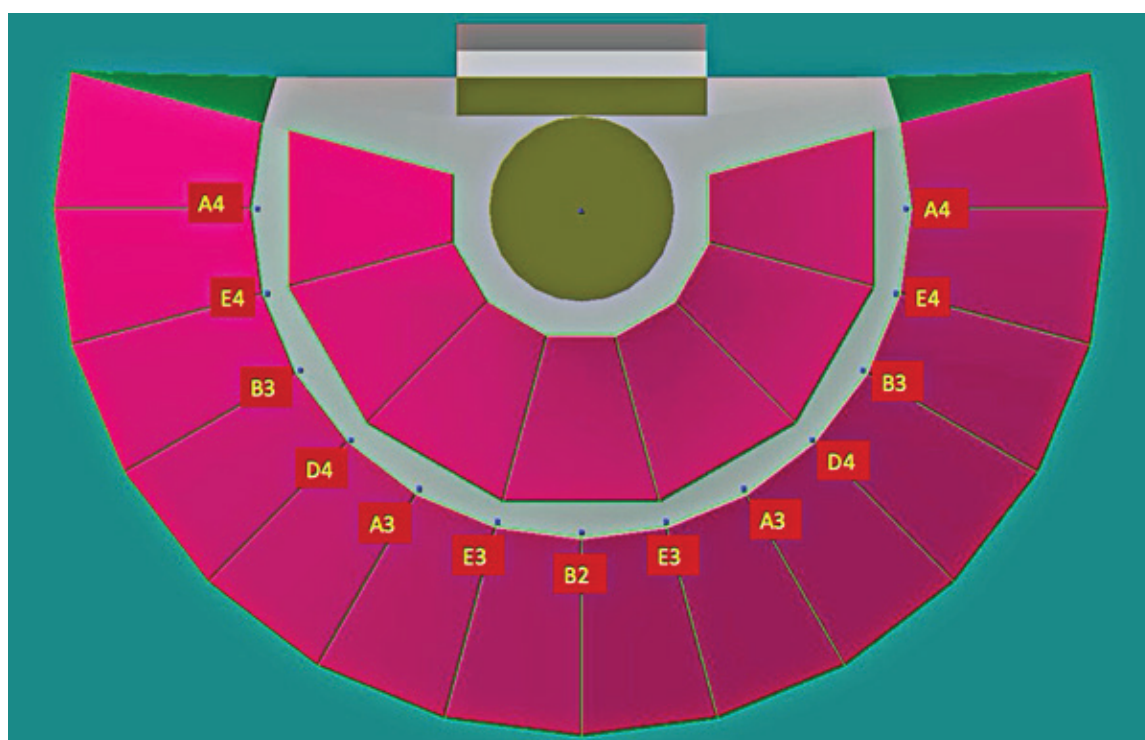


Рис. 3. Расположение и ноты настройки 13-ти «голосников» в модели малого греческого театра. Автор Ю.И. Исаков

Для настройки частот нельзя использовать равномерно темперированный строй, которым сейчас пользуются современные музыканты. Мы будем использовать Пифагоров строй, которым пользовались в Древней Греции [4, с. 174].

Еще одна задача – выбрать высоту эталонной ноты А4, которая в современной музыке равна 440 Гц. С одной стороны, еще несколько веков назад частота ноты А4 была различна для разных жанров и местности, например, в Парижской опере частота камертона 404 Гц, а Гендель использовал камертон 422,5 Гц. Были даже попытки использовать частоту 454 Гц [4, с. 180]. С другой стороны, мы столкнулись с проблемой, которая рождена современной технической революцией. Все современные акустические расчеты ведутся либо в октавных, либо в 1/3 октавных полосах, центральные частоты которых вычисляются в соответствии с принятыми нормами и фиксированы относительно частоты 1000 Гц. И, следовательно, мы сможем выполнить настройку излучателей только на эти нормированные частоты. Однако следует отметить, что еще в начале XX в. результаты своих расчетов У. Сэбин приводит в октавных полосах с музыкальными центральными частотами, равными ноте до. Например, до второй октавы С5 = 512 Гц [3, с. 86]. В табл. 1 приведены результаты расчетов нот по Пифагору и настройки по Витрувию в соответствии с музыкальной теорией Аристоксена [11, с. 107]. Каждый симулятор сосуда, который должен быть настроен на соответствующую ноту в Пифагоровом строе, излучает узкополосный шумовой сигнал с центральной частотой, наиболее близкой к требуемой высоте ноты. Частота настройки А4=400 Гц наиболее вероятна и близка к предполагаемой настройке в Древней Греции. Эта частота точно совпадает с центральной частотой, соответствующей 1/3 октавной полосы, остальные ноты совпадают с центральными частотами 1/3 октавных полос с погрешностью не более 11%. Но в программе моделирования самая низкая частота 100 Гц, а это значит, что самое низкое полноценное узкополосное излучение возможно в 1/3 октавной полосе с центральной частотой 125 Гц. В малом театре с одним рядом это условие мы можем выполнить при А4=400 Гц.

Таблица 1

Настройка излучателей в малом греческом театре по Витрувию в Пифагоровом строе

Нота	A4	E4	B3	D4	A3	E3	B2
Частота ноты (Гц)	400	300	225	266,(6)	200	150	112,5
Центральная частота 1/3 октавы (Гц)	400	315	200	250	200	160	125
Погрешность%	0	5	11,(1)	6,4	0	6,(6)	11,(1)
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
Погрешность%	0	6,(6)	11,(1)	5,49	0	6,(6)	13,77

Древние греки уже знали, что на самом деле главным для музыки является интервал, а не абсолютное значение высоты ноты, и это главное отличие, в чем «теоретическая гармоника расходится с геометрией» [5, с. 31]. Кроме того, Годман [10] приводит ноты для настройки сосудов, где самая высокая нота именно $C5 = 512$ Гц. Чтобы проверить влияние повышенного строя на параметры звукового поля, в модели малого театра проведем просчет параметров при настройке «голосников» на $A4 = 400$ Гц и на $A4 = 500$ Гц (табл. 1), при этом максимальная погрешность настройки увеличится на ноте B2 до 14%⁴. Еще одним важным параметром настройки симуляторов сосудов является уровень излучения. Кроме того, излучение сосудов возможно только после того, как волна от основного источника звука достигнет положения этого сосуда. Для учета сказанного введена задержка в сигналы излучателей. Для упрощения настройки задержки излучателей, основной всенаправленный источник звука помещен в геометрический центр театра – в центр оркестры.

Результаты исследования

Расчет параметров звукового поля малого театра выполнялся без зрителей (*ипосс.*, от *ипосcuried* – незанятый) и при полностью заполненном зрителями (*осс.*, от *осcuried* – занятый). Для расчета акустических параметров требуется замкнутый объем, поэтому ограничивающие поверхности, имитирующие свободное пространство, имеют коэффициент звукопоглощения, равный 1,0. Каменные поверхности – модель материала из библиотеки программы – «concreter». Значения коэффициентов звукопоглощения зрителей (табл. 2) на каменных скамьях были взяты из СП⁵ для зрителей на жестких сиденьях.

Таблица 2

Коэффициенты 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 1,5 м от поверхности оркестры. Уровень звукового давления основного источника звука $SPL = 94$ дБ (1м), что соответствует звуковому давлению в 1 паскаль на всех частотах третьоктавной шкалы.

Расчет акустических параметров звукового поля малого театра Витрувия

Расчетное время реверберации малого театра $RT60$ (статистическая теория) на средних частотах 500...1000 Гц (рис. 4) без зрителей составляет 0,75 с, со зрителями – 0,60 с, что хорошо коррелируется с данными, полученными при измерениях акустических параметров древних театров Greek Delphi и Roma Taormina [11].

Для расчета остальных параметров необходимо настроить эффективный уровень излучения симуляторов сосудов, для чего прежде всего вычислялся усредненный уровень звукового давления SPL на зрительских местах с учетом отражений. В соответствии с уровнем звукового давления в круговом ходе настраивались уровни звукового давления всенаправленных излучателей, симулирующих излучения «голосников».

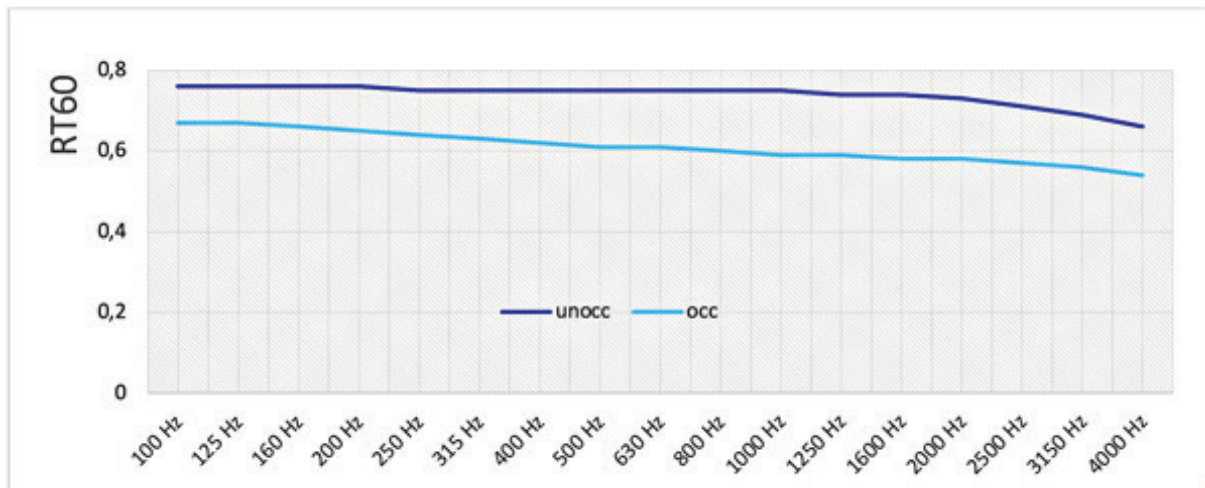


Рис. 4. График зависимости времени реверберации RT_{60} s от частоты, без зрителей ($unocc$) и со зрителями (occ). Автор Ю.И. Исаков

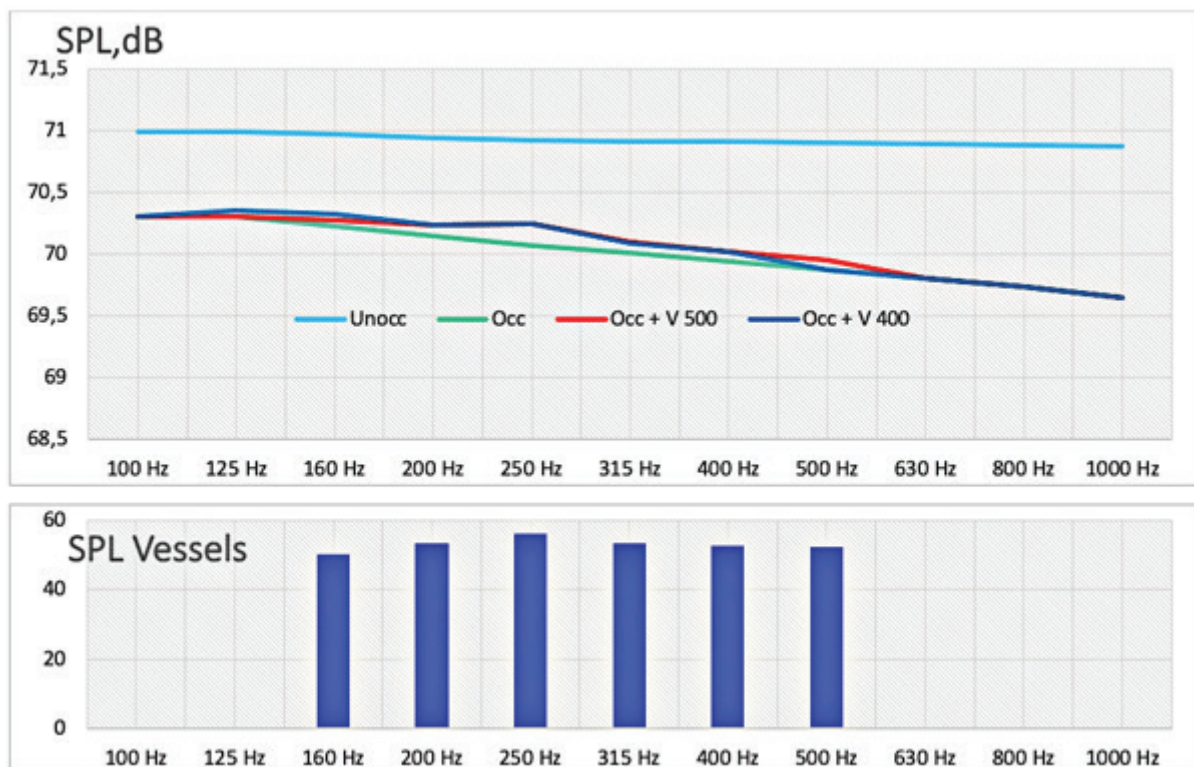


Рис. 5. Вверху — графики зависимости усредненных уровней звукового давления SPL от частоты с учетом отражений. Внизу — гистограмма усредненных уровней звукового давления настроенных «голосников» — $SPL Vessels$ на частоту $A_4=500$ Гц. Автор Ю.И. Исаков

Графики (рис. 5, вверху) показывают, как меняется уровень звукового давления без зрителей ($SPL unocc$) при заполнении амфитеатра зрителями ($SPL occ$) и как меняется уровень звукового давления в диапазоне активности «голосников» с $A_4=400$ Гц ($SPL+V(A400)$) и $A_4=500$ Гц ($SPL+V(A500)$). На частоте 250 Гц усреднённый уровень SPL «голосников» равен 56,21 дБ. Всего на 0,18 дБ увеличивается средний уровень SPL на частоте 250 Гц при активности «голосников», независимо от настройки. Это изменение составляет всего 0,25% от среднего уровня SPL без «голосников» на этой частоте. Некоторое увеличение уровня на частоте 250 Гц также объясняется тем, что на эту частоту настроены четыре излучателя, которые расположены довольно близко к друг другу. Настройка уровня активности «голосников» проводилась также путем контроля гео-

метрических искажений фронта прямой волны в 1/3 октавных полосах (рис. 6). Значительное искажение фронта прямой волны наблюдается только после прохождения позиции «голосников», после окружного хода. До этой позиции фронт волны искажается незначительно. Это подтверждает правильность настройки уровня излучения и задержки излучения симуляторов сосудов.

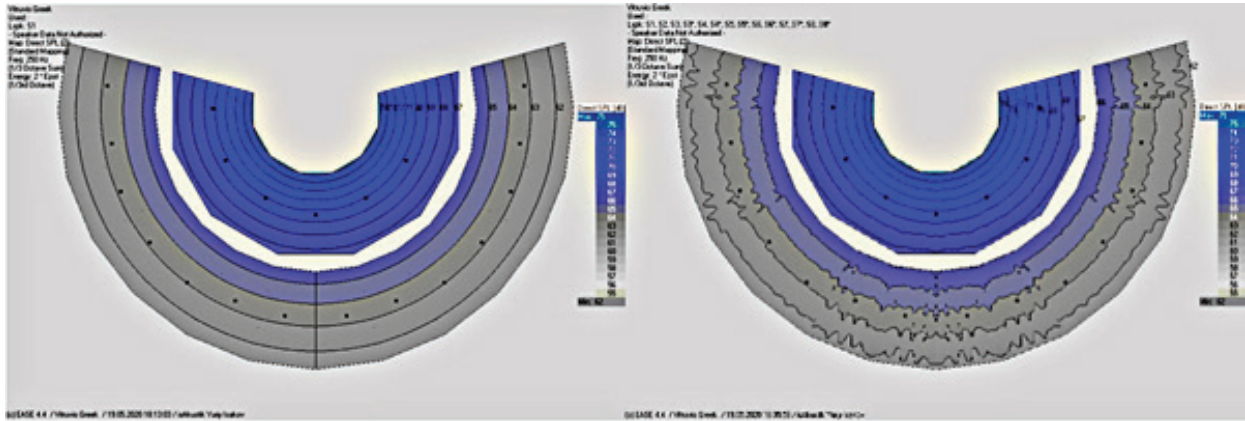


Рис. 6. Карты фронта прямой волны частотой 250 Гц. Слева – без «голосников». Справа – при активности «голосников», настроенных на A4 = 500 Гц. Автор Ю.И. Исаков

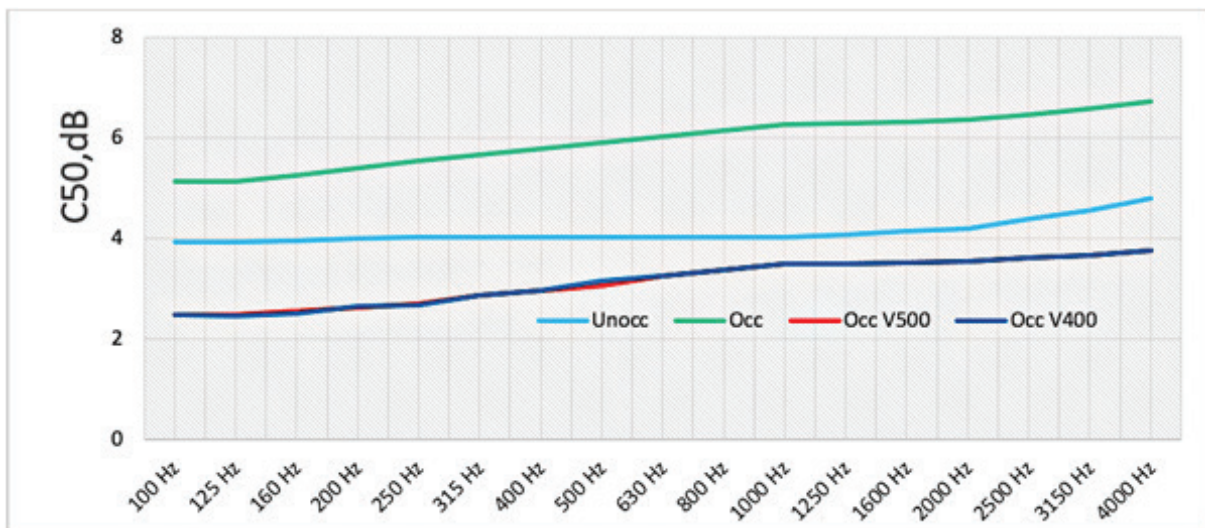


Рис.7. Графики зависимости значений индекса четкости речи C50 от частоты в малом театре. Автор Ю.И. Исаков

На графиках (рис. 7) видно, что в малом театре без зрителей в диапазоне 500...1000 Гц значение индекса $C50 = 4,02$ дБ, а при заполнении зрителями индекс повышается до 6,07 дБ. При активности «голосников» значение индекса $C50$ уменьшается на всех частотах более чем на 2,5 дБ. И становится равным $C50_{400} = 3,32$ дБ ($A4=400$ Гц) и $C50_{500} = 3,29$ дБ ($A4=500$ Гц).

Без зрителей индекс $C80 = 7,14$ дБ в диапазоне 500...1000 Гц. При заполнении зрителями значение индекса увеличивается до 9,61 дБ (рис. 8). При активности «голосников» значение индекса $C80$ уменьшается более, чем на 2 дБ на всех частотах. А на частоте 800 Гц значение индекса $C80$ практически совпадает тем, что рассчитано без зрителей, в диапазоне 500...1000 Гц $C80_{400} = 7,30$ дБ ($A4=400$ Гц) и $C80_{500} = 7,28$ дБ ($A4=500$ Гц).

Расчеты показывают, что в малом театре без зрителей индекс разборчивости речи $STI = 0,725$. Со зрителями $STI = 0,777$ (рис. 9). С активными «голосниками», настроенными на $A4=400$ Гц или $A4=500$ Гц индекс разборчивости речи одинаков $STI(400/500) = 0,799$. При активности «голосников» на 35% (1925 зрителей) увеличивается количество мест с превосходной разборчивостью речи, $STI > 0,75$.

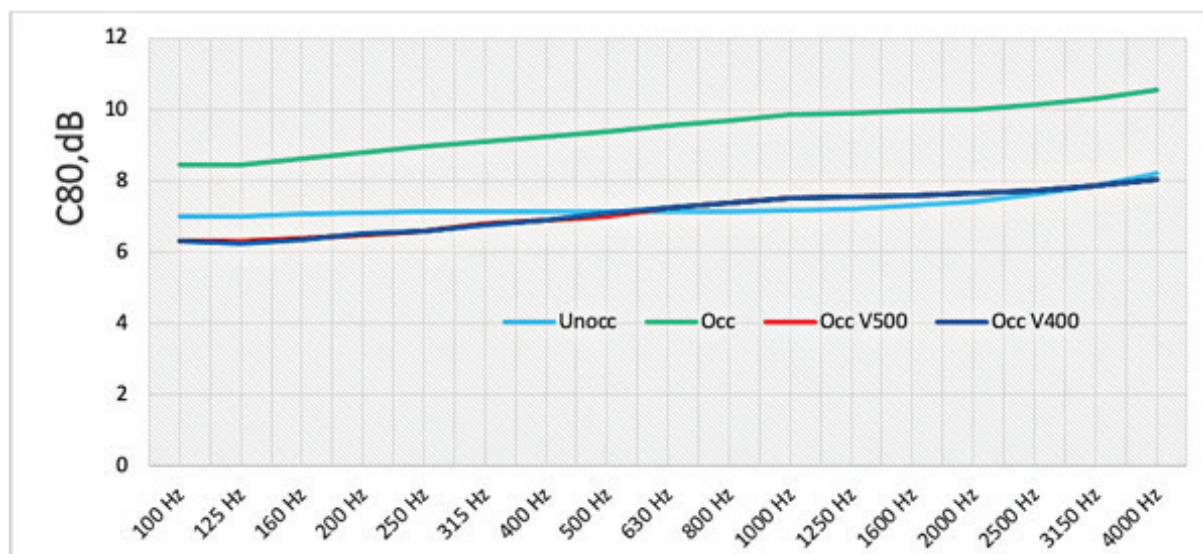


Рис. 8. Графики зависимости значений индекса прозрачности музыки C80 от частоты в малом театре. Автор Ю.И. Исаков

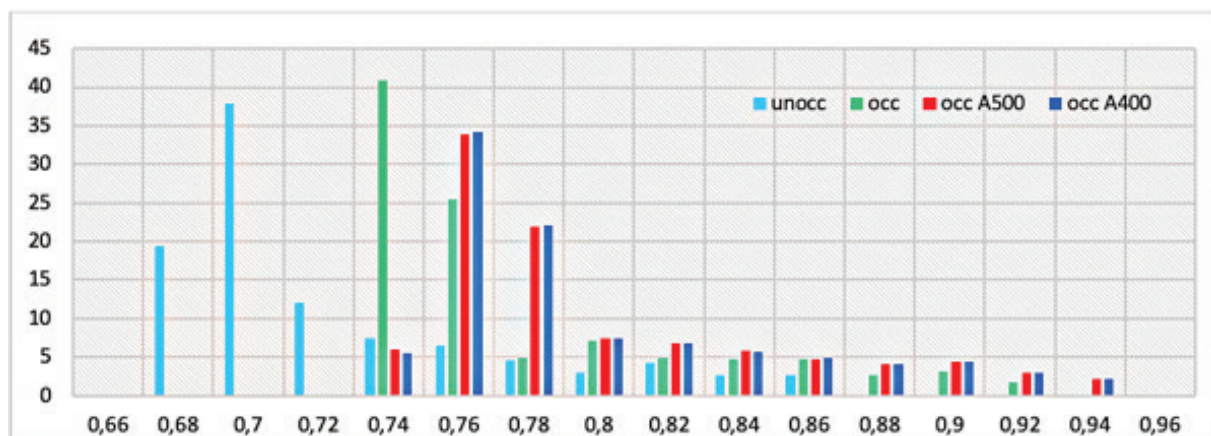


Рис. 9. Гистограммы статистики распределения значений индекса STIs по зрительским местам в малом театре. Автор Ю.И. Исаков

Анализ результатов

Прежде всего, параметры звукового поля собственно зрительного пространства малого классического греческого театра, смоделированные в программе EASE 4.4. хорошо коррелируются с теми, что описаны в публикациях.

Таблица 3

Результаты расчетов параметров звукового поля малого театра

Параметр в диапазоне 500-1000Гц	Без зрителей	Со зрителями	Со зрителями и активными «голосниками» A4=400/500 Гц
RT60, с	0,75	0,60	
C50, дБ	4,02	6,07	3,32/3,29
C80, дБ	7,14	9,61	7,30/7,28
STI	0,725	0,777	0,799

Рассчитанные параметры звукового поля (табл. 3) подтверждают, что описанные Витрувием методы геометрического построения классических греческих 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», но звук становится слишком «сухим», т. е. малоприятным.

Активность «голосников» на низких частотах от 125 до 500 Гц меняет параметры 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 при одновременном увеличении количества зрительских мест с превосходной разборчивостью речи STI >0,75 на 35% в малом театре.

На самом деле чрезмерная прозрачность и ясность музыки снижает ее жизненность, полноту звучания и делает ее малоприятной 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 в диапазоне 125 Гц...500 Гц за счет резонансов «голосников», описанных у Витрувия, позволяет значительно снизить значения параметров C50 и C80 во всем звуковом диапазоне частот, улучшить наполненность звучания музыкальных инструментов и мужских голосов при одновременном улучшении разборчивости речи. Можно сказать, что «прелестная чепуха»⁶ работает!

Моделирование стало возможно благодаря идее, подсказанной самими греками, которые во времена Витрувия называли «звучащие сосуды» (ᾠχεῖα – «голосники»), в современном греческом языке это громкоговорители. Симулирование «голосников» моделями всенаправленных узкополосных излучателей позволило получить подтверждение того, что «голосники» позитивно влияют на параметры звукового поля. Это позволяет также предположить, что Витрувий описал первый в истории опыт применения древними греческими зодчими регенеративной технологии управления звуковым полем [15] в совершенствовании архитектуры зрительного пространства.

Исследование породило очередные загадки, которые требуют более детального изучения, а именно: проверки влияния «голосников» на компьютерной акустической модели большого театра с тремя окружными проходами. Результаты будут описаны во второй части.

Примечания

¹ Jorge Variego – composer, performer – Vitrubius-Book V / Jorge Variego. – URL: <http://jorgevariego.com/?p=675> (Дата обращения 19.06.2020). – Загл. с экрана.

² Перевод на русский автора.

³ ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013. Акустика, Измерение акустических параметров помещений. Часть 1. Зрительные залы. – URL: <http://ivo.garant.ru>

⁴ Отклонение от ноты в музыке измеряется в центах и это практически 200 центов, что является интервалом в тон от требуемой ноты.

⁵ СП 415.1325800.2018. Здания общественные. Правила акустического проектирования. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. – М., 2018. Приложение Г. Таблица Г.2.

⁶ См. Введение

Библиография

1. Витрувий, Десять книг об архитектуре: Том 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. – 720с., ил.
5. Афонасин, Е.В. ΜΟΥΣΙΚΗ ΤΕΧΝΗ: Очерки истории античной музыки / Е.В. Афонасин, А.С. Афонасина, А.И. Щетников. – СПб.: Изд-во РХГА, 2013. – 300 с.
6. Polychronopoulos, S. The Use of Resonators in Ancient Greek Theatres [Электронный ресурс] / S. Polychronopoulos, D. Kougias, P. Polykarpou, D. Skarlatos // Acta Acustica United with Acustica. – 2013. – Vol. 99. – P. 64 – 69. – URL: <https://www.ingentaconnect.com/content/dav/aaaua/2013/00000099/00000001/art00010;jsessionid=1esm7u9gxqzvd.x-ic-live-02>
7. Rindel Jens Holger. Echo problems in Ancient Theatres and a comment to the ‘sounding vessels’ described by Vitruvius [Электронный ресурс] / Rindel Jens Holge // Proceedings of The Acoustics of Ancient Theatres Conference Patras, September 18–21, 2011. – URL: https://odeon.dk/pdf/AA2011_9_Rindel.pdf
8. Rindel Jens Holger. Roman Theatres and Revival of Their Acoustics in the ERATO Project / Rindel Jens Holger [Электронный ресурс] // Acta Acustica United with Acustica. – 2013. – Vol. 99. – P. 21 – 29. – URL: https://odeon.dk/wp-content/uploads/2018/05/A24-ActaAcustica_99_2013_Rindel-1.pdf
9. 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>
10. 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
11. Sato Shin-ichi, Sakai Hiroyuki and Prodi Nicola. Acoustical measurements in Ancient Greek and Roman Theatres 2002 [Электронный ресурс] / Sato Shin-ichi, Sakai Hiroyuki and Prodi Nicola. – Thee of February National University, Argentina. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/239824869>
12. Karampatzakis, P. A study on Aristoxenus acoustic urns [Электронный ресурс] / P. Karampatzakis, V. Zafranas, S. Polychronopoulos, G. Karadedos // The Acoustics of Ancient Theatres Conference Patras, September 18–21, 2011. – URL: https://www.academia.edu/11310192/A_study_on_Aristoxenus_acoustic_urns
13. 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>

14. Sevillano, A. 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>
15. 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. – № 2(12). – URL: http://vestnik.nsglinka.ru/&journal_page=archive&id=13



Лицензия Creative Commons

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

Дата поступления: 11.11.2020

VITRUVIUS ON THE VALUE OF MUSIC FOR ENHANCING THE ARCHITECTURE OF THE ANTIQUE THEATER'S AUDIENCE SPACE. Part 1

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

ББК: 85.113(3)

DOI: 10.47055/1990-4126-2020-4(72)-10

Abstract

Vitruvius' legacy points to the importance of music in architecture for enhancing the acoustics of ancient theaters. In particular, he described in detail the sounding vessels, or $\eta\chi\epsilon\iota\alpha$ – “echea”, the effectiveness of which has not been proven. The effect of “echeas” on the acoustic parameters of a small classical Greek theater is investigated using computer modeling methods. The theater models developed take into account Vitruvius' recommendations and published research and measurements of ancient theater acoustic parameters reconstructed in our time. The descriptions of Vitruvius and the musical theories of Aristoxenus and Pythagoras were considered when developing the “echeas” models. Using the standard algorithm of the EASE4.4 program, the parameters of a small theater were calculated and the C50, C80, STI acoustic parameters of the theater's sound field were found to benefit from the “echeas” or sounding vessels.

Keywords:

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

References

1. Vitruvius. (1936) Ten Books on Architecture: Volume I. Translated by F.A.Petrovsky. Moscow: All-Union Academy of Architecture. (in Russian)
2. Vitruvius. (1914) The Ten Books on Architecture. Translated by Morris Hicky Morgan. 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. Afonasin, E.V., Afonasina, A.S., Shchetnikov, A.I. (2013) ΜΟΥΣΙΚΗ ΤΕΧΝΗ. Essays on the history of ancient music. St. Petersburg: RHGA. (in Russian)
6. Polychronopoulos, S., Kougias, 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]
7. Rindel Jens Holger. (2011) Echo problems in Ancient Theatres and a comment to the ‘sounding vessels’ described by Vitruvius. Proceedings of The Acoustics of Ancient Theatres Conference.

- Patras, September 18-21, 2011 [Online] Available from: https://odeon.dk/pdf/AA2011_9_Rindel.pdf [Accessed 8 November 2020]
8. Rindel Jens Holger.(2013) Roman Theatres and Revival of Their Acoustics in the ERATO Project. *Acta Acustica United with Acustica*, Vol. 99 (2013), pp. 21 – 29 [Online] Available from: https://odeon.dk/wp-content/uploads/2018/05/A24-ActaAcustica_99_2013_Rindel-1.pdf [Accessed 2 July 2020]
 9. 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]
 10. Godman, R. (2008) The enigma of vitruvian resonating vases and the relevance of the concept for today. 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]
 11. Sato Shin-ichi; Sakai Hiroyuki; and Prodi Nicola. (2002) Acoustical measurements in Ancient Greek and Roman Theatres. [Online] Available from: <https://www.researchgate.net/publication/239824869> . [Accessed 13 June 2020]
 12. 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, 2011., [Online] Available from: https://www.academia.edu/11310192/A_study_on_Aristoxenus_acoustic_urns [Accessed 2 July 2020]
 13. Telemachos K. Zakynthinos (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]
 14. Barba Sevillano, A., Lacatis, R., Giménez, 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].
 15. 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)