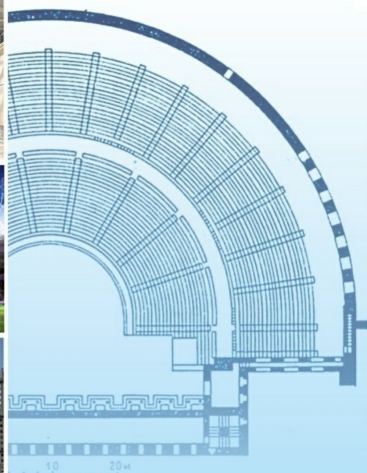
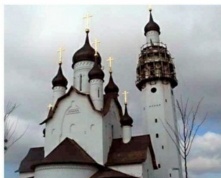


Анатолий Кочнев

# ГАРМОНИЯ

АРХИТЕКТУРЫ  
И АКУСТИКИ



12+

# **Анатолий Петрович Кочнев**

# **Гармония архитектуры**

# **и акустики**

*[http://www.litres.ru/pages/biblio\\_book/?art=56436164](http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=56436164)*

*SelfPub; 2020*

*ISBN 978-5-532-05197-3*

## **Аннотация**

Монография посвящена результатам авторских проектных разработок и исследований объектов духовной жизни человека в гармонии архитектуры и акустики храмовых, театральных, спортивных сооружений: от известного нам Кромлеха Стоунхенджа в английском графстве Солсбери (третье тысячелетие до н.э.), театральной площадки в Кноссе на острове Крит (XV век до н.э.), амфитеатров на холмах Афин (VI век до н.э.), театра в Пальмире (Сирия) до Государственной академической капеллы, второй сцены Мариинского оперного театра и крупнейшего стадиона «Зенит-Арена» в Северной Пальмире (Санкт-Петербург, Россия).

# Содержание

Об авторе	5
Введение	8
1. От Стоунхенджа, театральной площадки в Кноссе на острове Крит, греческих и римских театров до храмовых, театральных сооружений и стадиона «Зенит-Арена» на 68 тысяч зрителей в Санкт-Петербурге	17
2. Реконструкция капеллы в СПб (реконструкция концертного зала Государственной Академической Капеллы в Санкт-Петербурге)	55
2.1. Характеристика исторических конструкций над концертным залом	61
2.2. Основные акустические параметры концертного зала Капеллы	63
2.3. Предложение института ООО «Гипроттеатр» по проекту реконструкции	65
2.4. Главные акустические и теплоэнергетические идеи Л.Бенуа, реализованные в конце XIX века	67
2.5. О неопустимости изменений исторической конструкции чердачного перекрытия, которые могли бы привести	77

к ухудшению акустики концертного зала Капеллы	
2.6. Заключение по главе 2	85
3. Оперный театр. Новое здание Академического Мариинского театра. Участие в международном конкурсе	87
3.1. Базовый вариант	93
Конец ознакомительного фрагмента.	113

# Об авторе

Образование: инженер по специальности «промышленное и гражданское строительство» (1965); аспирантура МИСИ им. В. В.Куйбышева по кафедре Архитектура (1971); вечерние трехлетние курсы «Математика для инженеров» ЛГУ им. М. В.Ломоносова (1980–1982).

Впервые в Санкт-Петербурге организовал и осуществлял теплоэнергетическое проектирование зданий на основе температурных полей (1994–2015).

Ведёт акустическое проектирование храмовых сооружений по просьбам служителей церкви или авторов архитектурных проектов. В коллективе одной из 11-ти участвующих в конкурсе архитектурных групп из России, США, Японии, Голландии, Франции разработал и лично представил международному жюри свой конкурсный акустический проект второй сцены Мариинского Государственного оперного театра в Санкт-Петербурге (2003).

Разработал принципиальную архитектурно-планировочную схему, а также ряд конструктивных решений (патент №2004112037/22 (013052) с приоритетом от 22.04.2004 года) и применил их в первом в Санкт-Петербурге и в России специальном комплексе с шумозащитной функцией, построенном на улице Матроса Железняка в Санкт-Петербурге с целью реабилитации городских территорий по шумовому

загрязнению (12–22 этажа, длина 350м). В службе заказчика курировал архитектурное проектирование и строительство этого здания.

При акустических обследованиях концертного зала Государственной Академической Капеллы в Санкт-Петербурге выявил и при реконструкции сохранил для будущих поколений 18 низкочастотных резонаторов в потолке зала, длиной 23 метра каждый (архитектор Бенуа, 19-й век), имеющих решающее значение для акустики данного зала и формирующих функцию потолка, как потолка-деки в широком диапазоне частот (2005).

Разработал акустическую концепцию (февраль-август 2012 года) многопрофильного использования нового стадиона «Зенит-Арена» в Санкт-Петербурге (в части театральной технологии и акустических конструкций в режиме «Наследие»).

Соавтор разработки ныне действующего регионального (северо-западный регион России) нормативно-методического документа «Рекомендации по обеспечению энергетической эффективности жилых и общественных зданий. РМД 23–16–2012» (2013).

Член российского «Интеграл-Клуба», автор методики расчёта шума, автор идеи создания и соавтор разработки фирмой «Интеграл» программного комплекса «Эколог-шум», который уже на протяжении 20 лет успешно применяется при экологическом и акустическом проектирова-

нии крупных градостроительных комплексов всеми проектными организациями России и ближнего зарубежья (2000–2020). Программный комплекс использован и при составлении карты шума автотранспортных потоков Санкт-Петербурга в 2005 г. по заказу Комитета по охране окружающей среды.

Автор более семидесяти рукописных и печатных научных трудов, изобретений и патентов.



# Введение

Технологии естественной акустики демонстрируются в монографии тщательным исследованием достижений и трудностей в реализациях архитектурных проектных решений в разные исторические эпохи. Среди объектов, представляемых читателю, есть как широко известные во всём мире памятники культуры и искусства, так и те, которые лишь с недавнего времени играют заметную роль в общественной жизни, например, Санкт-Петербурга.

Монография посвящена результатам авторских проектных разработок и исследований объектов духовной жизни человека в гармонии архитектуры и акустики храмовых, театральных, спортивных сооружений: от известного нам Кромлеха Стоунхенджа в английском графстве Солсбери (третье тысячелетие до н.э.), театральной площадки в Кносе на острове Крит (XV век до н.э.), амфитеатров на холмах Афин (VI век до н.э.), театра в Пальмире (Сирия) до Государственной Академической Капеллы, Второй Сцены Мариинского оперного театра и крупнейшего стадиона «Зенит-Арена» в Северной Пальмире (Санкт-Петербург, Россия).

Можно предположить, что многие и многие тысячелетия



до нашей эры авторы Кромлеха Стоунхенджа, Блукенджа и других подобных древнейших и древних сооружений, например, во Франции, в Карелии не только находились у истоков архитектурно-акустической гармонии, но и создавали её.

Разумеется, что анализируя эти примеры мы говорим об архитектурно-акустической гармонии не в современном её понимании, а как о доказательных зачатках «настройки» древними создателями взаимодействия конкретных объёмов строительного материала с энергетической «реакцией» комплекса этих объёмов (с их энергетическим откликом), а также – с воздействием на внешнюю среду, на духовный мир человека.

В более поздние времена – во втором тысячелетии до новой эры – важное значение стали приобретать локальные (дворцовые) многоярусные сооружения, рассчитанные на качественное восприятие театральных постановок. В подобных светских сооружениях уже весьма и очевидно просматривается решение задач гармонизации архитектуры и акустики – архитектурно-акустическая гармонизация. Такие примеры мы будем анализировать в первой главе, когда речь пойдёт о дворцовой театральной площадке в Кноссе на острове Крит или — о театре на холмах Афин.

Следовательно, истоки архитектурно-акустической гармонии – полной согласованности архитектурных и акустиче-

ских параметров – возникли в глубочайшей древности. Эту проблему мы также начнём обсуждать предметно в первой аналитической главе.

Изучая историю архитектурной акустики мы пришли к выводу, что искусство акустического проектирования и в древний период развития человечества, и в наши дни связано с грамотным выбором объемов, форм и пропорций залов; с количеством, качеством и пространственным расположением отдельных (звукоотражающих и звукопоглощающих) материалов, т.е. непосредственно с архитектурным проектированием, с созданием комфортной звуковой среды, благоприятного и эстетически возвышенного акустического микроклимата.

Архитектурно-акустическая связь времён состоит в том, что выявленные в древних театрах акустические элементы интерьеров театров, важные инструменты для создания акустики театра мы с различным успехом разрабатываем в деталях и применяем до сего времени.

Архитекторы и акустики будут эти важные инструменты применять и во все последующие периоды, пока наиболее привлекательным остаётся использование законов естественной акустики наряду с широким внедрением искусственных средств звукоусиления (средств электроакустики).

В монографии рассматриваются результаты приложений

автором технологий естественной акустики в проектировании, реставрации или строительстве ряда объектов Санкт-Петербурга. Применение технологий естественной акустики иллюстрируется тщательным исследованием достижений и трудностей в реализации проектных решений.

Среди объектов, представляемых читателю, есть как широко известные во всём мире памятники культуры и искусства, так и те, которые играют лишь с недавнего времени заметную роль в общественной жизни Санкт-Петербурга.

Безусловно, что монография может быть интересной молодым специалистам, связавших или связывающих свою жизнь с изучением и/или решением акустических проблем в различных жизненных ситуациях. Может быть – и студентам, изучающим опыт осознания акустики в окружающей среде. Автор пребывает также в надежде, что молодые и зрелые специалисты в своей области после прочтения монографии не будут легко верить судьбу своих проектов компьютерным акустическим программам; а будут эти программы применять осознанно, а, может быть, и создавать свои программные произведения с более полным охватом методов решения акустических задач, с учётом отечественного, зарубежного опыта исследований и проектирования храмовых, театральных и спортивных сооружений.

Как представляется автору, книга нужна и священнослужителям, на определённом этапе посвятившим себя восстановлению или строительству храмов, а также театральным

деятелям, посвятившим себя реконструкции или созданию новых центров театральной культуры. Ибо без некоторых знаний затруднительно выполнять такие виды работ в соответствии с необходимыми техническими и, даже, архитектурно-планировочными решениями, а также – функциональной целесообразностью.

Из двенадцати глав монографии первая посвящена весьма длительному периоду становления, совершенствования театральной акустики в древнем мире и средневековье, а также анализу прекрасных акустических качеств исторических памятников архитектуры.

Вторая глава – это принятые и реализованные автором решения по акустической реконструкции концертного зала Государственной Академической Капеллы, построенного в XIX веке по проекту архитектора Л.Бенуа (реставрация 2005 года).

Третья глава – включает аналитическое повествование о разработке акустического проекта новой сцены Мариинского оперного театра на 2000 мест, специально представленного автором на заседании международного жюри конкурса «Мариинский II» в 2003 году.

В главы, с четвёртой по седьмую, включены авторские акустические разработки по новому проектированию, строительству и предложения по реконструкции трёх храмовых комплексов в Санкт-Петербурге, а именно: – построенная по

авторскому проекту и в 2000 году освящённая церковь Успения Пресвятой Богородицы (Блокадный храм) на Малоохтинском проспекте; в шестой главе – новопостроенный храм Первоверховного Апостола Петра, а в седьмой – псевдошатровая церковь Воскресения Христова в Шушарах (2010 год) с практически полезным анализом строительно-акустических ошибок.

Восьмая глава знакомит читателя с исследованиями по акустическому проекту многофункционального зрительного зала, размещаемого в сложнейших условиях акустически несоразмерного атриума, расположенного на Английской набережной в Санкт-Петербурге.

Девятая глава интересна рассмотрением, оценкой принципиальных и практически важных проблем и предложений по акустическому проектированию уникального объёма здания ледовой арены (более 500 тысяч м<sup>3</sup>) в Полежаевском парке.

В десятой главе представлена авторская акустическая концепция футбольного стадиона Zenit-Арена на 68 тысяч зрителей (возведённого на Крестовском острове в Санкт-Петербурге к чемпионату мира по футболу 2018 года). Представлены результаты исследований акустического благоустройства стадиона и предложения по модернизации систем звукоусиления при многопрофильном его использования в режиме «Наследие» для ШОУ-программ, симфонических концертов и, даже, оперных постановок.

В последних двух главах автор следует известному и верному правилу, что нет хорошей акустики (любого помещения и любого зрительного зала театра) без хорошей шумозащиты (изоляции любого помещения и зрительного зала театра от шумового воздействия внешней среды).

Если в храме совершается молебен, или — в театре начался спектакль и в зрительном зале наслаждаются музыкой, то явно нежелательно (прихожанам в храме и зрителям в театре) в это же время услышать пролетающий самолёт, или проходящий мимо театра поток наземного транспорта.

Поэтому признано целесообразным начать детальное рассмотрение теории и практики решения проблем защиты от шума наземного и авиационного транспорта.

С этой целью рассмотрены две темы, а именно:

1. Новая методика расчёта транспортного шума в городской застройке (глава одиннадцатая). В одиннадцатой главе – изложены теория, методика и обосновано программное обеспечение расчётов для сложных вариантов шумового загрязнения, а также реабилитации городских кварталов, других поселений при шумовом воздействии наземного и авиационного транспорта. Даны принципы и проектный пример планировки крупного жилого квартала с полной защитой от шума наземного транспорта на 2 000 000 м<sup>2</sup> жилой площади

(ориентировочно – на 200 тысяч жителей). Читатель знакомится с принципиально новым архитектурным вариантом и комплексом защиты от авиационного шума.

2. Многофункциональный жилой комплекс на улице Матроса Железняка (глава двенадцатая). Подробно анализируются авторские предпроектные разработки, а также — проектные материалы о построенном в 2006 году первом и крупнейшем в Санкт-Петербурге шумозащитном комплексе. Демонстрируются разработанные принципы реабилитации ныне нуждающихся в этом обширных городских селитебных территорий и промышленных зон по фактору шума и другим загрязнениям.

Проблема защиты от шума неразрывно связана с созданием акустически благоприятной окружающей среды во время пребывания человека как в храме, театре или на стадионе, так и в его жилище.

В этой части предлагаются: важная для городского хозяйства в различных регионах — и в малых, и средних, и крупных городах — методика и возможность реабилитации отчуждаемых городских земель, а также возможность вернуть названным землям статус селитебных с допустимыми санитарно-гигиеническими условиями проживания. На прединвестиционной стадии одновременно решаются две главные задачи: обеспечить благоприятную акустическую обстановку на выбранной территории и сформулировать инвестици-

онную привлекательность реализации проекта шумозащиты населения.

Разработанные автором в одиннадцатой и двенадцатой главах технические решения шумозащиты в градостроительных комплексах расширяют диапазон допустимого уровня звука на прилегающих к ним транспортных магистралях; сохраняют комфортные, нормативно обусловленные, возможности для жизнедеятельности людей. С общей точки зрения и в государственных масштабах не менее значительно обеспечение такими градостроительными комплексами реальной возможности целесообразной и вполне достижимой реабилитации городских территорий по фактору шума и вибрации.





# **1. От Стоунхенджа, театральной площадки в Кноссе на острове Крит, греческих и римских театров до храмовых, театральных сооружений и стадиона «Зенит-Арена» на 68 тысяч зрителей в Санкт-Петербурге**

Археологическое и историко-культурное открытия древнего памятника – Кромлеха Стоунхенджа в графстве Солсбери (Англия) [3, 5, 9] позволяют провести соответствующий анализ возможных, но далеко не очевидных акустических воздействий этого памятника на человека.

На схематическом плане Стоунхенджа мы даём графическое представление некоторых первых акустических отражений, которые могли формировать реальные акустические эффекты (фокусировку и/или весьма интенсивное усиление, в том числе и – низкочастотной – энергии) в любом секторе Стоунхенджа и любого иного подобного сооружения, составленного из камня (рисунок 1.1).

Эти возможности связаны с надлежащим выбором положения источника звуковой энергии (S) и в зависимости от

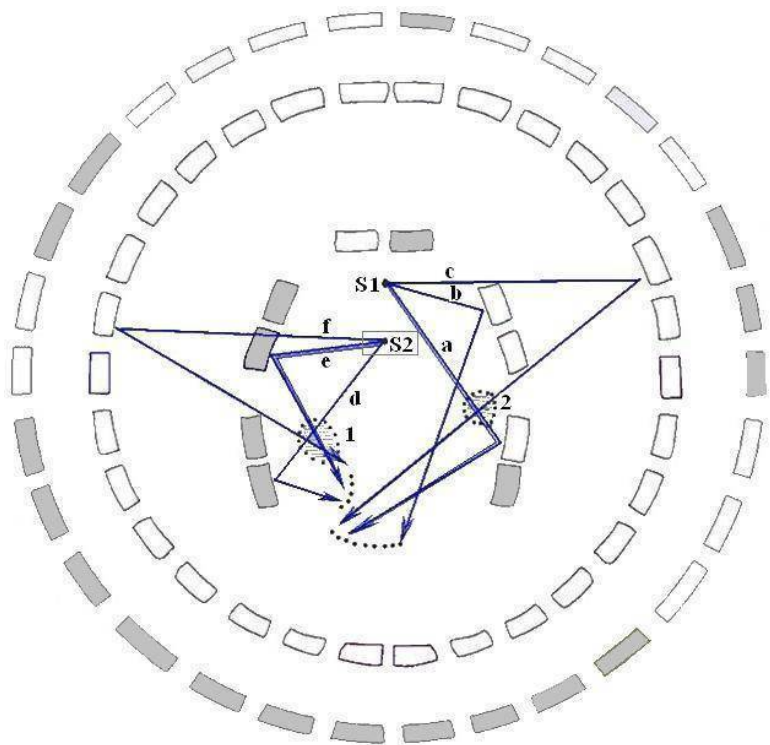
углов поворота камня Кромлеха в горизонтальной или вертикальной плоскостях.

Одновременно с этим можно сказать, что фокусировка и эффективное усиление звуковой энергии могли быть использованы для каких-либо технологических целей Кромлеха Стоунхенджа и любого иного подобного сооружения, неизвестных нам достоверно.

Слух и центральная нервная система,  $\alpha$ -ритмы головного мозга или  $\beta$ -ритмы центральной нервной системы не только древнего, но и современного нам человека, настроенные на слуховые рецепторы и рецепторы центральной нервной системы, дают нам основание так полагать.

Теперь же мы можем только неуверенно предполагать функциональное назначение этих акустических эффектов, но пока воздержимся и от этого, а также и от детализации такого назначения в связи с ненужным здесь удалением от тематики естественной акустики.

Важно лишь отметить, что в выявленной в нашем будущем значимости для человека древнейших сооружений из камня (Кромлеха Стоунхенджа, Блухенджа и других), если они предназначены для этого человека, вполне естественно заключена и архитектурно-акустическая гармония, сопровождающая технологическое предназначение сооружения. Эта гармония некоторым образом и в ряде взаимосвязей демонстрируется на рисунке 1.1.



*Рисунок 1.1*

*Схематический план Кромлеха Стоунхенджа*

*S1, S2 – варианты положения источника энергии; a, b, c, d, e, f – первые отражения энергии; 1, 2 – зоны многократного увеличения интенсивности энергии*

Ныне известна, например, театральная сценическая площадка в Кноссе на острове Крит, датируемая XV веком до новой эры, в которой для сравнительно небольшого количества зрителей создана система ярусных ступенчатых сидений ( рисунок 1.2 ) [ 6 ].

Дворцовая архитектура и театральная акустика на естественном рельефе, в данном случае гармонично взаимодействуя, могли оказывать на публику исключительно благотворное воздействие.

Залогом такого благотворного воздействия является тщательно продуманное размещение зрительских мест относительно сценической площадки и пространственное взаимодействие рефлекторов (отражателей звука), ярусов для сидения, а так же и сценической площадки ( рисунок 1.3 ) [6].

На рисунке 1.3 можно видеть, что один из рефлекторов (3) формировал структуру первых отражений на левой половине зрительских мест, а второй из рефлекторов (3) – на правой половине зрительских мест.

Известный историк архитектуры И. В.Блохина считает, что «Продолжением идей, которые в примитивном виде содержатся в Стоунхендже, является греческий театр с его центральной частью и круговыми трибунами для зрителей» [3] !!! С автором приведённой цитаты можно с полным основанием согласиться, оставляя вне поля нашего зрения мнение о «..примитивном виде...».

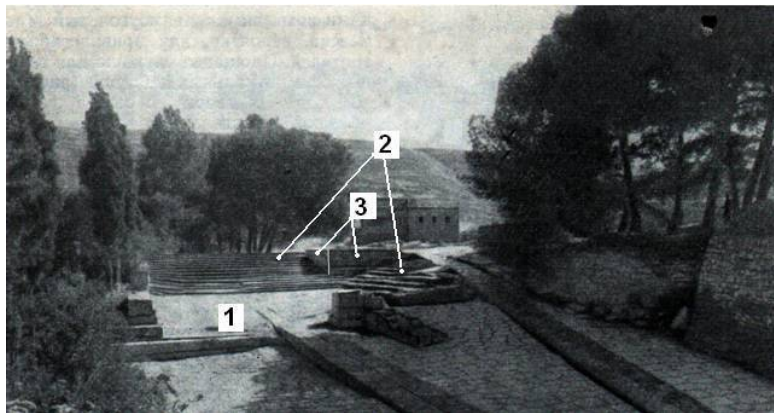


Рисунок 1.2

*Взаимосвязь дворцовой архитектуры и театральной площадки в Кноссе на острове Крит (XV век до новой эры)*

*1 – сценическая площадка; 2 – ярусы сидений для зрителей; 3 – рефлекторы (отражатели звука), предназначенные для наполнения звуковой энергией зрительских мест (для создания наилучшей структуры первых отражений звука на удалённых от сценической площадки местах)*

Сооружения Кромлеха Стоунхенджа и их технологическая сущность, на мой взгляд, с энергетической точки зрения очень далеки от примитивности! Они «загадочны», может быть, в какой-то мере, непонятны – да, но не примитивны!

Гораздо позже первых театральных сценических площадок, рассчитанных на сравнительно небольшое количество зрителей, например в Кноссе на Крите, народы, жаждущие общения и зрелищ, начали создавать театры большой вместимости – до десяти и более тысяч человек. Приведём примеры некоторых известных сооружений шестого века до новой эры и более поздних исторических эпох.

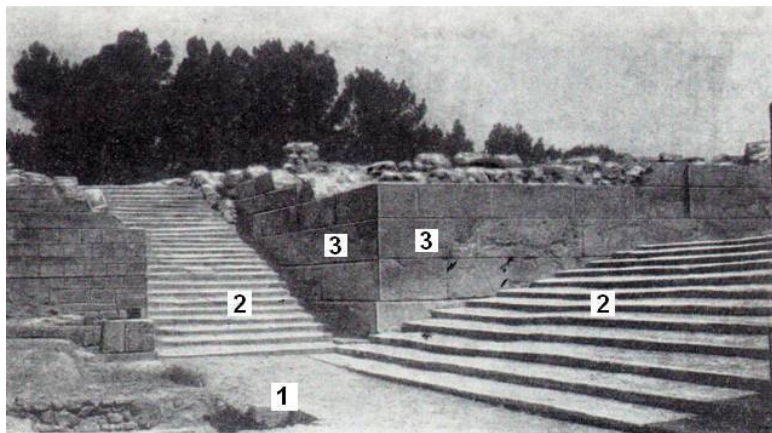


Рисунок 1.3

*Театральная дворцовая площадка в Кноссе на острове Крит (XV век до новой эры)*

*1 – сценическая площадка; 2 – ярусы сидений для зрителей; 3 – рефлексоры (отражатели звука), предназначенные*

*для наполнения звуковой энергией зрительских мест (для создания наилучшей структуры первых отражений звука на удалённых от сценической площадки местах)*

Первые такие театры выбирались в естественной природной среде – под открытым небом и на склонах холмов (рисунки 1.4 и 1.5) [ 7 ].

Театр Диониса в Афинах построен на скалах южного склона Акрополя.

Природа создавала роскошные декорации – безоблачное небо, чёрные грозовые тучи, громы, молнии и шум моря.

В скалах было удобно устраивать и сиденья для зрителей. Склоны холмов настолько были удобны; скалы настолько зрительно защищали театры по их внешней границе, что решено было и стены театров не возводить. Стены строились только в сценической части.

Строительство театра Диониса начато в VI веке до новой эры. Театр вмещал 17 тысяч зрителей; он имел неправильную форму.

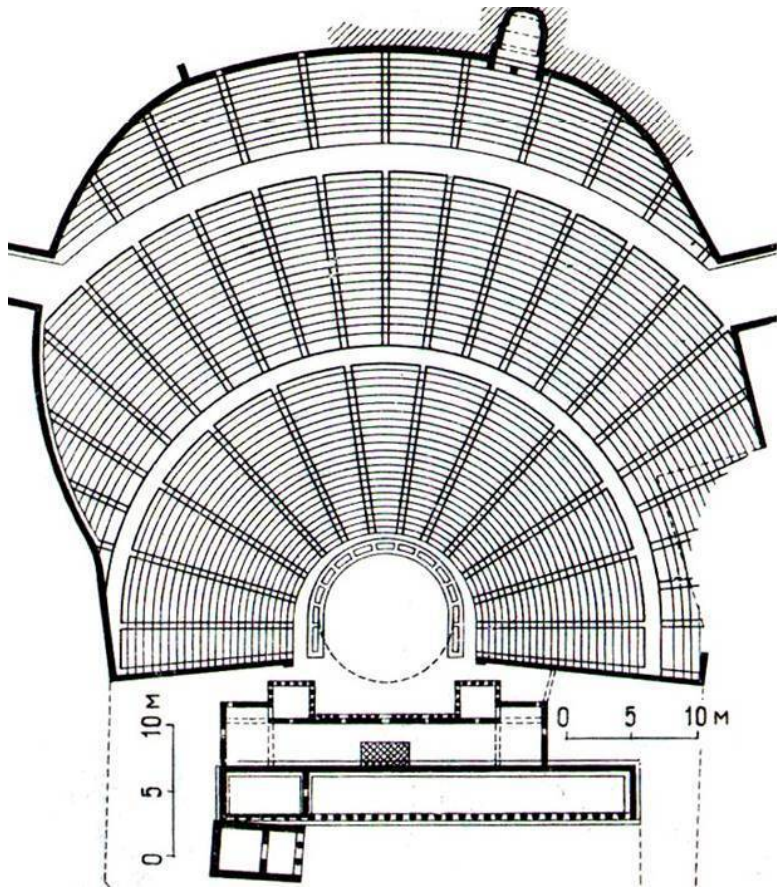


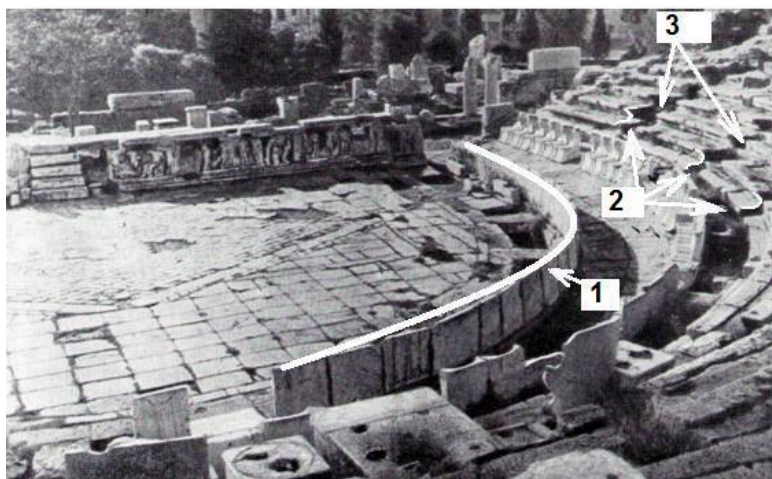
Рисунок 1.4

*Театр Диониса на холмах в Афинах (План)*



Верхний переход для зрителей располагался на высоте 22,5 метра над уровнем оркестры. Высота ступенчатых мест 330 мм, т.к. сиденья были рассчитаны на укладку подушек. Ширина каждого уступа 850мм. Ступени лестниц имели уклон в сторону сцены такой, что наружный край ступени имел высоту 220мм, а внутренний край – 330мм [ 7 ]. Ступени зрительских мест имели углубления шириной 400мм для ступней ног зрителей.

Указанные здесь размеры элементов амфитеатра необходимы нам для анализа, в последующем, характеристик своеобразных резонаторов, наличие которых позволяло древним зодчим усиливать звучание голосов артистов и оркестров.



## Рисунок 1.5

*Театр Диониса на холмах в Афинах (Детали амфитеатра. Вид руин)*

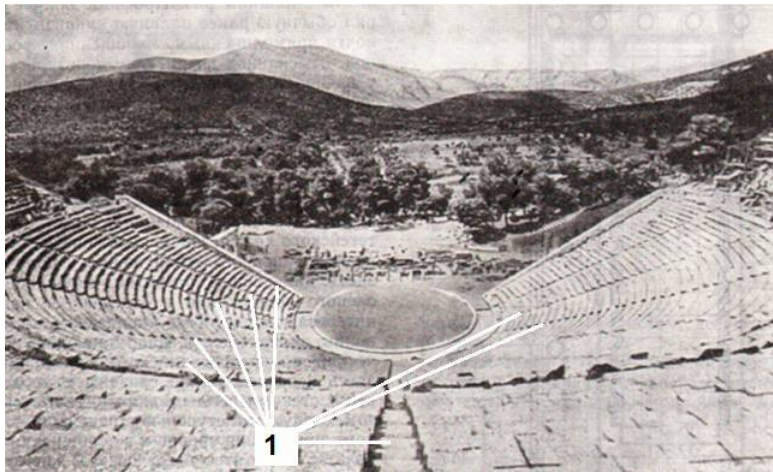
*1 – направления кривизны системы линейных открытых резонаторов (встроенных в основания зрительских мест); 2 – форма кривизны в поперечном направлении в системе линейных открытых резонаторов, встроенных в основания зрительских мест; 3 – радиальные направления (лучи) заглубленных ступеней лестниц*

Уклон ступеней лестниц по направлению к сцене был предусмотрен для отражения и рассеивания звука, приходящего со сцены. Ступени лестниц были сильно заглублены по отношению к ступеням зрительских мест.

Данная особенность «радиальных лестничных лучей» хорошо просматривается на рисунке 1.5 и на рисунке 1.6 в театре Эпидавра. Благодаря этому по двадцати радиальным «лучам» лестниц образовалось двадцать длинных волноводов.

Волноводы эти, в свою очередь, становились широкополосными (в силу особенности резонатора, открытого по всей значительной его длине в верхней своей части) усилителями звука (резонаторами).

Размеры ступеней способствовали образованию резонансов на средних и высоких частотах.



*Рисунок 1.6*

*Театр в Эпидавре (IV век до новой эры) [7]*

*1 – радиальные «лучи» заглубленных ступеней лестниц (волноводы)*

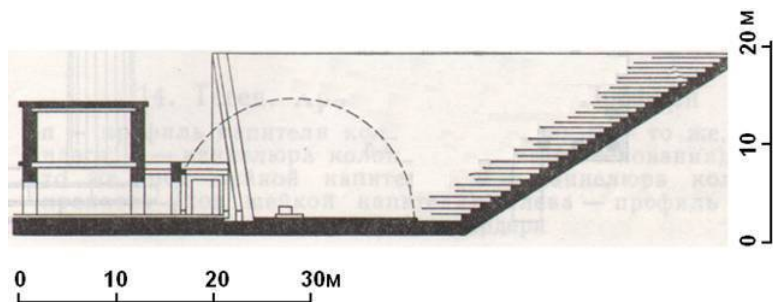
Другая система линейных открытых резонаторов была встроена в основания зрительских мест. Резонаторы и в продольном и в поперечном (это очень важно) направлениях имеют криволинейную или линейную полузамкнутую форму, что способствует полезной фокусировке и концентрации звучания на зрительских местах. Далее эти особенности ступеней зрительских мест будут детально анализироваться.

Интересно заметить, что количество лучевых длинных

волноводов во втором ярусе зрительских мест Афинского театра в два раза больше, чем в первом ярусе (рисунок 1.5). Аналогичное решение принято и в театре в Аспенде (рисунок 1.11). Пояснение этого факта также будет дано несколько позже.

Театр в Эпидавре (рисунок 1.6) прекрасно расположен; у театра замечательные акустические качества – это один из лучших примеров открытых театральных сооружений [7].

В нём так же, как и в театре Афин есть длинные резонаторы – полости в ступенях лестниц, т.е. длинные волноводы, передающие и усиливающие звук снизу (от сцены) к дальним местам в амфитеатре.



*Рисунок 1.7*

*Театр в Эпидавре. Разрез ( IV век до новой эры)*

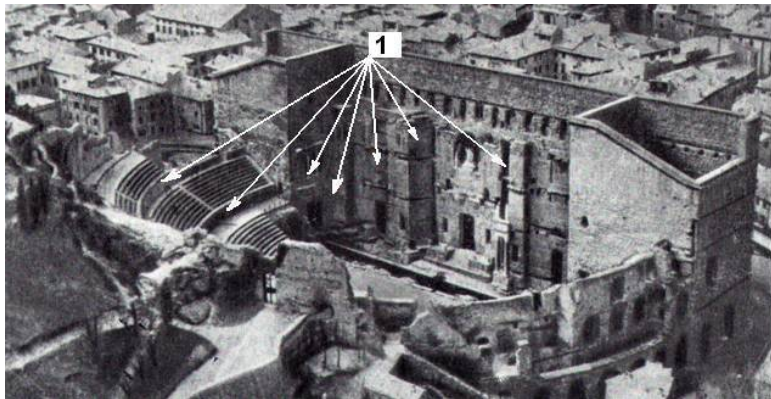
Перепад между верхней и нижней точкой на разрезе ам-

фитеатра 20 метров (рисунок 1.7) [7], принятый при строительстве, позволил обеспечить требуемый для акустики уклон зрительских мест и, одновременно, — очень хорошую видимость действия на сцене.

В таком варианте поперечного сечения театрального сооружения снабжение зрителей прямой звуковой энергией от источника на сцене было очень внимательно предусмотрено.

Для усиления звука среди зрительских мест зачастую использовались не только резонирующие объёмы. В театральных постановках у актёров могли быть маски со встроенными резонаторами различного вида, в том числе и рупорного типа. Рупорные резонаторы практически не искажают спектральный состав речи или мелодии, лишь повышая в определённой мере громкость. Рупорные резонаторы не поглощали, а только усиливали звук, потому что источник звука находился внутри такого резонатора – это голос говорящего или поющего актёра.

Актёры приподнимались над сценой на котурнах, чтобы демонстрировать значимость той или иной роли, одновременно улучшая слышимость на местах как прямого, так и отражённого звуков.



*Рисунок 1.8*

*Театр в Оранже (Галлия). 1 век до новой эры*

*1 – вертикальные рефлекторы (отражатели звука)*

Среди встроенных в холм театров, главным фасадом которых является наружная стена сцены, лучше других сохранился театр в Араузо (современный Оранж, Галлия). Этот театр (рисунок 1.8) при диаметре 103 метра вмещал 7 тысяч зрителей [7]. Театр имел весьма развитую систему вертикальных рефлекторов (7 позиций №1 на рисунке 1.8), способствующую усилению звука и формированию структуры первых отражений.

Развитая плоскость фасада площадью 30х103 метра выглядит весьма внушительно. По верху эта стена имеет два ряда отверстий (рисунок 1.9) для кронштейнов – опор стоек

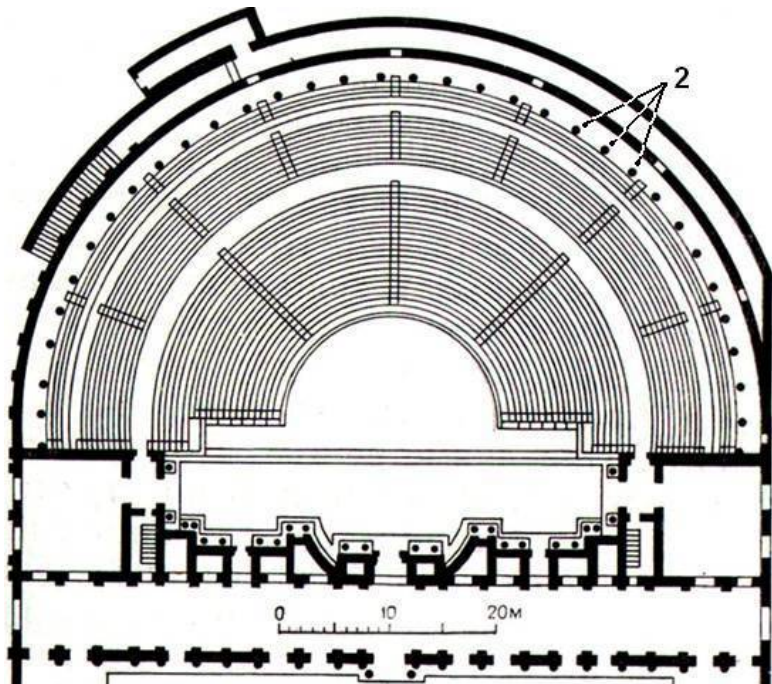
велария (тента для защиты зрителей и актёров от непогоды).

Веларий также мог быть весьма интересным и своеобразным рефлектором при достаточно большом весе единицы его площади.

Ярким примером театра с пространственно развитой сценой и амфитеатром является сохранившийся до наших дней театр в Пальмире (Сирия) [14]. Строители этого театра возвели его на ровной поверхности, не используя рельеф местности, так как местность пустынна. Театр не был традиционно «встроен» в холм, как, например, театр в Араузо или в Оранже (Галлия). Не только стены на сцене театра, но и трибуны (и основание этих трибун) здесь были возведены из естественного камня.

Представляем ещё один театр в Галлии (II век новой эры), в Аспенде (рисунки 1.10 и 1.11).

Для II века новой эры характерно то, что мы наблюдаем наличие в театре уже почти всех видов известных в наше время рефлекторов и рассеивателей, которые применяются в современных: концертных залах, оперных театрах и других зрелищных сооружениях.



*Рисунок 1.9*

*Театр в Оранже (Галлия). 1 век до новой эры*

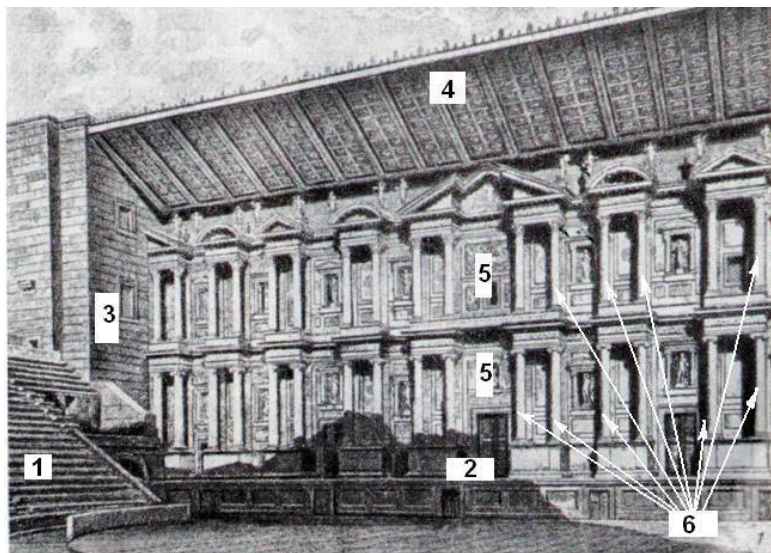
*2 – стойки вилярия – своеобразного тента для защиты зрителей и актёров от непогоды*

Так же, как в Афинском театре VI века до новой эры (план на рисунке 1.4) в театре Аспенда II века новой эры (план на рисунке 1.11) количество лучевых лестниц во втором ярусе



в два раза больше, чем в первом ярусе.

Двухкратное (с 10 до 20) возрастание количества лучевых длинных волноводов приводит к возрастанию в два раза излучаемой волноводами энергии, т.е. – к возрастанию уровня звуковой энергии на 3 децибела. Это весьма положительно сказывается на восприятии зрителями звучания спектакля.



*Рисунок 1.10 [7]*

*Аспенд. Театр. Сцена*

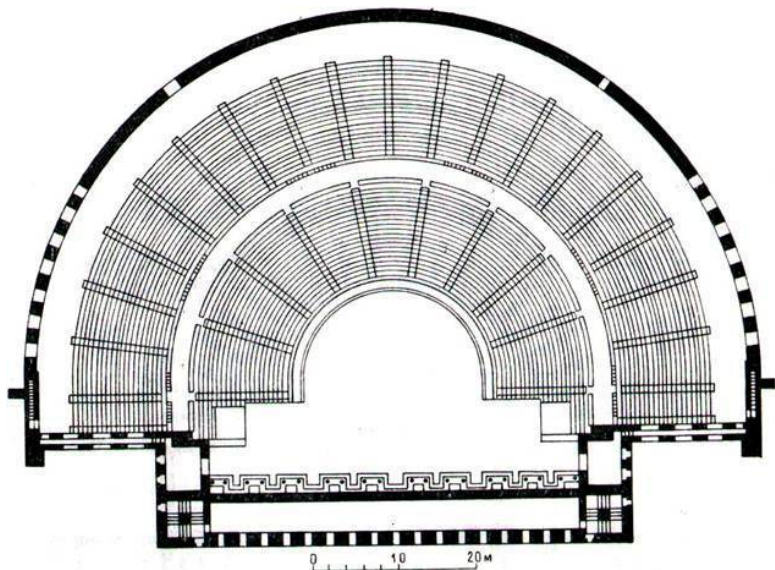
*1 – зрительские места, 2 – сцена, 3 – вертикальный ре-*

*флeктор, 4 – горизонтальный или наклонный рефлeктор, 5 – центры плоскостей рефлeктора-«задника» (вся стена за сценой), 6 – часть развитой системы рассеивателей*

В театре Аспенда регулирование наклона горизонтального рефлeктора (позиция 4 на рисунке 1.10) не могло быть осуществлено. Этот рефлeктор мог быть либо только наклонный, без изменения угла поворота, либо – нет из-за отсутствия реальных возможностей выбора и применения соответствующих конструкций.

Однако регулирование наклона этого рефлeктора, если бы было возможно, позволило бы регулировать и время реверберации в театре.

В главе, посвященной Мариинскому оперному театру, все выгоды для акустики зала при технологической возможности динамичного изменении угла поворота рефлeктора над сценой будут мною наглядно и полезно продемонстрированы.



*Рисунок 1.11 [7]*

*Аспенд. Театр. План*

В конкурсном проекте Мариинского оперного театра регулирование наклона горизонтального рефлектора нами было применено при технологическом переходе от постановки оперного спектакля к симфоническому концерту, когда в зале перед спектаклем в течение в течение весьма короткого интервала времени — в три-четыре часа — требовалось создавать то или иное время реверберации при сохранении

оптимальной структуры первых отражений (глава 3).

В средние века нашей эры акустические традиции театрального зодчества не только сохранялись как неизменные достижения древних времён, но и развивались соответственно тематике театральных постановок и техническим усовершенствованиям театральных технологий.

К греческим и римским амфитеатрам, где зрители располагались полукругом на постепенно повышающихся уровнях, своими корнями восходит архитектура современных оперных театров. Их архитектура может быть названа классической.

Форма зала в виде параболоидной чаши позволяла сократить его длину и обеспечить прямыми звуковыми лучами все точки зала.

Переход от открытых амфитеатров к полностью закрытым театрам был начат в XVI веке.

Из множества известнейших образцов для современности упомянем прекрасное сооружение высокой готики – Капеллу Сент-Шапель в Париже, в которой хорошо развитое акустическое пространство не имело недостатков [3]. Восхищает не только торжественность, красота, но и акустическая предопределённость параметров интерьера и отделки главного храма гуситской чешской церкви в Праге (XVI–XVII века) [3].

Среди широко известных примеров средневековья можно назвать, конечно, оперный театр в Пале – Рояль (1763 год),

театр в Версале (1770 год), Опера в Моро, театр в Лионе (вторая половина XVIII века) [3].

Появляются криволинейные планы зрительных залов достаточно сложной конфигурации.

Например, оперный театр в Берлине (1774 год) [3] уже отличается развитым сценическим пространством, хорошо акустически связанным со зрительным залом и оркестром. Зрительный зал здесь принимает знакомые, практически современные нам пропорции и формы.

Таким образом, в древнейших и древних театрах, в театрах средневековья закладывались начала методов создания наилучшей (подобающей) структуры первых отражений в современном театре, без которой хороший нынешний театр существовать и успешно развиваться не может.

Следовательно, архитектурная акустика – это старейшая научная дисциплина. Архитектурная акустика и научно-практические достижения в этой области непосредственно влияют на формирование общественной среды обитания человека, на создание архитектурной формы, на духовную жизнь человека с древних времён.

Законы распространения прямого и отраженного звуков, оценка их совместного воздействия на восприятие человеком в организованном пространстве достаточно хорошо известны современной науке.

В то же время, с великим сожалением отмечаем, что на практике в разные времена возникло (да и теперь существует) немало сооружений с неблагоприятными акустическими условиями – залы ожидания вокзалов, некоторые залы метро, гулкие учебные аудитории большого объема, музыкальные залы с плохой слышимостью и т.п., где невозможно понять речевые сообщения или музыкальные фразы; где очевидны зачастую непоправимые акустические дефекты.

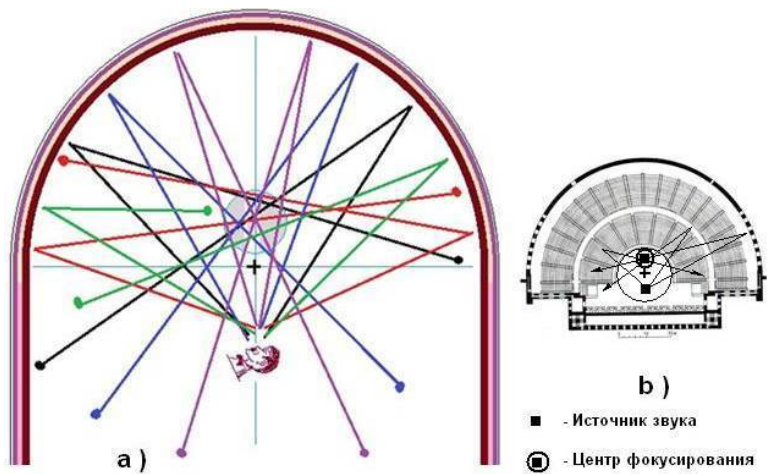
Названные акустические дефекты могут быть и скрытыми, но и в этом случае (особенно в этих случаях) надеяться на высокое акустическое качество зрительного зала или спортивно-зрелищного сооружения не приходится.

Акустические дефекты в уже построенных зданиях и сооружениях исправлять всегда или очень дорого, или – совсем невозможно. В течение длительного времени с ними приходится просто мириться.

Для древних театров характерны формы планов, близких к концентрическим окружностям. Такая схема планировки характеризуется различного типа фокусированием звука. Долгое время данная схема планировки театров считалась неприемлемой или нежелательной из-за наличия потолка и стен криволинейной формы.

Однако именно такая форма плана становится приемлемой, а, иногда, и предпочтительной, если для стен выбра-

ны конструкции, исключая фокусирование звука. Подобные конструкции мы подробнейшим образом рассмотрим в следующих главах.



*Рисунок 1.12*

*Схема фокусирования звука при внецентренном размещении источника звука (центр фокусирования смещён)*

*а ) расчётная схема отражений; б ) план театра в Аспенде*

Для примера скажем, что в древних театрах оркестра и сцена устраивались так, что фокусирование звука возможно было только в зоне оркестры, а в зоне зрительских мест – ис-

ключено (рисунок 1.12 (b)). Уклон зрительских мест по направлению к сцене так велик (рисунок 1.7), что зоны фокусирования находятся в плоскостях гораздо выше мест зрителей.

Не смотря на то, что древние театры не имели ни стен, ни крыши (на первый взгляд – и любые резонаторы отсутствовали) многие авторы в древние времена придерживались мнения, что акустика современных им театров была очень хорошая; а также о том, что в греческих амфитеатрах использовались резонаторы. Однако современные археологи таковых не обнаружили [6, 7]!!.

Сейчас можно пояснить, почему археологи не обнаружили никаких резонаторов, ни в виде амфор, ни в каком ином виде.

Скорее всего это произошло потому, что археологи и историки не увидели очевидное для акустиков.

На самом деле резонаторы были; они сохранились до наших дней и остаются в очень хорошем состоянии; – в таком состоянии, что их можно увидеть (рисунок 1.5; позиции 2 и 3), их можно описать и показать, как они работают.

Конечно, начнём с существующих в реальных объектах и известных всем резонаторов в виде сосудов с горлом – это амфоры в древности или «голосники» в средние века и в современности.

Резонаторы-голосники и резонаторы-волноводы имеют, например, вид, представленный на рисунке 1.13. Некоторые



варианты резонаторов-голосников разработаны автором для гончарной и литейной технологий в главах 5 и 6.

Акустические, энергетические и геометрические их (резонаторов-голосников) характеристики описаны в пятой главе. Там же я напоминаю и методику расчёта резонаторов.

Второй вид этих резонаторов – это резонаторы с трубчатым поперечным сечением и с одним или двумя торцевыми отверстиями. Такие резонаторы применяются в музыкальных инструментах, например, в органах; – рупорных мегафонах и т.д..

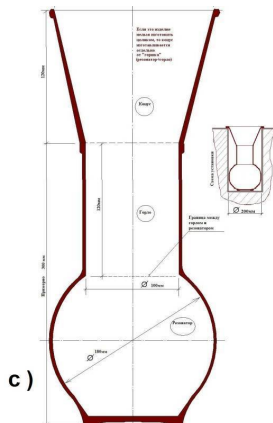
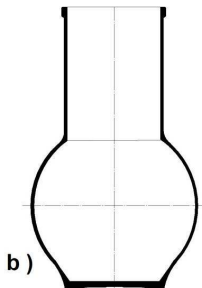
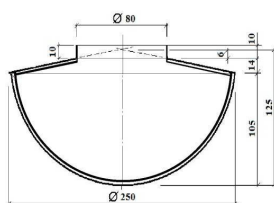


Рисунок 1.13

Варианты поперечных сечений резонаторов-голосников  
 а) – резонатор-волновод; б) и в) – резонаторы – голос-

Форма концентрических резонаторов-волноводов по типу резонаторов с очень коротким горлом или без горла на рисунке 1.13,а (их количество равно числу рядов зрительских мест) совпадает с формой каждого из рядов ступеней мест для зрителей на рисунке 1.14, б.

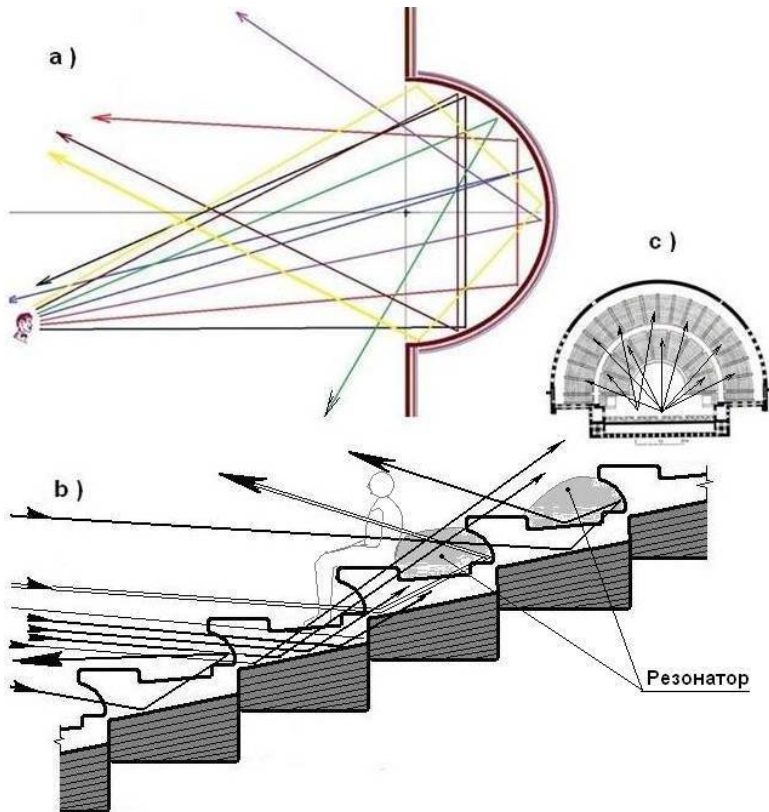


Рисунок 1.14

Множество направлений отражённого звука от плит ступеней радиальных лестниц и от ступеней зрительских мест. Наблюдается возможность концентрации звуковой энергии в верхней части концентрических и радиальных ре-

зонаторов

*а) расчётная схема отражений; б) часть множества отражений по общей расчётной схеме; взаимное положение концентрических резонаторов (по числу рядов зрительских мест); в) план театра в Аспенде с расположением источника звука в зоне оркестры или сцены*

Число радиальных резонаторов равно числу радиальных лестниц (20 во втором ярусе и 10 – в первом ярусе). Форма их совпадает со ступенчатой формой «узких коридоров» радиальных лестниц.

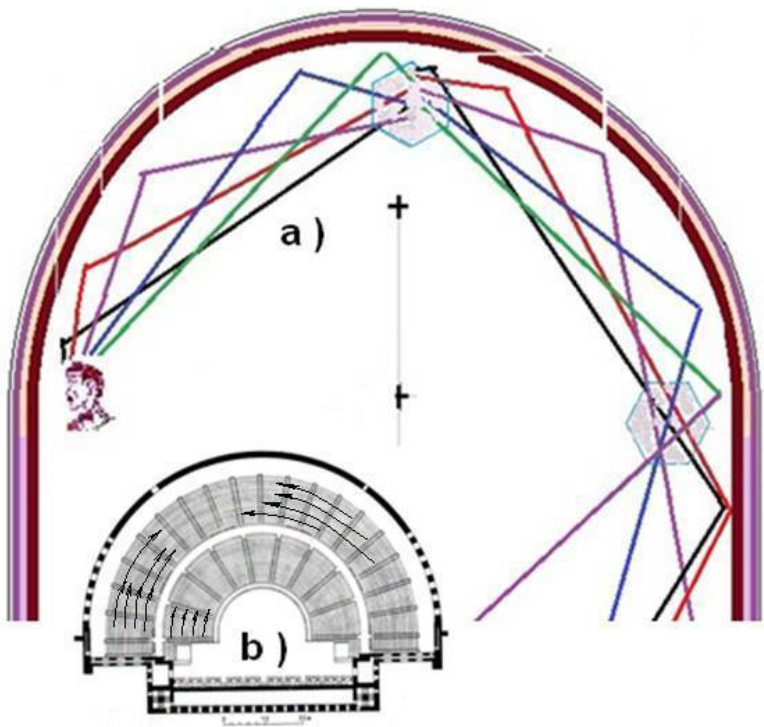


Рисунок 1.15

«Шёпотная» галерея. Звук «вращается» в круговом вихре  
 а) расчётная схема отражений в «шёпотной» галерее;

б) план театра в Аспенде с указанием направлений распространения звука по принципу «шёпотной» галереи

Если размеры резонатора (и горла резонатора) малы по

сравнению с длиной волны действующих на резонатор колебаний, то практически можно рассматривать такую систему, как систему с сосредоточенными параметрами.

В этом случае (рисунок 1.14) резонатор представляет собой систему с распределенными параметрами, так как размеры резонатора могут быть равны (в поперечном направлении) либо больше (по направлению концентрических направлений рядов мест) по сравнению с длиной волны действующих на резонатор колебаний. Следовательно данный резонатор – это система с распределенными параметрами; и он является многорезонансным (достаточно) широкополосным.

Звуки по множеству направлений отражаются от ступеней радиальных лестниц и воздействуют на концентрический резонатор-волновод, а также на слух ближайших к лестнице зрителей (рисунок 1.14, б). Они (отражённые звуки) являются также источниками в шёпотной галерее; и передаются по направлениям, подобным тем, что представлены на рисунке 1.15.

Данный процесс преобразований характерен для каждого ряда мест зрителей; он сопровождается многократным фокусированием с генерацией звука и соответствующим (весьма существенным) усилением звука, характерным для шёпотной галереи.

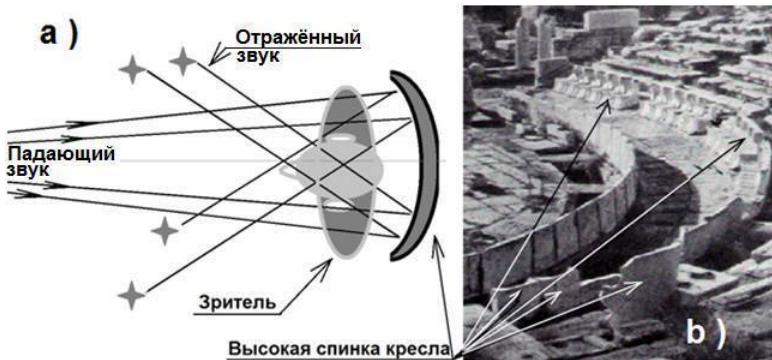
Весьма интересен и ещё один фактор акустического благоустройства в театре, в рядах мест для уважаемых (почётных) гостей [5, 7] и постоянных зрителей (рисунок 1.16).

Эти зрители располагались в мраморных креслах с очень высокой мраморной спинкой криволинейной формы (рисунок 16, б).

Спинки кресел имеют специально подобранную высоту – такую, что к голове зрителя в кресле поступает много звуковых отражений от спинки этих кресел. Спинки кресел имеют также специально подобранную кривизну в горизонтальном направлении для формирования отражений в направлении к голове зрителей (рисунок 16, а).

Отражения от криволинейной поверхности спинки кресел (рисунок 16, а) усиливали звук, что благоприятно воздействовало на слух человека, позволяя ему слышать все оттенки голосов актёров, даже не усиленных рупором, удалённых на расстояние 10–15 метров от зрителей первого ряда.

Данный в этой главе историко-архитектурный анализ приводит к ряду обобщений, которым целесообразно следовать в процессе внимательного прочтения всего материала монографии.



*Рисунок 1.16*

*Схема отражений в ряду кресел*

*a ) – отражения по схеме на рисунке 1.14, а (вид сверху)*

*b ) – фрагмент театра Диониса на рисунке 1.5*

Комфортной звуковой среде ставится в соответствие сила, уровень мощности звука и структура первых акустических отражений. Конечно, названные характеристики реализуются в должной мере в связи с другими процедурами и технологиями: в соблюдении условий видимости, комфортности ситуации, благотворной окружающей среды, высокой функциональности объекта воздействия на духовный мир человека.

Утверждаем также, что превышение силы и мощности звука менее важно, чем структура первых акустических от-



ражений, ибо первые акустические отражения, будучи тщательно продуманными и сформированными, сами способны обеспечить и требуемую плотность звуковой энергии, и его силу, и его мощность !!!

Формирование идеальной структуры первых акустических отражений равнозначно способности извлекать из скрипки звук дыхания человека, что обеспечивается, например, специальной конструкцией смычка.

Инструменты формирования идеальной структуры первых акустических отражений также известны. Они были известны уже в древнейшие века. Зная об успешной реализации такого процесса в древности, мы можем, с не меньшим успехом, воспользоваться результатами таких технологий и в наше время – в современных сооружениях.

Итак, представленный вниманию читателя краткий исторический архитектурно-акустический калейдоскоп развернул перед нами существенное многообразие акустических технологий и форм их реализации.

Некоторые из них, можно наблюдать в этой главе и в главах 2–10: от театральной площадки на острове Крит (XV век до новой эры), от греческих и греко-римских амфитеатров (VI век до новой эры – 1 век новой эры) до чудесных примеров современного театрального зодчества и до грандиозных, достойных нашего времени гигантских зрелищных спортивных сооружений, например, одного из крупнейших

стадионов – стадиона «Зенит-Арена» в Северной Пальмире (Санкт-Петербург, Россия).

Подводя первые итоги, целенаправленно рассмотрим важнейшие и конкретные инструменты формирования акустического пространства зрелищных зданий и сооружений, дошедшие до нас из глубокой древности.

Основные инструменты для формирования благотворного архитектурно-акустического пространства разделим на четыре основные группы:

а) акустический рефлектор (отражатель) в вертикальных и горизонтальных плоскостях, имеющий конструктивные и пространственные параметры, позволяющие ему отражать в необходимых направлениях звуки в широком для слухового восприятия диапазоне частот (включая инфразвук).

С помощью рефлекторов можно создать наилучшую структуру первых отражений, учитывающую особенности слухового восприятия человеком.

Психо-физическое восприятие звука человеком приятнее, если первые отражения сверху приходят позднее боковых отражений. Интервал запаздывания первых верхних и боковых отражений по отношению к прямому звуку зависит от многих причин и имеет много различных реализаций. Этому вопросу будут посвящены специальные разделы монографии;

б) акустический рассеиватель, работающий обычно в до-

статочны узких диапaзонах частот из-за своих довольно ограниченных размеров; к акустическим рассеивателям, как правило, жёстких ограничений по их размеру и материалам не предъявляется; исключение составляют ситуации, когда требуемый узкий диапазон частот предварительно задан. Рассеивание позволяет наполнить звуком высокого качества практически всё пространство театра, избегая нежелательных концентраций, а также – создавая наилучшую диффузность звукового поля;

с) резонатор, позволяющий усиливать звук в различных диапазонах частот. Замкнутые воздушные полости играют роль резонаторов-усилителей звука. Иногда они, будучи прикрепленными к пластинам-декам, возбуждают весьма интенсивные и весьма полезные колебания названных пластин.

Воздушные полости, полужамкнутые или имеющие отверстия, являются усилителями лишь на небольшом расстоянии от отверстия резонатора, а далее они приобретают уже роль поглотителя звука из-за потерь при интенсивном преобразовании энергии у открытого конца резонатора;

d) дека – это поверхность (потолок, стены, пол и т.д.), которая, в отличие от традиционных рефлекторов, будучи возбуждена резонатором или иным источником колебаний, сама является не пассивным отражателем, а активным источником звука. Дека способна усиливать звук и увеличивать продолжительность звучания в пространстве — время ре-

верберации (в помещении).

Замкнутые воздушные полости, как уже отмечено, будучи прикрепленными к пластинам-декам, возбуждают весьма интенсивные колебания в воздушной среде театра.

В качестве примера можно ещё назвать специальную пластину-деку характерную, например, для всех струнных музыкальных инструментов. Резонатором здесь являются и струны, прикреплённые к деке.

Пластиной-декой в театре может служить, например, его потолок. Яркий пример такого потолка-деки представлен в главе 2, посвящённой концертному залу Капеллы в Санкт-Петербурге, и других разделах.

Ещё раз подчеркнём значимость для нашего времени достижений в акустике театров древних зодчих:

В XV веке до новой эры рефлекторы уже применялись для наполнения звуковой энергией зрительских мест, например, для театральной площадки в Кноссе на острове Крит (рисунки 1.2 и 1.3).

Ещё более очевидно активное использование для той же цели специально направленных вертикальных рефлекторов для сцены театра в Оранже (Галлия) в 1 веке до новой эры (рисунок 1.8).

Не менее замечательное решение для периода древности – это горизонтальный рефлектор над сценой театра в Аспенде (театр в Галлии, II век новой эры) в сочетании с верти-

кальными рефлекторами перед сценой и за ней, а так же с рассеивателями звука для создания диффузности звукового поля (рисунок 1.10).

В Афинском театре Диониса (VI век до новой эры) кроме вертикальных рефлекторов на сцене применялись и открытые полости-резонаторы с вогнутыми поверхностями, размещённые по длинной стороне основания непрерывной части рядов сидений, а также – в двадцати длинных волноводах, образуемых лестничными проходами для зрителей (рисунок 1.5).

Несмотря на то, что значение этих резонаторов было велико только для ближайших к ним зрителей (на расстоянии 0,5–1,5 метра от резонатора), этого было достаточно для создания хорошей слышимости на местах, т.к. из расчёта на одного зрителя плотность такого рода резонаторов была очень велика.

Каждый зритель был обеспечен достаточной звуковой энергией резонаторов. При этом будем помнить, что в таком театре актёрами дополнительно применялись рупорные усилители звука и актёры приподнимались над сценой на котурнах.

Рупорные усилители увеличивали звуковую мощность энергии, приходящей к зрительским местам. Использованные актёром котурны позволяли существенно увеличить высоту источника звука и, соответственно, улучшить структу-

ру отражений в рефлекторах двадцати радиальных лестничных «коридоров». И рупорные усилители, и котурны древними драматургами, режиссёрами и актёрами применялись для одной цели – организации хорошего звучания, видимости сценических объектов, что, в свою очередь, придавало требуемую значимость роли того или иного актёра или – всему спектаклю.

Этот бесценный опыт поддерживает нас – современных строителей, архитекторов и акустиков в каждодневном труде; в тех сложных ситуациях, когда наши экспертные оценки наиболее важны для достижения благотворного результата, в безошибочных принципиальных решениях.



## **2. Реконструкция капеллы в СПб (реконструкция концертного зала Государственной Академической Капеллы в Санкт-Петербурге)**

В этой главе позволю себе представить вам, может быть, поучительный пример реализуемых простых решений акустических проблем при реконструкции или реставрации известных объектов, одним из которых является Капелла в Санкт-Петербурге (здание построено в XIX веке).

**Леонтий Николаевич****Бенуа**

В 1883 году во главе Капеллы были назначены: начальником — граф С.Д. Шереметев, управляющим — М.А. Балакирев, его помощником по музыкальной части Н.А. Римский-Корсаков. Им удалось убедить Министерство Императорского двора в необходимости капитальной перестройки здания Капеллы. В июле 1886 года Александр III одобрил проект Л.Н. Бенуа.

**ПРИМЕР СОХРАНЕНИЯ***Рисунок 2.1*

*Здание Государственной Академической Капеллы в Санкт-Петербурге*

Время неумолимо. Исторические здания стареют. Количество уникальных зданий, требующих акустической реконструкции очень велико и возрастает.

Материал данной главы, я надеюсь, поможет не допустить грубых ошибок, казалось бы – в простейших случаях тепло-технической и противопожарной реконструкции чердачного



перекрытия (любых иных частей исторических зданий) над известным зрительным залом, способных повредить или безвозвратно уничтожить такие прекрасные духовные качества театра, которые создаёт для нас и на многие века с божьей помощью великий творец-архитектор.

Дело в том, что из-за больших временных промежутков между продуманным, а также талантливым, воплощением архитектурно-акустических идей в объекте и моментом его реконструкции всегда существует, в силу различных причин, опасность утраты либо знания, либо понимания особенностей этого объекта. Данное обстоятельство, как отмечено ранее, может нанести иногда непоправимый ущерб, связанный с потерей акустических качеств объекта реконструкции.

Речь идёт о знании и о понимании акустических законов всеми реставраторами, не только о конструктивных или архитектурных, но и об акустических особенностях концертных залов с уникальной акустикой.

Поэтому мною было решено рассмотреть и представить вниманию читателя весьма характерный в этом плане пример процесса реконструкции одного из известнейших в мире музыки концертных залов.

Рассмотрим конкретный объект: запроектированный в 1886 году архитектором Л.Бенуа концертный зал Государственной Академической Капеллы в Санкт-Петербурге (набережная реки Мойки, дом 20, рисунок 2.1).

Реконструкция этого концертного зала заканчивалась в

течение 2005 года, примерно через 120 лет после ввода в эксплуатацию. За период в 120 лет основой для реконструкции и реставрации оставались, конечно: во-первых, само здание Государственной Академической Капеллы, а во-вторых – чертежи здания Государственной Академической Капеллы.

Перед реконструкцией и реставрацией были проведены предварительные обследования, в результате которых – разработаны достаточно обоснованные правилами строительной техники и технологии конструктивные мероприятия. Разработана также проектная документация на реконструкцию здания и концертного зала Государственной Академической Капеллы (далее – концертного зала Капеллы).

Первоначально администрацией мне поручались только теплоэнергетические обследования концертного зала Капеллы. Однако на первом (ознакомительном) этапе теплоэнергетических обследований оказалось, что мои выводы по теплоэнергетическим обследованиям непосредственно влияют на решения по акустике концертного зала Капеллы (далее это будет подробно доказано).

Поэтому программа обследования была существенно расширена с включением позиции по акустическим обследованиям. Ставилась задача: оценить влияние на акустику концертного зала Капеллы теплоэнергетических мероприятий и мероприятий по пожарной безопасности, представленных

подрядчиком в его проекте реконструкции.

Акустическое и теплоэнергетическое обследования конструкции чердачного перекрытия и объёмно-планировочных элементов концертного зала Капеллы произведено мною в январе 2005года.

В процессе обследования чердачного перекрытия (перекрытия над концертным залом) и объёмно-планировочных элементов концертного зала Капеллы рассмотрены следующие документы:

1 Чертежи здания концертного зала Капеллы, выполненные архитектором Л.Бенуа в 1886 году и архитектором М.Гейслером (при восстановлении здания после пожара) в 1895 году).

2 Акустический Паспорт концертного зала Капеллы, составленный специалистами-акустиками из МГУ и ГУП МНИИП объектов культуры, отдыха, спорта и здравоохранения (доцент кафедры акустики МГУ, член Экспертного Совета по органостроению Международного союза музыкальных деятелей, кандидат физико-математических наук П.Кравчук и заведующий лабораторией акустики ГУП МНИИП, кандидат технических наук В.Сухов).

3 Обмерочные чертежи чердачного перекрытия здания концертного зала Капеллы, выполненные ООО «Гипротекстр» с указанием дефектов в исторических конструкциях чердачного перекрытия.

4 Отчет о техническом обследовании строительных конструкций чердачного перекрытия здания концертного зала Капеллы с выдачей проектных решений по его ремонту, выполненный ООО «Гипротест».

5 Предписание №2–973 от 16 июня 2004г. Государственного Учреждения «Дирекция заказчика по ремонтно-реставрационным работам на памятниках истории и культуры».

## **2.1. Характеристика исторических конструкций над концертным залом**

По чертежам здания концертного зала Капеллы, разработанным архитекторами Л. Бенуа и М. Гейслером, по современным обмерочным чертежам чердачного перекрытия, разработанным ООО «Гипротееатр», а также при визуальном осмотре конструкций в натурных условиях мной было установлено:

1 Чердачное перекрытие концертного зала Капеллы площадью 520м<sup>2</sup> выполнено по металлическим стропильным фермам. Покрытие зала опирается на верхний пояс ферм. Чердачное перекрытие опирается на нижний пояс ферм. Нижняя часть чердачного перекрытия из досок толщиной 40мм кессонирована (размеры в плане каждого кессона преимущественно 1680х1550мм, глубина кессонов 360мм, количество кессонов – 126) и живописно окрашена со стороны концертного зала.

2 В объёме чердака, над кессонами имеется восемнадцать воздушных полостей (резонаторов Бенуа) шириной от 930 до 1080мм, длиной 23000мм (на всю длину зала) и высотой 270мм (рисунок 2.2).

3 Выше указанных воздушных полостей (резонаторов Бенуа) был устроен настил из досок толщиной 50мм. Непосредственно на настиле до начала ремонтных работ находи-

лась известково-гипсо-песчаная стяжка толщиной 100мм.

Во время ремонтных работ эта стяжка была полностью разрушена (!!!!) и в качестве строительных отходов удалена с объекта.

4 В объеме чердака, по его периметру, находился бывший жаровой канал, а ныне – это вентиляционный воздуховод сечением 1820х750мм с вентиляционными решетками, через которые в чердачное пространство может подаваться нагретый воздух. Нагрев воздуха производился и будет производиться с помощью специального оборудования, находящегося в пространстве под сценой концертного зала.

## 2.2. Основные акустические параметры концертного зала Капеллы

В соответствии с Акустическим Паспортом Капеллы концертный зал имеет объем 6000м<sup>3</sup> и 800 мест для публики.



Рисунок 2.2

*К чердачной поверхности потолка зала жестко прикреплены (вновь «открытые» при реконструкции и спасенные автором) низкочастотные резонаторы*

Удельный объем концертного зала равен 7.5м<sup>3</sup> на 1 зрительское место.

Измеренное время реверберации равно 1.75 сек на частотах 500 и 1000 Гц в пересчете на заполненный зал.

Рекомендованное международными стандартами время реверберации равно 2.1 сек для органных концертов и для хорового пения. Полученное во время измерений время реверберации, равное 1.75 сек может быть принято как компромиссное для залов, в которых производятся симфонические концерты.

Для полноценного звучания хорового исполнения и органной музыки разработчиками Акустического Паспорта Капеллы рекомендовано уменьшить количество мест в концертном зале и приблизить число мест к первоначальному, предусмотренному проектом Л.Бенуа в 1886 году.



## **2.3. Предложение института ООО «Гипротееатр» по проекту реконструкции**

Проектное решение по ремонту концертного зала Капеллы, предложенное в 2005 году институтом ООО «Гипротееатр» (через 110 лет после пожара) недостаточно обоснованно включало замену исторической известково-гипсо-песчаной стяжки толщиной 100мм на слой эффективного утеплителя Epaterm толщиной 168мм!!!

В этом же проектном решении на слой эффективного утеплителя Epaterm по предложению ООО «Гипротееатр» необходимо было бы уложить цементную стяжку толщиной 20мм (!!!!).

Автор был приглашен заказчиком (Государственное Учреждение «Дирекция заказчика по ремонтно-реставрационным работам на памятниках истории и культуры») в качестве эксперта для оценки данного проекта реконструкции, разработанного ООО «Гипротееатр».

С экспертной точки зрения возможности сохранения при ремонте чердачного перекрытия уникальной акустики концертного зала Капеллы такое проектное решение ООО «Гипротееатр» (о замене исторической известково-гипсо-песча-

ной стяжки толщиной 100мм на слой эффективного утеплителя Epaterm толщиной 168мм с последующим нанесением стяжки толщиной 20мм), конечно, ни в коем случае нельзя было допустить к реализации – это было бы опасно для уникальной акустики Капеллы.

Предварительно заметим, что предложенная ООО «Ги-протеатр» стяжка на слое утеплителя толщиной 168мм становилась бы мощным виброгасителем всех колебаний потолка концертного зала. Далее будет показано, что опрометчивое размещение на потолке концертного зала мощного виброгасителя, в свою очередь, имело бы катастрофические последствия для акустики этого уникального концертного зала.....

Архитектор М. Гейслер (при восстановлении здания после пожара в 1895 году) прекрасно это понимал и не допустил какого-либо непродуманного решения в части обязательного сохранения уникальных акустических качеств концертного зала, заложенных в проекте и в реальном здании концертного зала Капеллы в Санкт-Петербурге архитектором Л.Бенуа.

## **2.4. Главные акустические и теплоэнергетические идеи Л.Бенуа, реализованные в конце XIX века**

Главные акустические и теплоэнергетические идеи конструкции чердачного перекрытия концертного зала Капеллы, заложенные в проекте 1886 года архитектором Л.Бенуа и бережно сохранённые архитектором М.Гейслером в 1995 году, я полагаю, заключены в следующем:

**Потолок – это рефлексор (отражатель) звука.**

Потолок – это отражатель звука, который направляет к слушателям наиболее полезные первые отражения звука с запаздыванием по отношению к прямому звуку  $T=24-55$ мсек. Запаздывание отражений от потолка с  $T=24-55$ мсек в сочетании с запаздыванием звука от стен зала с  $T=7-30$ мсек обеспечивали наилучшую структуру первых отражений, которая создала славу акустике концертного зала, как одной из лучших в Европе.

Функция оптимальных первых отражений от потолка сформирована выбором высоты зала, равной в среднем 14.5м. Наилучшая структура первых отражений для зала в целом (и от стен и от потолка) сформирована выбором соотношения длины, ширины, высоты зала более 1.0, но менее

2.0 и тем, что продольные стены зала не параллельны. Не параллельные продольные стены позволяют успешно избежать ряда акустических дефектов, например, возникновения «порхающего эхо» и стоячих волн, т.е. весьма многократных нежелательных отражений от параллельных стен.

### **Потолок – это рассеиватель звука.**

Потолок – это рассеиватель звука для частот, на которых длина волны звука соизмерима с размерами рассеивателей. Рассеивание позволяет наполнить звуком высокого качества практически весь объём зала, избегая нежелательных концентраций, а также – создавая наилучшую диффузность звукового поля.

Функция потолка, как рассеивателя звука по проекту архитекторов Л.Бенуа и М. Гейслера выполняется 126-ю открытыми кессонами, обращенными к слушателям, в нижней части конструкции чердачного перекрытия концертного зала.

При тех размерах кессонов, которые заложены в конструкции обследованного чердачного перекрытия (размеры в плане каждого кессона 1680x1550мм, с глубиной кессонов 360мм), рассеивается, в основном, звуки средних и высоких частот.

Принятая в проекте архитекторов Л.Бенуа и М.Гейслера схема расположения кессонов позволяет в процессе реверберации многократно перекрывать каждый рассеянный звук

другими рассеянными звуками (отражениями с других направлений), что весьма благоприятно сказывается на диффузности звукового поля.

### **Потолок – это потолок – дека.**

Потолок – это потолок – дека, т.е. – звучащий потолок; или, иными словами, – потолок, усиливающий звук и увеличивающий его продолжительность – время реверберации. Специальная пластина – дека характерна, например, для всех струнных музыкальных инструментов.

Специалистам хорошо известно, что в оперных залах с естественной акустикой, когда в программах имеются хорошее пение, симфонические и органные концерты, без усиления звука потолком-декой невозможно добиться рекомендуемых в мировой практике параметров реверберации.

Потолок-дека в концертном зале Капеллы, усиливая звук, увеличивает время реверберации до 1.75 секунд на частотах 500, 1000 Гц.

В современных залах функцию потолка-деки придают чердачному перекрытию, часть которого в центре, непосредственно над залом, «отделена» от периметральной части того же перекрытия, и может колебаться независимо от периметральной части. Реализация именно такого решения представлена в главе 3 при рассмотрении авторских материалов Международного конкурса по проекту второй сцены Мариинского оперного театра в Санкт-Петербурге.

## **Потолок – резонатор.**

Чердачное перекрытие концертного зала Капеллы достаточно жесткое и полностью закреплено по контуру, его колебания на средних и высоких частотах не могут быть свободными (не демпфированными).

Поэтому функция потолка – деки в первом проекте (архитектора Л.Бенуа) обеспечена восемнадцатью замкнутыми воздушными полостями, расположенными над кессонами, т.е. над зашивкой потолка из досок толщиной 40мм. Полости имеют акустически обоснованные ширину от 930мм до 1080мм, высоту 270мм и длину до 23000мм.

Варьирование ширины полостей от 930мм до 1080мм по авторскому — Л.Бенуа замыслу — несёт интуитивно верно найденный архитектором оттенок «рассогласования» резонансов этих полостей по их ширине.

В отличие от резонаторов-сосудов с отверстиями, представляющих собой системы с сосредоточенными параметрами, замкнутые воздушные полости в данном случае являются системами с распределенными параметрами, "многочастотными системами".

Замкнутые воздушные полости играют роль широкополосных резонаторов – усилителей звука. Заложенные в проекте архитектора Л.Бенуа размеры полостей позволяют усиливать звук всех частот, в том числе и звук очень низких

частот – инфразвук. Усиление звука очень низких и низких частот и, соответственно, увеличение времени реверберации при акустической связи объема зала и объемов воздушных полостей крайне важно для должного восприятия хорового пения и органной музыки.

Образно говоря, восемнадцать резонаторов-усилителей, трактуемых как длинные деревянные трубы, сами являются «вторичным» органом, который в необходимой мере «продлевает» звучание существующего ныне в Капелле концертного органа и звучание хора.

Напомним о важнейшей роли исторической известково-гипсо-песчанной стяжки в обеспечении акустической роли замкнутых воздушных полостей – резонаторов.

По акустическим принципам конструкция резонатора-усилителя предполагает наличие в нём только достаточно жестких стенок, отражающих многократно звук в полость резонатора и во внешнюю среду. Все стенки резонатора-усилителя нельзя демпфировать, т.е. искусственно гасить их колебания.

Излучение любого резонатора всегда направлено в сторону наименьшего акустического сопротивления.

Как правило, «чистые» физические резонаторы имеют резонирующие полости, частично открытые в нужном направлении. При этом размеры и акустическое сопротивление от-

крытого конца резонатора подбираются на основе специальных расчетов в зависимости от требуемой основной частоты (в колебательной системе с сосредоточенными параметрами) и эффективности резонатора. Резонаторы в виде, например, труб с открытыми концами не могут быть достаточно широкополосными, что не всегда удобно к реализации в концертных залах.

В обследованном чердачном перекрытии со стороны чердака над полностью замкнутым резонатором имеется настил из досок толщиной 50мм и историческая известково-гипсо-песчанная стяжка толщиной 100мм.

Под резонатором находится только зашивка чистого потолка досками толщиной 40мм. Поэтому верхние стенки резонаторов-усилителей, облицованные исторической известково-гипсо-песчанной стяжкой толщиной 100мм, значительно более жесткие, чем нижние (только доски толщиной 40мм без стяжки).

Цилиндрическая жесткость (сопротивление изгибу) стенок воздушных полостей со стороны чердака (со стяжкой) в 416 раз больше, чем стенок со стороны концертного зала (без стяжки). Наименьшее акустическое сопротивление стенок резонаторов-усилителей имеется только со стороны концертного зала.

Таким образом, в проекте архитектора Л.Бенуа исторической известково-гипсо-песчанной стяжке толщиной 100мм



была отведена роль звукоизолятора, а также роль эффективного отражателя звука в полость резонаторов.

Из полости резонаторов усиленный звук (через тонкую и значительно менее жёсткую зашивку чистого потолка) поступал в концертный зал. Резонаторы (восемнадцать воздушных полостей) на потолке концертного зала Капеллы, являясь многорезонансными колебательными системами, за счёт жёсткой связи с потолком зала, возбуждают интенсивные колебания этого потолка в целом.

Однако историческая известково-гипсо-песчанная стяжка использовалась и как теплоизолятор.

Компоненты исторической известково-гипсо-песчанной стяжки толщиной 100мм – это известковый раствор, гипсовый раствор и наполнители, включая, например, прокалённый песок.

Коэффициент теплопроводности известкового раствора в условиях эксплуатации Санкт-Петербурга равен 0.81 Вт/м0С, а коэффициент теплопроводности гипсового раствора в гипсовых плитах равен 0.47 Вт/м0С.

Если указанные компоненты в стяжке находятся в равных долях, то коэффициент теплопроводности стяжки в целом можно оценить величиной 0.6 Вт/м0С. Материал с таким коэффициентом теплопроводности не может быть отнесен к материалам с высокой теплоизолирующей эффективностью. Эффективные теплоизоляторы, например, шлаковатные плиты Rockwol, или стекловолокнистые маты Ursa,

или плиты Epaterm и многие другие, имеют коэффициенты теплопроводности 0.045–0.06 Вт/м0С , т.е. – в 10 раз меньше, чем историческая известково-гипсо-песчанная стяжка.

Отсюда ясно, что исторической известково-гипсо-песчанной стяжке в конструкции чердачного перекрытия архитекторы Л.Бенуа и М.Гейслер не отводили роль эффективного теплоизолятора. Да в этом, как показано ниже, в п. 2.5.7., и не было никакой необходимости.

Существует ли теплоэнергетический баланс концертного зала Капеллы в соответствии с современными теплотехническими нормами?

Из п.п. 2.3, 2.4 следует, что архитекторы Л.Бенуа и М.Гейслер известково-гипсо-песчанной стяжке в конструкции чердачного перекрытия дали главную роль не теплоизолятора, а роль звукоизолятора и отражателя звука из воздушных полостей (резонаторов-усилителей) в концертный зал.

Очевидно, что исторически роль отопителя чердака играл бывший жаровой канал, расположенный по всему контуру чердака, а ныне эту же функцию выполняет вентиляционный воздухопровод с вентиляционными решетками. Задача сохранения тепла решалась весьма рационально, точно так же, как она решается и в современных зданиях, имеющих чердак — пространство чердака нагревается до 9–140С.

Фактическое расчетное приведенное сопротивление теплопередаче в исторической конструкции всего чердачного перекрытия со стяжкой из известково-гипсо-песчанного раствора, с замкнутыми резонаторами и двумя дощатыми настилами 40 и 50мм равно  $0.975 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Для оценки теплоэнергетического баланса здания концертного зала были использованы современные действующие методики.

Как показали теплотехнические расчеты в соответствии со строительными нормами, полный теплоэнергетический баланс концертного зала Капеллы обеспечен при достижении величины требуемого приведенного сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия  $0,529 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$  и температуры воздуха на чердаке у поверхности чердачного перекрытия  $14^\circ\text{C}$  при расчетной температуре наружного воздуха  $-26^\circ\text{C}$ .

Расчётами было определено, что полный теплоэнергетический баланс концертного зала Капеллы обеспечен при температуре воздуха на чердаке у поверхности чердачного перекрытия  $9^\circ\text{C}$  (при температуре наружного воздуха «минус»  $26^\circ\text{C}$ ). Этот результат справедлив, если чердачное перекрытие обладает приведенным сопротивлением теплопередаче, равным  $0.975 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Именно такой величиной характеризуется обследованное чердачное перекрытие концертного зала Капеллы.

Очевидно, что в зимний период, при фактических тем-

пературах наружного воздуха выше расчётной температуры  $-260^{\circ}\text{C}$ , историческое чердачное перекрытие позволяет сохранить теплоэнергетический баланс концертного зала и при температуре воздуха на чердаке, гораздо ниже  $90^{\circ}\text{C}$ .

## **2.5. О неопустимости изменений исторической конструкции чердачного перекрытия, которые могли бы привести к ухудшению акустики концертного зала Капеллы**

Возможно ли заполнение воздушных полостей 18-ти резонаторов тепло- или звукоизолирующим материалом при реставрации?

Мы ранее установили, что заполнение воздушных полостей исторической конструкции чердачного перекрытия, предложенное специалистами по пожарной безопасности, тепло- или звукоизолирующим материалом по проекту ООО «Гипроттеатр» могло бы привести к полной потере акустической функции потолка-деки.

В этом случае энергия многократных отражений от внутренних поверхностей резонаторов-усилителей поглощалась бы в материале заполнения полостей за счет преобразования звуковой энергии в тепловую.

Пожарная безопасность, о которой в данной ситуации ратовали соответствующие специалисты, успешно могла бы быть обеспечена другими, менее вредными для акустики зала способами.

Следовательно, воздушные полости должны быть сохранены не заполненными каким-либо тепло- или звукопоглощающим материалом.

Об окраске чистого потолка со стороны зрительного зала современными красками, например, нитроэмалями или красками на полиамидной основе также нужно сказать нечто важное.

Очевидно, что потолок является эффективным отражателем и рассеивателем звука с наилучшей характеристикой коэффициента отражения.

Чтобы сохранить эти функции и после реставрации принято, что применяемые для отделки потолка шпатлёвка и краска, должны быть близки по химическому составу историческим материалам, т.е. приготавливались на масляной основе.

Недопустимо применение нитроэмалей и красок на полиамидной основе, или вододисперсионных растворов красок и шпатлевок.

О замене исторической известково-гипсо-песчаной стяжки слоем эффективного теплоизолятора с расположенной на нем цементной стяжкой малой толщины нельзя говорить всерьёз, занимаясь профессионально проектированием реставрационных технологий уникальных театральных зданий.

По упомянутому предложению ООО «Гипротейтр» ис-

торическая известково-гипсо-песчанная стяжка толщиной 100мм следовало заменить на слой толщиной 168мм из эффективного утеплителя Epaterm, выше которого расположено еще цементная стяжка толщиной 20мм.

Это предложение ООО «Гипротейтр», а также Предписание заказчика: Государственного Учреждения «Дирекция заказчика по ремонтно-реставрационным работам на памятниках истории и культуры» сделаны на том основании, что эффективный утеплитель Epaterm, якобы, полностью идентичен исторической известково-гипсо-песчанной стяжке толщиной 100мм и «...является аналогом оригинального тепло- и звукоизолирующего материала».

Известный в Европе, как один из лучших, концертный зал Капеллы не является тем объектом реставрации, на котором подобные эксперименты или прямые аналогии могут иметь место.

Необходимы были комплексные обследования с непременным участием, многих высоко квалифицированных специалистов, в том числе и акустиков, чтобы сделать выбор в пользу сохранения уникальной акустики известнейшего концертного зала. Такие комплексные обследования были проведены, и проведены нами своевременно.

Акустические аспекты реконструкции в зале Капеллы изучены весьма и весьма полноценно.

## **Теплоэнергетический аспект.**

Из п. 2.4 следует, что утверждение в отчёте ООО «Ги-протеатр» об идентичности исторической известково-гипсо-песчанной стяжки толщиной 100мм и заменяющего ее слоя толщиной 168мм из эффективного утеплителя Eperterm, мягко говоря, несправедливо.

Не могут быть идентичными с теплотехнической точки зрения материалы, коэффициенты теплопроводности которых различаются в 10 раз, а толщина весьма эффективного заменяющего материала Eperterm принята в 1.68 раза больше, чем историческая (на порядок менее эффективная) стяжка?!?!...

Если толщина более эффективного заменяющего материала в 1.68 раза больше менее эффективного исторического материала, то, в итоге, авторами предложения из ООО «Ги-протеатр» готовилась ситуация, когда термическое сопротивление предложенного материала в 16.8 раза больше, чем исторического. Зачем? Для пресловутого «..Про запас..», что-ли???

Ведь историческая известково-гипсо-песчанная стяжка толщиной 100мм в сочетании с воздушными полостями и двумя слоями досок уже обеспечивает теплоэнергетический баланс концертного зала в зимних условиях практически при любых положительных температурах пространства чердака (в п. 2.4 это убедительно показано).



Нагрев воздуха на чердаке обеспечивался и будет обеспечиваться бывшим жаровым каналом существующей (также реконструируемой) системы отопления в здании концертного зала!...

### **Акустические перспективы.**

Ученые из МГУ и ГУП МНИИП (П.Кравчук и В.Сухов), проводя акустические измерения в концертном зале за 5 лет до его реставрации в октябре 2001 года, конечно, не имели представления о составляющих элементах исторической конструкции чердачного перекрытия.

Однако, высокий профессионализм, опыт и интуиция позволили им, ничего не зная о составе исторических конструкций, ещё тогда написать в выводах к Акустическому Паспорту Капеллы: «Все сохранившиеся оригинальные конструкции потолка и пола при ремонте зала необходимо и далее сохранить, заменив лишь непригодные части на новые из того же материала».

«...из того же материала...» !!!!!!!

Я не имею оснований возражать этим дальновидным ученым!

Более того, мне чудесным образом удалось сделать всё возможное, чтобы сохранить акустические качества концертного зала Капеллы на долгие годы и после реставрации.

В п.п. 2.3 и 2.4 показано решающее значение исторической известково-гипсо-песчанной стяжки для усиления звука с помощью воздушных полостей, как резонаторов-усилителей. Если бы предложение ООО «Гипротейтр» без нашего ведома было реализовано, то и предложенная ими цементная стяжка толщиной 20мм на слое эффективного утеплителя Ераterm в системе масса-упругость-масса-упругость-масса стала бы нежелательным для акустики зала, но эффективным двухзвенным виброизолятором-поглотителем колебаний потолка, работающим в важнейших низко- и средне-частотном, и инфразвуковом диапазонах.

Полезные колебания верхнего дощатого настила воздушных полостей «эффективно» гасились бы. Многократные отражения внутрь воздушной полости имели бы значительно меньшую энергию, уже совершенно малозначительную для акустики концертного зала.

Исторически сложившаяся функция резонаторов-усилителей звука была бы безвозвратно утеряна, т.к. жесткость верхних стенок резонаторов была бы всего в 2 раза больше жесткости стенок, обращенных в зал, и не только за счет разности толщин досок потолка (40мм) и настила (50мм). В исторической конструкции чердачного перекрытия это различие жесткостей находится в соотношении 416:1.

Восстановление функции резонаторов-усилителей (если бы причина этого явления только лишь впоследствии была

бы определена специалистами) могло быть отложено на многие десятилетия..., а слава одного из лучших театров Европы могла померкнуть.

Время реверберации в концертном зале уменьшилось бы при этом до недопустимых значений 1.3–1.4 сек.

Мало было бы надежды на возвращение к прежней конструкции потолка Капеллы при каких-то последующих восстановительных работах, т.к. «результаты» деятельности ООО «Гипрогор» в период реконструкции 2005 года в акустической части этого проекта были бы катастрофически разрушительными для акустических конструкций и для акустики зала.

### **Частный вывод.**

Проведенное мною акустическое и теплоэнергетическое обследование было важным и позволило в 2005 году весьма и весьма своевременно сделать вывод о недопустимости реализации предложения ООО «Гипроттеатр» о замене исторической известково-гипсо-песчанной стяжки толщиной 100мм на слой толщиной 168мм из эффективного утеплителя Epaterm.

Потребность в утеплителе Epaterm была своевременно отвергнута автором на основе современных норм с точки зрения теплоэнергетического баланса концертного зала Капеллы, на основе правильных умозаключений и тщательных ис-

следований в решении проблем сохранения уникальной акустики зала Капеллы.

На примерах, подобных приведённым в данной главе, можно делать полезные выводы всем специалистам, так или иначе связанным с решением конкретных технических проблем реконструкции уникальных концертных залов.

Значение своевременных консультаций, обследований просвещёнными и практикующими акустиками в подобных изложенному случаях трудно переоценить. Архитекторам-реставраторам не надо испытывать чувства неловкости, приглашая специалистов-акустиков (и не только для работ с уникальными объектами).

## 2.6. Заключение по главе 2

По прошествии значительного времени после 2005 года с учётом аналитических материалов нашего обследования, многочисленных расчётов и оценок можно полагать, что в 2005 году приняты поучительные и единственно верные решения и проведены технологические операции, действительно ориентированные на сохранение уникальной акустики Капеллы, с программными целями:

1 Не допустить ликвидации функции потолка, как резонатора, выполнение которой обеспечено восемнадцатью закрытыми воздушными полостями-резонаторами в чердачном перекрытии над концертным залом с размерами: длина 23 метра, высота 0,27 метра и шириной от 0,93 до 1,08 метра.

2 Восстановить историческую известково-гипсо-песчаную стяжку толщиной 100мм на верхнем настиле из досок 50мм в составе конструкции чердачного перекрытия концертного зала.

3 Между восстанавливаемой исторической известково-гипсо-песчаной стяжкой толщиной 100мм и верхним настилом из досок 50мм разместить слой пароизоляции из 1 слоя толя или 2-х слоев пергамина (обосновано расчетом влагонакопления в конструкции чердачного перекрытия за отопительный период).

4 Запретить в конструкции чердачного перекрытия

концертного зала размещение эффективного утеплителя (Rockwol, Ursa, Epaterm и других) с тонкой цементной стяжкой на их внешней стороне.

5 Применяемые для отделки потолка со стороны зала шпатлевка и краски выбрать близкими по химическому составу историческим материалам. Нитроэмали и краски на полиамидной основе, или водоэмульсионные растворы красок и шпатлевок не применять .

6 Поддержать мнение инженеров-кустиков из МГУ и ГУП МНИИП и уменьшить количество мест в концертном зале Капеллы, чтобы количество мест стало близким к первоначальному, предусмотренному в XIX веке проектом Л.Бенуа.

Значимость этих шести решений трудно переоценить – значимость их очень велика для сохранения этого памятника в духовной жизни человеческого общества.



### **3. Оперный театр. Новое здание Академического Мариинского театра. Участие в международном конкурсе**

Правительством Российской Федерации в июне 2002 г. принята программа реставрации, реконструкции и расширения Государственного Мариинского оперного театра в Санкт-Петербурге, которая была направлена на достижение следующих целей:

- создание современного театрального комплекса;
- укрепление статуса Санкт-Петербурга как культурной столицы России;
- повышение привлекательности Санкт-Петербурга в качестве центра культурного национального и мирового туризма.

Организаторы конкурса ставили перед собой не только градостроительные задачи интеграции современной архитектуры в облик исторического города, но и естественного единения, и образной привлекательности нового со старым.

Необходимо было отразить ощущение творческого подъема, возрождения, нового выхода энергии: контраст прямоугольного статичного объема театра и сгустка энергии, вы-

рвавшегося из него — основная коллизия образа здания, его главных перспектив.

Объемно-пространственное решение театра достаточно просто:

— традиционный театральный объем здания, выполненный по заданной технологии, выплескивает энергию музыки на городскую среду. Это и есть одно из видений творческой энергии, возрождающей театр и его образ. Проектировался не просто новый театр, а — культурный и духовный центр.

В 2003 году автору довелось быть непосредственным официальным участником разработки конкурсного проекта в качестве инженера-акустика в составе творческого коллектива с архитекторами Марком Рейнбергом и Андреем Шаровым.

На новой сцене Государственного академического Мариинского театра оперы и балета имени С. М. Кирова, расположенного на Театральной площади в Санкт-Петербурге (рис. 3.1) могут осуществляться оперные постановки (романтическая опера, камерная опера); могут быть даны концерты симфонических и камерных оркестров, концерты оркестра Мариинского театра и молодежного оркестра, концерты органной музыки, концерты Академии молодых певцов, концерты солистов в сопровождении камерных оркестров, а также солистов в сопровождении симфонических оркестров.

Могут осуществляться балетные постановки в сопровож-



дении оркестров; танцевальные постановки с использованием музыкальных записей (фонограмм).

Предусмотрена возможность проведения театральных или театрализованных постановок; фестивалей больших хоров в сопровождении или без сопровождения оркестров (оркестры могут находиться вместе с хором на сцене или в оркестровой яме); международных гастрольных программ.

В результате основными принципами заложенными в архитектурный и акустический проект театра стали:

- традиция и современность; как визуальная, так и функциональная, образная связь старого и нового Мариинского театров;

- образ музыкального театра в архитектурном решении здания – волны музыки, распространяемые в окружающую среду, как часть объемных элементов здания;

- развитие многофункциональности здания – введение новых по назначению и необходимых для востребования обществом галереи музея театрального искусства, общественных помещений, галереи архитектора Кваренги;

- внимательное решение акустики зала с учетом сложной технологии звучания оперных постановок и симфонического оркестра, органной музыки;

- гармония нового здания со старым театром и окружающей средой, придание ей правильного соотношения с современностью при сохранении исторической сущности;

- гармония архитектуры и звука, архитектурно-акустиче-

ская гармония.

Некоторый архитектурный иллюстративный материал представлен на рисунках 3.1 и 3.23–3.27.

Далее более подробно определены акустические решения в гармонии с архитектурными композиционными аспектами сложной технологической проблемы современного театра.

При этом все наилучшие достижения в части архитектурно-акустической гармонии определяются нами как наиважнейшие. В главе 1 они (достижения театрального зодчества древних времён и современности) определяются как истоки архитектурно-акустической гармонии.



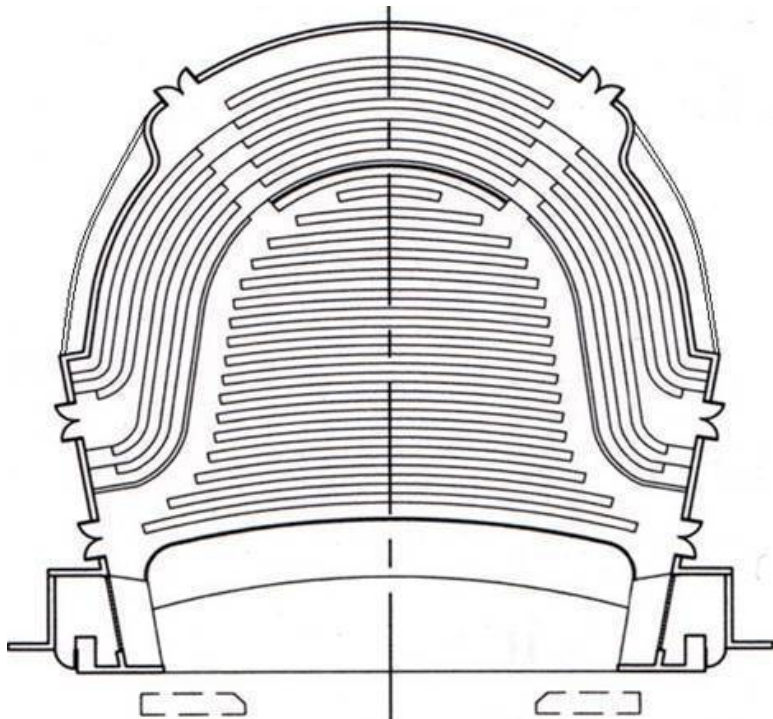
Рисунок 3.1

Театральная площадь в Санкт - Петербурге  
государственный академический Мариинский театр оперы и балета  
имени С.М. Кирова ( фотомонтаж )



### **3.1. Базовый вариант**

Базовый проект – это первичный вариант формы зала, предложенный для разработки в конкурсном проекте новой сцены Мариинского Государственного театра оперы и балета имени С. М.Кирова. Базовый проект предложен проектным бюро Artec Consultans Inc [23].



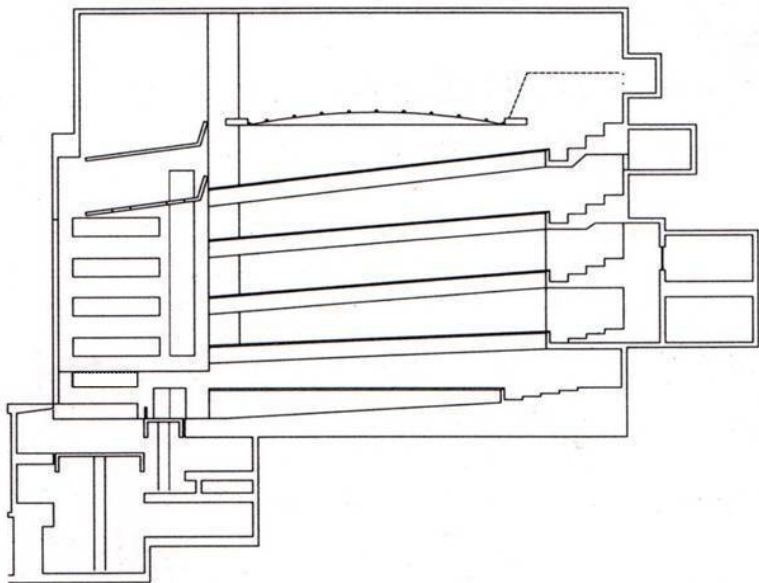
*Рисунок 3.2*

*Базовый проект нового здания Мариинского театра  
(план)*

### **Форма зала**

Рассмотрим первый вариант зала. В качестве первого варианта приняты базовые габаритные варианты плана и сече-

ния на рисунках 3.2 и 3.3 [ 23 ].

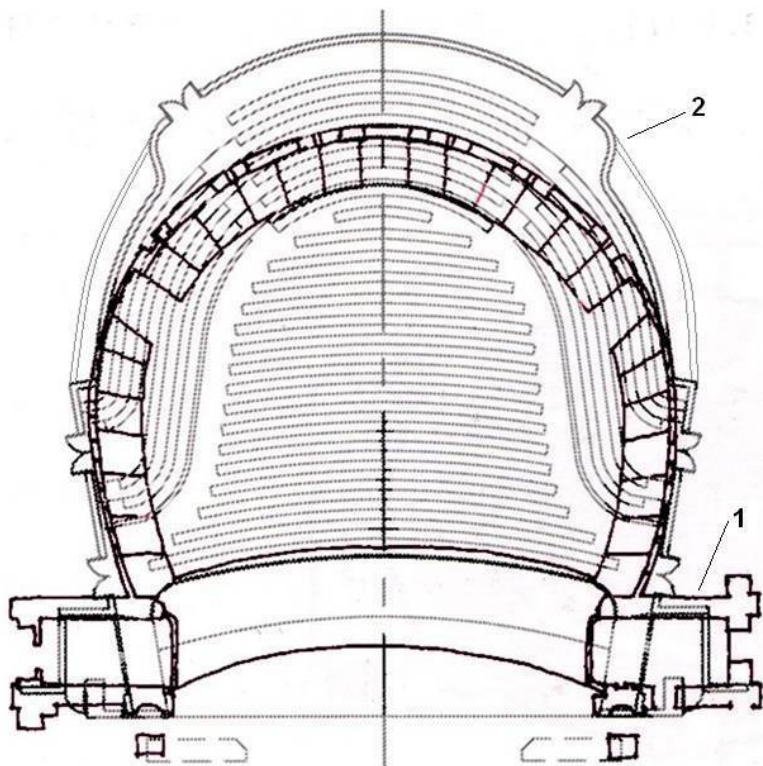


*Рисунок 3.3*

*Базовый проект нового здания Мариинского театра (разрез)*

Проектным бюро Artec Consultants Inc проведено сравнение предложенной ими формы зала базового проекта (на рисунках 3.2 и 3.3) с залами одних из лучших музыкальных театров мира.

Для наглядности представим здесь этот базовый вариант зала в относительном сравнении с габаритами ряда оперных театров таких, как «первая» сцена Мариинского театра в Санкт-Петербурге (рисунок 3.4 и рисунок 3.5), оперный театр Ла Скала в Милане (рисунок 3.6), национальный театр в Мюнхене (рисунок 3.7) [23].



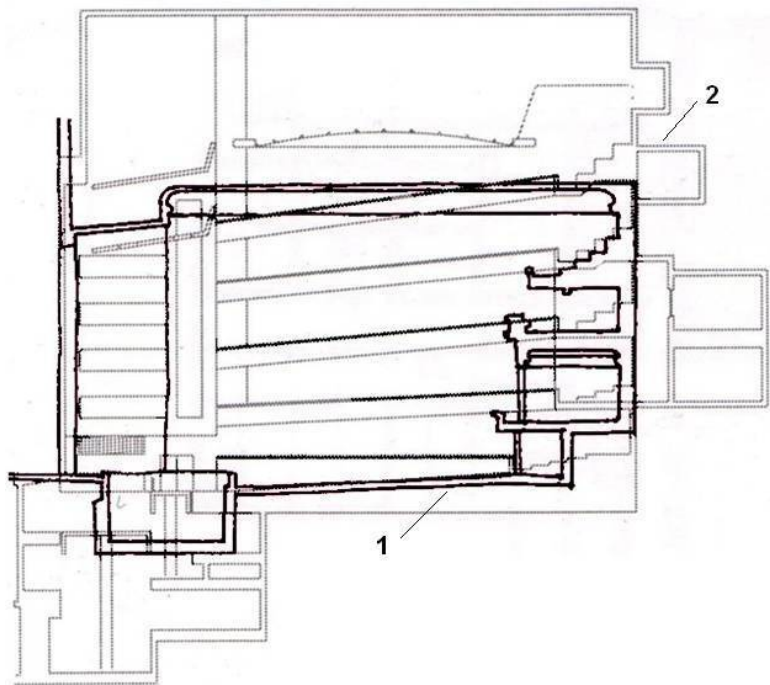


*Рисунок 3.4*

*Мариинский театр в Санкт-Петербурге. Планы*

*1 – первая сцена,*

*2 – новое здание Мариинского театра (базовый вариант)*



*Рисунок 3.5*

*Мариинский театр в Санкт-Петербурге. Продольные*

*разрезы*

*1 – первая сцена,*

*2 – новое здание Мариинского театра (базовый вариант)*

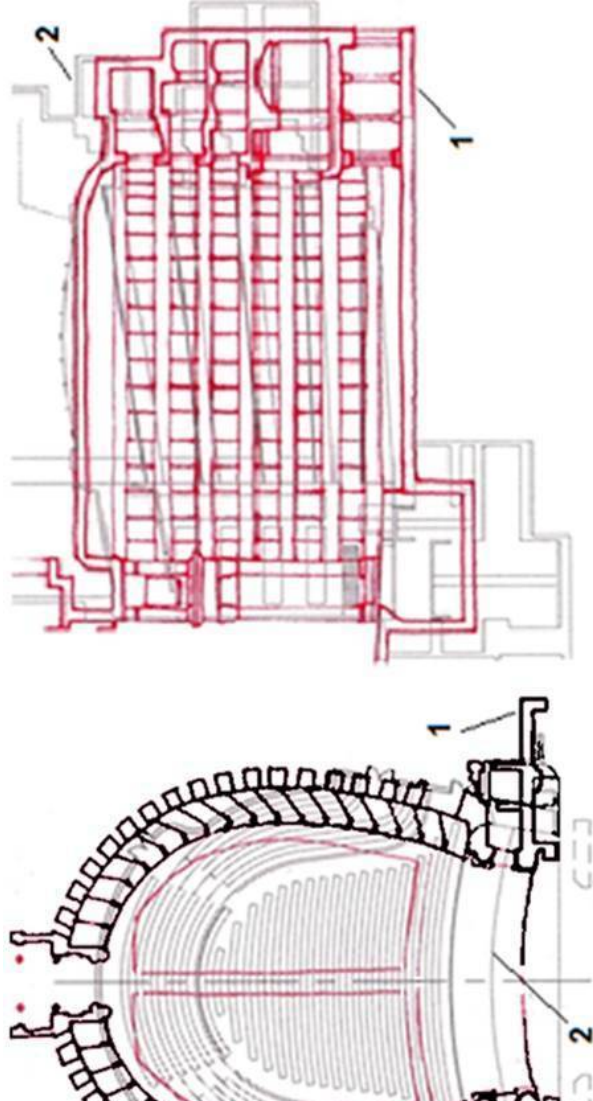


Рисунок 3.6

Оперный театр Ла Скала (милан, Италия)

1 - Оперный театр Ла Скала

2 - Новое здание Мариинского театра



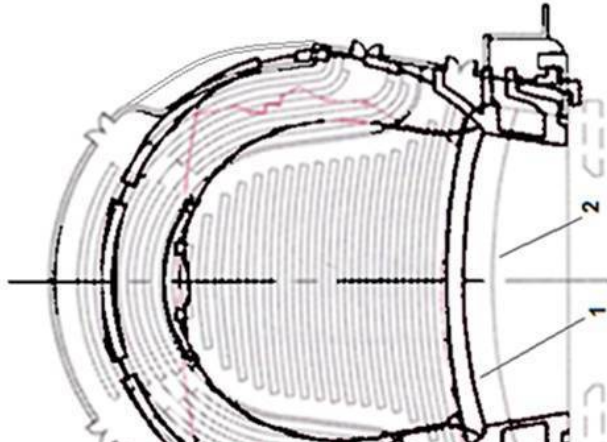
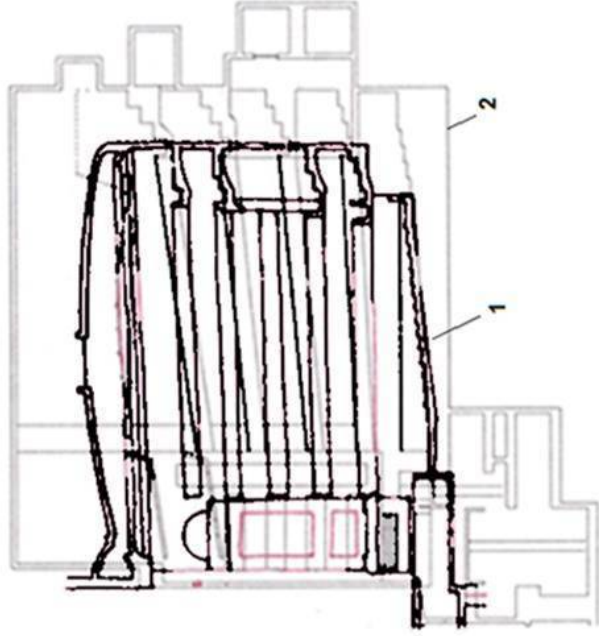


Рисунок 3.7

Национальный театр в Мюнхене (Германия)

1 - Национальный театр в Мюнхене,

2 - новое здание Мариинского театра (базовый вариант)



Из рисунков 3.5–3.7 становится очевидным, что габаритные характеристики представленных театров мировой известности удовлетворительно согласованы и не находятся в принципиальном противоречии друг с другом.

Далее мы не ставим перед собой задачу провести акустический анализ форм залов всех упомянутых здесь примеров музыкальных театров мировой известности.

В целях дальнейшего развития театральной акустики в п.3.2.2 будет проведён акустический анализ только базового варианта формы зала в новом здании Мариинского театра в Санкт-Петербурге.

Разумеется, что базовый вариант формы зала в новом здании Мариинского театра принимается по рисункам 3.2 и 3.3 [23].

## **Акустический анализ базового варианта формы зала**

Важно, что планы базового варианта зала разработаны Проектным бюро Artec Consultans Inc [23] с учетом мирового опыта проектирования и эксплуатации известных театров оперы и балета. На основе мирового опыта авторами базового плана определены: размер, габариты и пропорции зала, количество мест, расположение требуемого количества мест, количество ярусов и количество мест на каждом ярусе, де-

тальный план оркестровой ямы, предложены формы элементов интерьера (рисунки 3.2–3.7).

Следующие восемь положений дадут нам возможность постичь основные параметры, а также положительные качества базового варианта и его недостатки, которые могли быть и были учтены при разработке конкурсного акустического проекта.

Из мировой практики известно, что ощущение «пространственного» звучания формируется первыми отражениями от боковых стен. Первые отражения, приходящие по направлению оси максимальной чувствительности слуха человека, вызывают наилучшее пространственное впечатление, т.е. нужно, чтобы отражения от стен приходили не под каким-либо углом спереди или сзади, а именно со стороны уха человека. Отражения от потолка не создают, но и не искажают пространственное впечатление.

Форма и положение боковых припортальных стен и ограждений всех ярусов базового плана позволяют хорошо снабжать энергией первых интенсивных отражений только средние и дальние ряды партера (5-й ряд и далее при обычном составе оркестра) и другие места основного уровня, а также все места на ярусах (рисунок 3.8). Однако в партер (5-й ряд и далее) первые интенсивные отражения от боковых стен приходят под углом, а не по направлению оси максимальной чувствительности слуха человека. К первым четы-

рем рядом первые интенсивные отражения от боковых стен не поступают.

В конкурсном акустическом проекте (рисунки 3.12 и 3.13) мы восполнили этот недостаток первых отражений от стен. В следующем подразделе это будет ясно демонстрироваться.

Над оркестровой ямой и первыми четырьмя рядами зрительских мест установлен регулируемый акустический рефлектор.

Отражатель имеет регулируемый уровень его размещения только по высоте (без поворота) с фиксированным углом наклона 90 к плоскости пола сцены. При указанных форме и положении отражателя (рисунок 3.9) первые три ряда (семь рядов) партера лишены первых интенсивных отражений из верхней зоны зала при положении певца вблизи (вдали от) портала.

Из мирового опыта проектирования оперных и концертных залов известно, что первые интенсивные отражения от потолка или из верхней зоны зала должны приходить вторыми по времени после первых боковых отражений, повышая при этом индекс ясности, который является не менее важной характеристикой зала, чем пространственное звучание [ 20 ]. Ведь к слушателю до наступления процесса реверберации, примерно за 80 миллисекунд (мсек) после поступления прямого звука (в процессе первых интенсивных отраже-



ний) должна прийти основная часть звуковой энергии, позволяя слушателю правильно и ясно определить проигрываемую ноту (музыкальный тон), т.к. время нарастания колебаний большинства музыкальных инструментов примерно равно 80–100 мсек. В первых рядах партера по базовому варианту нет самых интенсивных отражений от стен и от потолка, поэтому возможны искажения в ощущениях пространственности и ясности звучания инструментов и голоса.

Данная особенность аналогична известным особенностям части старых театров – не на всех местах партера гарантирована превосходная акустика, и недостатки акустики на этих местах, в первую очередь, связаны именно с искажениями пространственности и ясности звучания при хорошем или даже оптимальном времени реверберации в целом по залу.

Данная особенность аналогична известным особенностям части старых театров – не на всех местах партера гарантирована превосходная акустика, и недостатки акустики на этих местах, в первую очередь, связаны именно с искажениями пространственности и ясности звучания при хорошем или даже оптимальном времени реверберации в целом по залу.



пространственности и ясности звучания инструментов и голоса.

**Структура начальных интенсивных отражений в нашем акустическом проекте является предметом дальнейшей весьма тщательной проработки и наибольшего внимания.**

## ОПЕРА. ОРКЕСТР В ОРКЕСТРОВОЙ ЯМЕ. БАЗОВОЕ СЕЧЕНИЕ

**Первые  
отражения  
из верхней  
зоны зала**

В партер (5-й ряд и далее) первые интенсивные отражения от боковых стен переходят под углом, а не по направлению осимаксимальной чувствительности слуха человека, к первым четырем рядам (к двум первым рядам полностью и двум частично). Первые интенсивные отражения от боковых стен не поступают.

**Ясность звучания**

Звук оркестра маскирует голос певца в первых и средних рядах партера

В первых рядах партера по базовому направлению нет самых интенсивных отражений от стен и от потолка, поэтому возможна искажения прозрачности и ясности звучания инструментов и голоса.

Звук мощного оркестра, отражаясь от рефлектора, попадает в первые, средние и др. ряды партера, маскируя голос певца в первых и средних рядах партера

Рисунок 3.9

**Базовое сечение. Опера. Оркестр в оркестровой яме.**

Форма и положение рефлектора (более пригодных в концертном зале), предложенные участникам конкурса для анализа и принятия конкурсных решений не позволяли создать условия для баланса звуковой энергии в оперном зале.

В оперном зале главные действующие лица (главные создатели гармонии) — это певец, оркестр и дирижер. Естественные голоса певца и оркестра по энергии различаются в сотни раз. Анализ базового варианта показывает, что при удалении певца на расстояние 7м от портала интенсивные отражения голоса от рефлектора и акустического потолка в партере отсутствуют и поступают только на ярусы, а при удалении певца на расстояние 2.5м от портала интенсивные отражения голоса поступают только в последние ряды партера. В то же время, звук мощного оркестра, отражаясь от акустического отражателя, попадает в первые, средние и др. ряды партера, маскируя голос певца в первых и средних рядах партера (рисунок 3.11).

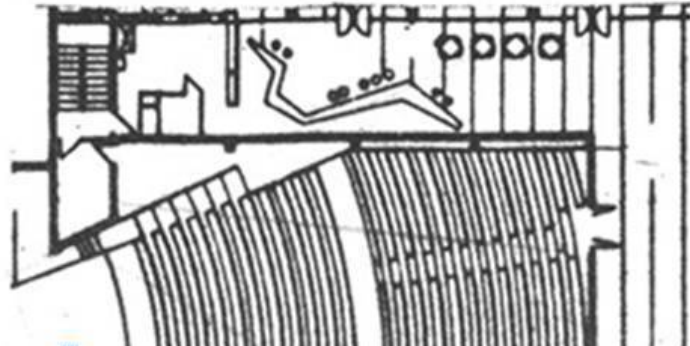
Отражения звуков оркестра не поступают к певцу, а также к дирижеру. К музыкантам не поступают отражения звуков их инструментов, они не слышат отражения голоса певца на фоне акустических отражений собственного исполнения.

На новой сцене Мариинского театра во время оперных спектаклей (в конкурсном акустическом проекте) выявилась

жизненная необходимость создания условий для правильного баланса звуковой энергии с учетом специфики оперных постановок, а, особенно, романтических оперных постановок, когда оркестр может наиболее существенно превосходить по энергии голоса певцов. Качество звука в исполнительской зоне (баланс звуковой энергии ) для камерных оперных постановок не менее важно, чем для романтических.

Поверхности дальней от сцены стены и поверхности ограждений ярусов вогнутые (рисунок 3.2).

При вогнутой поверхности интенсивность отраженной звуковой энергии от таких стен и от ограждений ярусов убывает значительно медленнее, чем при сферическом распространении, т.е в исполнительской зоне и в первых рядах партера. Такие отражения при одновременном большом запаздывании, особенно из ложи президента (задняя стена ложи расположена акустически существенно дальше от сцены, чем задняя стена на ярусах), могут вызвать весьма нежелательное, заметное эхо на сцене и в первых рядах партера. Это вполне возможно в базовом варианте еще и потому, что исполнительская зона певца (как и оркестра) акустически не сбалансирована, в нее не поступают интенсивные отражения звука оркестра и звука собственного голоса певца.



Продольный разрез зрительного зала

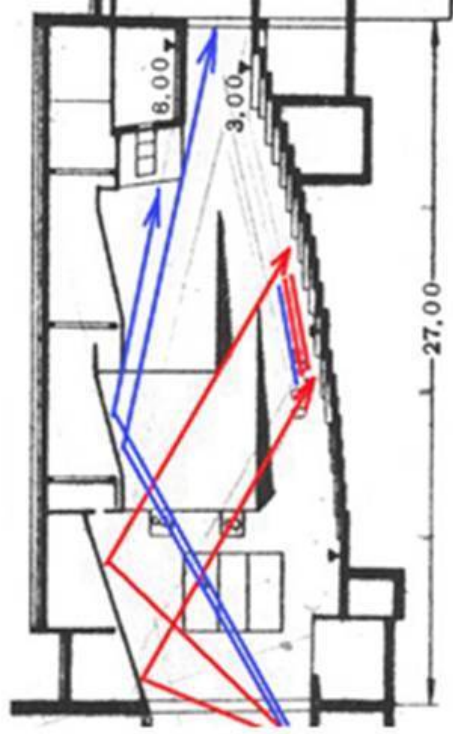


Рисунок 3.10

Театр на 800 мест в Липецке. План и продольный разрез

Возникновение нежелательного эхо тем более возможно в первых рядах партера, куда не поступают ранние интенсивные отражения от стен и от потолка.

Форма и размеры боковой поверхности «стойек» игрового портала таковы (рисунок 3.8), что они не позволяют использовать его как отражатель звука для формирования боковых отражений на первых четырех рядах партера в наиболее важной части спектра оперной музыки, т.е. на средних и высоких частотах.



# Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.