

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

В.М. Разживин, О.Л. Викторова, Л.Н. Петрянина

**АРХИТЕКТУРА ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ.
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗРИТЕЛЬНЫХ ЗАЛОВ
С ЕСТЕСТВЕННОЙ АКУСТИКОЙ**

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ
по образованию в области строительства в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений, обучающихся
по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»

Пенза 2015

УДК 725.8.012.1 (075.8)

ББК 85.118 я 73

P17

Рецензент – кафедра «Архитектура гражданских и промышленных зданий» Научно-исследовательский Московский государственный строительный университет;
зав. кафедрой «Строительные материалы и технологии» Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН В.Т. Ерофеев

Разживин В.М.

P17 **Архитектура гражданских зданий. Функциональные основы проектирование зрительных залов с естественной акустикой: учебное пособие по курсовому проектированию / В.М. Разживин, О.Л. Викторова, Л.Н. Петрянина. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 108 с.**
ISBN 978-5-9282-1345-9

Изложены теоретические основы проектирования видимости, безопасной эвакуации и естественной акустики залов; представлены методики назначения основных размеров зального помещения, размещения зрительских мест, определения времени безопасной эвакуации, анализа запаздывания звуковых отражений, расчета времени реверберации.

Пособие подготовлено на кафедре «Городское строительство и архитектура» и предназначено для студентов, обучающихся по программе подготовки академический бакалавр (направление 08.03.01. «Строительство», дисциплина «Архитектура гражданских зданий»).

ISBN 978-5-9282-1345-9

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2015

© Разживин В.М., Викторова О.Л.,
Петрянина Л.Н., 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие «Архитектура гражданских зданий. Функциональные основы проектирования зрительных залов с естественной акустикой» написано в соответствии с требованиями Федерального государственного стандарта высшего профессионального образования ФГОС ВПО по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство». Кроме того, данное учебное пособие может быть использовано в качестве дополнительной литературы для студентов обучающихся по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», а также для подготовки бакалавров и магистров по направлению «Архитектура».

В учебном пособии приводится историческая справка по проектированию зрительных залов с естественной акустикой, особое внимание уделяется требованиям по разработке функциональных основ проектирования общественных зданий: зрительного, цветового и слухового восприятия происходящего на сцене, безопасной эвакуации зрителей. На примерах расчетной части курсового проекта Рассмотрены: расчет видимости по кривой наименьшего подъема, акустический расчет и расчет безопасной эвакуации. Для организации самостоятельной работы студентов и более глубокого освоения теоретического материала приводятся методические рекомендации по выполнению курсового проекта. Данное учебное пособие поможет выпускнику программы академический бакалавр овладеть как общекультурными компетенциями: ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, так и профессиональными компетенциями в изыскательской и проектно-конструкторской деятельности: ПК-1, ПК-3; в экспериментально-исследовательской: ПК-9, ПК-10, ПК-11. В соответствии с этими компетенциями выпускник должен обладать культурой мышления и способностью к восприятию информации, уметь пользоваться нормативными документами, осознавать

социальную значимость своей будущей профессии. В сфере профессиональных компетенций выпускник должен:

знать

- отечественный и зарубежный опыт по проектированию зрительных залов различного назначения;
- функциональные и физико-технические основы проектирования зрительных залов;
- нормативные требования по проектированию зрительных залов.

уметь

- разрабатывать объемно-планировочные решения зрительных залов, отвечающие требованиям зрительного, цветового и слухового восприятия происходящего на сцене, безопасной эвакуации зрителей.

владеть

- основными законами геометрического формирования построения пространства залов с естественной акустикой;
- методами расчета по естественной акустике и видимости в зрительных залах с построением профиля зрительских мест, а также по безопасной эвакуации зрителей из зала;
- технологией проектирования.

Учебное пособие может быть использовано студентами для курсового и дипломного проектирования, а также инженерно-техническими работниками и проектировщиками при проектировании зрительных залов.

В подготовке пособия принимали участие к.т.н., доцент Разживин В.М. (историческая справка, разделы 2, 4, 6); к.т.н., доцент Викторова О.Л. (разделы 1, 5); доцент Петрянина Л.Н. (раздел 3).

ВВЕДЕНИЕ

Театральное строительство тесно связано с духовным общественным развитием от времен Древней Греции и Древнего Рима до настоящих дней. В соответствии с исторической традицией, основное пространство театра делится на сцену, как место проведения представлений, зоны технического и музыкального сопровождения, зрительный зал. Накапливающийся веками опыт утвердился и выразился в нескольких приемах проектирования театрального зала: форма в плане подковообразная или овальная, многоярусное расположение зрительских мест при сравнительно небольшой удаленности лож от сцены.

Несмотря на грандиозность сооружений, масштабы строительства в те времена были ограничены, а автором проекта мог быть один человек, решавший все основные вопросы планировки, подбора наружных и внутренних конструкций как по материалам, так и придания им необходимой формы.

Но было бы ошибочно считать, что все прославленные классические театры удачно выходили «из-под карандаша» авторов. В качестве примера можно привести зрительный зал Большого театра в Москве, акустика которого была доведена до высокого качества только после реконструкции 1853 года известным архитектором театральных зданий А. Кавосом. Результаты последнего крупного ремонта здания и реконструкции зрительного зала 2011 года, по мнению специалистов, требуют времени и осмысления.

Прогресс в технологиях производства строительных работ, использования новых отделочных материалов и конструкций, а также применение совершенных в техническом отношении систем освещения, вентиляции и кондиционирования усложнило проектирование и привело к разделению работ над проектом групп специалистов. Инженеров и архитекторов больше интересовали вопросы объемно-планировочного решения здания и компоновки групп помещений по горизонтали и вертикали здания. При проведении мероприятий в театральных залах первостепенными стали выступать инженерные требования к безопасной эвакуации громадного количества людей из зрительного зала, условия комфортности восприятия происходящего на сцене (видимости) и пространственного слухового восприятия (акустики) на каждом конкретном зрительском месте. Два последних условия напрямую связаны с формообразованием зального пространства и решением его интерьера.

Учебное пособие посвящено проектированию зрительных залов с учетом функциональных особенностей каждого из них и ориентировано на углубление знаний студентов направления «Строительство» при изучении дисциплины учебного плана «Архитектура гражданских зданий».

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА О СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТЕАТРАЛЬНЫХ ЗАЛОВ

Театр, как сооружение, приспособленное для драматических представлений, получил правильное устройство впервые в Древней Греции (рис.1), а позже по его образцу и в Риме. По сохранившимся до наших времен культовым и зрелищным сооружениям видно, что основы видимости и распространения звука были известны древним строителям. Размеры греческих и римских театров на открытом воздухе выбирались таким образом, чтобы в наибольшей степени использовать ярусный профиль слушательских мест в виде полукружия и энергию отраженных волн.

Планировка античного театра проста и понятна современникам. Она включала три основные части (рис.1):

- амфитеатр с сидениями для зрителей, которые располагались полукругом концентрическими рядами с небольшим подъемом и ярусами;
- орхестра (небольшой площадки), на которой располагался хор и выступали танцоры;
- сцены с задником в виде небольшого возвышения или помоста, на котором выступали актёры.

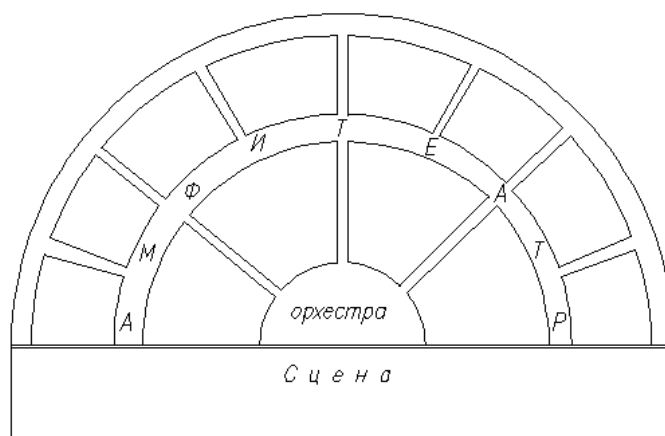


Рис.1. План греческого театра

Представления проходили при дневном свете; в Греции часто состязания драматургов при постановке трилогий длились 2-3 дня. Женские роли исполнялись юношами; а актёрам для создания определенного образа своего персонажа (негодяй или герой, молодой или почтенного возраста) надевали маски. Кажутся неправдоподобными свидетельства историков о вместимости древних греческих и римских театров, которые наполнялись естественным звучанием голосов актеров. Так, театр Помпея вмещал 17800 зрителей, театр Марцелла в Риме – 20 тысяч человек. Если предположить, что эти данные преувеличены в 3..3,5 раза (по современным оценкам театры

вмещали 5 и 7 тысяч человек), то кажется необъяснимым, настоящим чудом, как в этих громадных театрах достигалась удовлетворительное озвучивание слушательских мест. Остается предположить либо высокую слуховую чувствительность древних поклонников сценического искусства, либо строители знали неведомые нам секреты, позволявшие получить достаточную громкость и разборчивость на зрительских площадках. До наших дней дошли сведения о так называемых «шепчущихся» галереях Древнего Рима. На них тихие звуки, благодаря правильно ориентированным отражающим поверхностям стен, распространялись на большие расстояния. Собеседники, удаленные друг от друга на десятки метров, могли общаться, не напрягая голоса. Вблизи г.Сиракузы на острове Сицилия сохранились древние каменоломни. По преданию, в одну из галерей, названную «ухом Диониса», помещали пленных. Наверху, благодаря естественным каналам-щелям, было слышно все, что пленные говорили между собой и таким образом узнавались их секреты. Особые каналы позволяли правителям в своих дворцах подслушивать откровенные разговоры сановников, полагавших, что их не слышат, и на основании этого оценивалась их преданность.

Античные знания об акустике помещений нашли применение при сооружении культовых сооружений раннего и позднего средневековья. Католическим храмам придавались особые архитектурные формы зального помещения, в которых расположение органа и хора создавали иллюзию музыки, льющейся с небес. Своеобразным акустическим эффектом отличались помещения православных храмов. Голоса священников и певчих отражались от купольной части сооружения вниз, к молящимся, и у них возникало в сознании ощущение общения с Богом. Для создания желаемой акустической обстановки строители закладывали в стены и своды храмов глиняные кувшины разных размеров, так называемые «голосники», своеобразные звуковые усилители.

В средние века духовные театральные представления первоначально давались в церквях; затем появились странствующие труппы актёров и фокусников, игравшие на ярмарках во временных постройках. Постоянные театры в городах Западной Европе стали возникать с XV века и уже к началу XIX сложился современный тип театрального здания. Он включал в себя круглый в плане зрительный зал с слегка наклоненным к сцене полом, который был занят рядами кресел (партер) и несколькими ярусами галерей с рядами лож, балкона и отдельных мест. Между зрительным залом и сценой располагалось узкое и длинное пространство для музыкантов оркестра. За ним находился возвышенный помост с открытым в зал сценическим помещением для выступления актёров.

От зрительного зала сцена отделяется несколькими рядами занавесей. Перед первым занавесом на полу помещался ряд керосиновых ламп – современный прообраз рампы для освещения сцены. Сцена обставлялась

рядом выдвижных декораций в боковых карманах для смены обстановки по ходу представления. С 1896 года в техническое оснащение театров входит вращающаяся сцена, которая дает возможность менять обстановку сцены чрезвычайно быстро и незаметно. Разумный выбор геометрической формы, размеров, продуманное размещение звукопоглощающих материалов в этих залах позволили создать хорошие условия для слушателей и исполнителей – певцов и музыкантов.

Таким образом, появление закрытых театров стало ступенью в развитии драматического и музыкального искусства. Ограниченный объём театрального помещения обеспечил разборчивое восприятие речи при относительно небольших мощностях голоса актера на большинстве слушательских мест. Стало возможным увеличение темпа речи актёров и расширение голосового динамического диапазона певцов.

Колыбелью современного театра по праву является Италия, где до XVII века строились деревянные театры, которые носили характер античных греческих театров с полукруглым слегка приподнятым амфитеатром и сценой. Но этот театр был уже под крышей.

В конце XVIII века в Италии создается тип здания музыкального театра, который распространяется по всему миру. Итальянский театр имел преимущественно овальную форму зрительного зала в плане с расположенными по периметру ярусами. Овальная форма предполагает неравномерное распределение звуковой энергии при гладких поверхностях стен. Однако для устранения этого акустического явления по вертикали устраивались выступающие в зал ярусы (до 6–7) глубиной до 3 метров, хорошо рассеивающих звуковую энергию. Размещение зрителей на ярусах в виде чередующихся в 2–3 ряда «лент» повышало степень рассеивания звуковой энергии. Такая многоярусная схема планировки зрительного зала позволяло иметь на относительно небольшой площади большую вместимость.

Кроме того в отделке залов используется большое количество бархата, что создает значительное звукопоглощение и как следствие из этого – короткое время реверберации. По отзывам специалистов, залы Большого театра в Москве и Королевской оперы в Лондоне суховаты с точки зрения звучания музыки и хороши для вокала.

К началу XIX века развитие архитектурной акустики в северной Европе началось с изучения многочисленных отражений звука в закрытых помещениях. Были предприняты попытки разработать и спроектировать архитектурные формы, позволявшие давать полезные отражения к слушателям. Это явилось открытием целого теоретического направления – геометрической акустики, ограниченной почти исключительно изучением прохождения лучей отраженного звука и ставившего целью значительное усиление звука. Но как показал опыт, применение специально сконструированных отражающих поверхностей, помещенных над оратором или сзади

него, оказались недостаточными для обеспечения хорошей слышимости в закрытых помещениях. Надлежащее отражение звука или применение достаточно сильных источников звуковой энергии не являлось и не является совершенным средством для устранения недостатков акустики помещения.

Одним из тех, кто высказался на эту проблему акустики закрытого пространства, был Дж.Б.Уфам (J.B.Upham), доктор медицины из Бостона. Еще в 1853 году он четко сформулировал объяснение реверберации, как остаточного звучания, а также объяснение резонансам, как явлениям, занимающим основное место в акустической среде замкнутого пространства. Им был проведен ряд экспериментов в главном зале Бостонского Мюзик-Холла, размеры которого даже по современным меркам вызывают восхищение: его глубина около 40 м, ширина 24 м и высота 21 м. В частности, им были замечены изменения реверберации при нанесении отдельно мягкого и твердого слоев штукатурки на поверхности стен и потолка. Им отмечены интересные изменения времени реверберации: до установки стульев и обстановки зрительного зала оно приближалось к 4,5 с; установка мягких кресел, ковров на балконах и занавесей у окон, дверей уменьшило реверберацию до удовлетворительных размеров. Уфам пишет: «В том случае, если бы оказалось нужным ещё больше уменьшить реверберацию, это может быть легко и свободно достигнуто применением дополнительной обивки, драпировки и подвешиванием полотна у стен как раз под карнизом, что не мешает резонансу и не уменьшает заметно архитектурную красоту» [9].

С середины XIX столетия создаются научные основы акустического расчета и проектирования помещений для исполнения музыки. Статистическая теория распространения звука в помещениях была разработана профессором Гарвардского университета В.К. Сэбиным (W.C.Sabine). В честь него была названа единица поглощения звука – 1 сэбин.

На рубеже XX столетия в строительстве театральных зданий появляются железобетонные конструкции, позволяющие перекрывать большие пролеты. Рождается новый тип безъярусного театра, характерной чертой которого становится устройство вместительных балконов в задней части зала.

Т а б л и ц а 1

Наименование театра	Количество ярусов	Число зрителей	Объём, м ³	Время реверберации, с	Максимальная удаленность последнего ряда, м
Ла-Скала (Милан)	6	2290	16000	1,3	26
Большой театр (Москва)	5	2100	13800	1,55	24
Оперный театр (Одесса)	5	1700	12000	1,6	23,5
Национальная опера (Париж)	4	2130	15000	1,45	22
Королевская опера (Лондон)	4	1710	10000	1,4	24

Архитекторы Л. Карбюзье и другие продолжают исследовательские работы по акустическим проблемам и используют результаты теоретической акустики в практическом строительстве.

При возведении зала частной оперы в Чикаго использованы рекомендации Сэбина (рис.2). Объем зрительного зала при вместимости 3600 слушателей составляет 2400 м³.



Рис. 2. Зал Лирик-опера (Чикаго)

Время реверберации в заполненном зале $T_{500} = 1,9$ с. Архитектурная композиция зрительного зала считается близкой к удовлетворительной: в плане зал имеет форму правильного сектора с главной продольной осью; задней торцовой стенке придается малая кривизна; потолок расчленяется мелкими архитектурными элементами. У передней части потолка над сценой устроен козырек, позволяющий отражать звуковую энергию в глубину помещения.

Театр в Байрейте был построен в 1872–1876 годах по проекту архитектора Готфрида Земпера и при активном участии самого Рихарда Вагнера (рис.3). К настоящему времени первоначальный проект претерпел некоторые изменения. При очень скромном оформлении здания некоторые технические решения до сих пор остаются уникальными, сохраняя вот уже почти полтора столетия неослабевающий интерес публики к фестивалю, проводимому в этих стенах.

Характерными особенностями здания является зрительный зал в форме сектора амфитеатра, что было призвано обеспечить равную видимость сцены с любого места. За амфитеатром находятся ложи и балкон. Сцена расположена в так называемой "сценической башне", имеющей тройную по отношению к самой сцене высоту, что помогает быстро менять декорации.



Рис.3. Вагнеровский театр в Байрейте

Поперечные перегородки близ сцены, перпендикулярные боковым стенам, вызывают необычный акустический эффект. По силе воздействия на зрителей он сравним лишь с эхом в большом пространстве: звук идет не только со сцены, но и как бы обволакивает его со всех сторон.

Обращает внимание конструкция оркестровой ямы, уходящей глубоко под сцену. Пол оркестровой ямы уходит вглубь, продолжая линию наклона амфитеатра. Оркестр под сценой прикрывает козырек, поэтому звук из ямы распространяется вверх по амфитеатру и, только отразившись от задней стенки с ложами, возвращается к сцене, смешиваясь с голосами певцов. Такие акустические особенности зала создают совершенно своеобразное звучание, отмечаемое восторженными зрителями, хотя и сопряжены с дополнительными трудностями для исполнителей.

Концертный зал Плейели имеет объём 22000 м^3 , вместимость 3000 (после последней реконструкции – 1900) человек и время реверберации заполненного слушателями зрительного зала $T_{500}=1,5 \text{ с}$. Форма плана секторная; зал имеет наклонные боковые стены (рис. 4).

Потолку придана параболическая кривизна с фокусом возле эстрады. Однако этот экспериментальный зал имеет акустические дефекты. В частности, криволинейная поверхность акустического потолка концентрирует различные шумы на эстраде, что мешает слаженной работе

музыкантов, а поэтому переднюю часть потолка пришлось обработать звукопоглощающими материалами, что снизило время реверберации. Кроме того, вследствие большой высоты в передние и средние ряды приходят сильно запаздывающие отражения звуковой энергии, что создает неразборчивость музыкальных фраз. Зал Плейель является единственным крупным симфоническим концертным залом в Париже. Посещение его обязательно для любого меломана, ведь с этим залом связано много крупных музыкальных событий.



Рис. 4. Зал Плейели (Париж)

Колонный зал Дома Союзов в Москве считается одним из лучших в акустическом отношении музыкальных залов в Европе (рис. 5).



Рис. 5. Колонный зал Дома Союзов (Москва)

Прямоугольный по форме зал имеет по периметру стен мраморные колонны диаметром 90 см, благодаря чему создается высокая степень однородности звукового поля.

Объем зрительного зала составляет 12500 м³; вместимость – 1600 человек; время реверберации при полном заполнении $T_{500}=1,6$ с.

Схожее архитектурное построение имеет Большой зал государственной филармонии в Санкт-Петербурге (рис. 6).

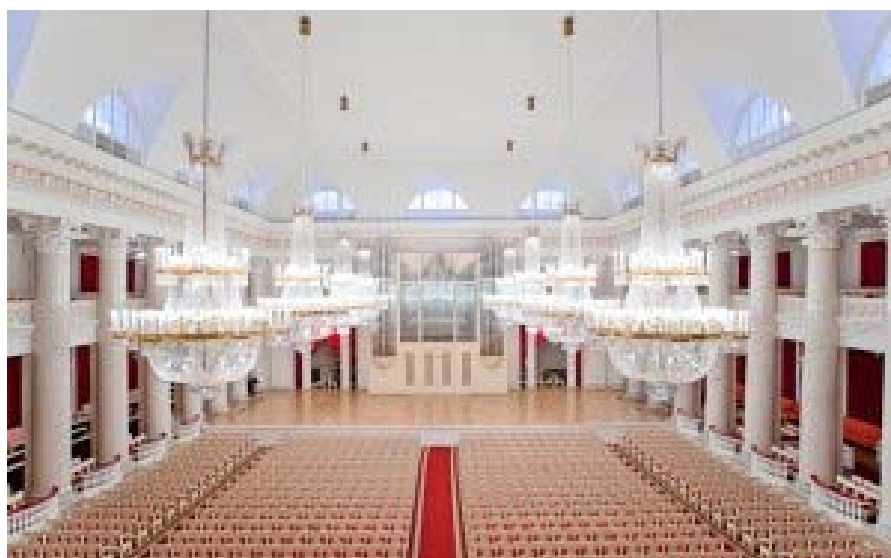


Рис. 6. Зал государственной филармонии (Санкт-Петербург)

При объеме зрительного зала 16380 м³ и вместимости 1400 человек создается прекрасная акустическая обстановка. Высокая степень однородности звука достигается большим количеством колонн диаметром 100 см по периметру зала и большими висячими люстрами на горизонтальном потолке. Время реверберации в пустом зале $T_{200}=2,2$ с и $T_{1000}=1,8$ с.

Концертный зал имени П.И. Чайковского в Москве имеет объем зрительного зала 18000 м³ и вмещает 1700 зрителей. Овальная форма плана не способствует равномерному распределению звуковой энергии; время реверберации для прослушивания музыкальных программ удовлетворительное. В сезоне 2004-2005 гг. концертный зал имени П.И. Чайковского предстал перед слушателями в обновленном виде (рис. 7). В зале были проведены несколько независимых акустических экспертиз, которые дали рекомендации по ремонту. Летом был проведен первый этап реконструкции: в зале установлены новые кресла, отреставрирован пол, в Германии изготовлена легко трансформирующаяся дополнительная сцена. В результате изменилась пространственная концепция зала, расширились его творческие возможности, значительно улучшилась акустика. Теперь можно легко разобрать партер и разместить на этом месте оркестр,

освободив сцену для постановок опер, или достроить сцену для исполнения масштабных произведений, требующих увеличенных составов исполнителей. Концертный зал имени П.И. Чайковского, сохранив свою праздничную торжественность, стал гораздо удобнее для артистов и слушателей.



Рис. 7. Концертный зал имени Чайковского(Москва)

Т а б л и ц а 2

Наименование театра	Объём, м ³	Объём на од- ного человека, м ³	Вмести- мость	Время ревер- берации T ₅₀₀ , с
Вагнеровский театр, Байреит	113000	8,4	1345	2,2
Зал частной оперы, Чикаго	24000	6,7	3600	1,9
Концертный зал в Плейели, Париж	22000	7,3	3000	1,5
Зал Куинс-Холл, Лондон	12000	6	2026	1,4
Колонный зал Дома Союзов, Москва	12500	7,8	1600	1,6
Зал государственной филармонии, Санкт-Петербург	16380	11,7	1400	1,8
Концертный зал им. Чайковского, Москва	18000	10	1700	2,2
Большой зал консерватории, Москва	17000	7,9	2150	2,2
Бетховен-Халле, Бонн	16000	11	1420	1,8
Большой зал Лидер-Халле, Штудгарт	16000	8	2000	1,9
Средний зал Лидер-Халле, Штудгарт	5500	7	800	1,8
Королевский зал британского фестиваля, Лондон	18000	6	3000	1,7

Большой зал консерватории в Москве имеет объём 17000 м³ и вместимость 2150 зрителей. Время реверберации для заполненного слушателями зала $T_{500} - 2,2$ с. Акустика зала вполне удовлетворительная для звучания органной и симфонической музыки. Большой зал Московской консерватории по праву относится к одним из лучших мировых акустических шедевров. Именно поэтому музыку там можно слушать из любого места, все будет прекрасно слышно. Сам зал поражает своим убранством, строгостью линий, отточенностью архитектурных решений (рис.8).



Рис.8. Большой зал консерватории (Москва)

В театральных залах первой половине и середине XX века отсутствуют «излишества» интерьера и просматривается главная цель проектировщиков естественной акустики – выдержать время реверберации в пределах рекомендуемых значений от объема помещения соответствующего назначения [1, 2, 5, 6].

К достижениям отечественной архитектурной акустики следует отнести зрительные залы Детского музыкального театра, Театра им. Е. Вахтангова, Московского драматического театра им. А.С. Пушкина, Дворца культуры

ЗиЛа, студии Государственного дома звукозаписи, ателье записи и прослушивания киностудии «Мосфильм». В этих залах соблюдены требования геометрической акустики: рационально выбраны формы и размеры, что обеспечивало высокую степень однородности поля и оптимизацию времени запаздывания начальных отражений. В каждом конкретном случае выбраны свои архитектурно-планировочные решения. Залам сравнительно небольшой ширины придана форма прямоугольного параллелепипеда. Таковы Большой и Малый залы Московской консерватории, Большой зал московского Дома ученых. При небольшой ширине количество отражений, приходящих на места слушателей, быстро нарастает со временем и в завершающей части процесса реверберации настолько велико, что обеспечивает хорошую однородность звукового поля. В залах большой ширины (Колонный зал Дома союзов, Большой зал Санкт-Петербургской филармонии) введены звукорассеивающие конструкции в виде ряда колонн. В современных залах большой вместимости хорошего рассеяния звуков достигают членением стен и потолка и установкой крупных рассеивающих поверхностей на стенах.

Однако удовлетворительная акустика, ограничения прослушивания музыкальных программ (орган, симфонический оркестр, вокал) связаны с недостаточной проработкой архитектуры помещения. Время реверберации в концертных залах больше, чем для любых иных залов. Однако время реверберации не всегда определяет акустические свойства залов. Например, в Малом зале Московской государственной консерватории акустические свойства прекрасны, а время реверберации составляет 2 с. В то же время, если следовать рекомендациям, для объема зрительного зала 2550 м³ время реверберации должно быть около 1,35 с. Решающим фактором здесь является структура ранних отражений.

Звукоотражающие экраны на потолке, расчленение стен по вертикали ярусами лож и выступающих балконов, на которых размещается до 40% зрителей, создают хорошие условия для рассеивания звуковой энергии, формирования диффузного звукового поля и характерны для зрительных залов старого типа. Современные решения больших концертных залов характеризуются преимущественным размещением слушателей перед эстрадой, но иногда с нарушением симметрии размещения относительно центральной продольной оси и комбинированием плоских, вогнутых и выпуклых поверхностей внутренних стен. Это делается для того, чтобы выпуклая часть стены равномерно рассеивала звуковую энергию и особенно звуков одной части оркестра, где расположена, например, группа скрипачей и виолончелистов. Для устранения опасности фокусирования звуковой энергии и лучшего рассеивания отраженного звука вся вогнутая поверхность расчленяется уступами до 1 м глубиной и шагом 3–4 м, что обеспечивает рассеивание звука вплоть до частот 100 Гц.

Накопленный в период конца XX и начала XXI столетия опыт концертной работы театрального сообщества и архитекторов-проектировщиков театральных зданий коренным образом изменил классическую схему технологического процесса концертных залов. Строящиеся сегодня в мире концертные залы отличаются внешними формами от аналогичных по функции зданий, построенных в 70-е годы XX столетия.

В первоначальный период развития концертных залов стремление театральных постановщиков к совершенству исполнения привело к разделению исполнителей и зрителей оркестровой ямой и порталом с антрактным занавесом. Происходящее на сцене приняло одностороннюю направленность к зрителю, а зрители в зале получили фронтальное расположение по отношению к сцене. Такая планировка стала нормой вместе с проведением концертных программ в театральных и клубных залах со сценическими коробками.

С появлением универсального концертного зала имени Чайковского в Москве, в котором была реализована новаторская идея о слиянии зрительской среды с открытой эстрадой и площадкой для оркестра на боковой галерее, каждый зритель почувствовал себя полноправным участником происходящего сценического действия. В театральной среде это не стало революционным событием, но указало направление поиска новых сценографических форм и освобождения от традиционных громоздких декораций, а в концертной среде – от использования декоративных задников и иной бутафорской атрибутики.

На рубеже 60-х годов XX столетия за рубежом в проектировании и строительстве концертных залов также произошли серьезные изменения, которые напрямую связаны с поиском новых направлений в организации концертной деятельности. Все крупные мировой величины концертные залы решены единым пространством с эстрадой, максимально охваченной зрительской зоной (концертные залы Берлинской филармонии и Бетховенский зал в Бонне). Зал Берлинской филармонии является самым большим концертным залом Берлина и рассчитан на 2440 мест. Длина зала составляет 60 м, ширина – 55 м, высота с подиумом – 21 м. Зал Филармонии отличается необычным интерьером. Сцена перенесена в центр зала, и оркестр как на арене окружён со всех сторон публикой, размещающейся на разноуровневых террасах лож (рис.9).

Акустические проблемы были великолепно решены за счёт особой конструкции стен и мягкой обивки потолка. По той же схеме стали сооружаться и отечественные объекты (Большой зал московского Международного Дома музыки, летний концертный зал в Сочи).

Соперничество за зрителя особенно с телевидением определяет необходимость использования двух серьезных преимуществ концертных залов: возможности зрителей напрямую общаться с «живыми» звуками, артистами, а также возможности для открытого выражения публичного

мнения и эмоций. В настоящее время зарубежный опыт исходит из того, что для качественного восприятия естественной акустики залов необходимо настраиваться на каждую программу, а залы не превышают вместимость в 3000 мест (рис.10).

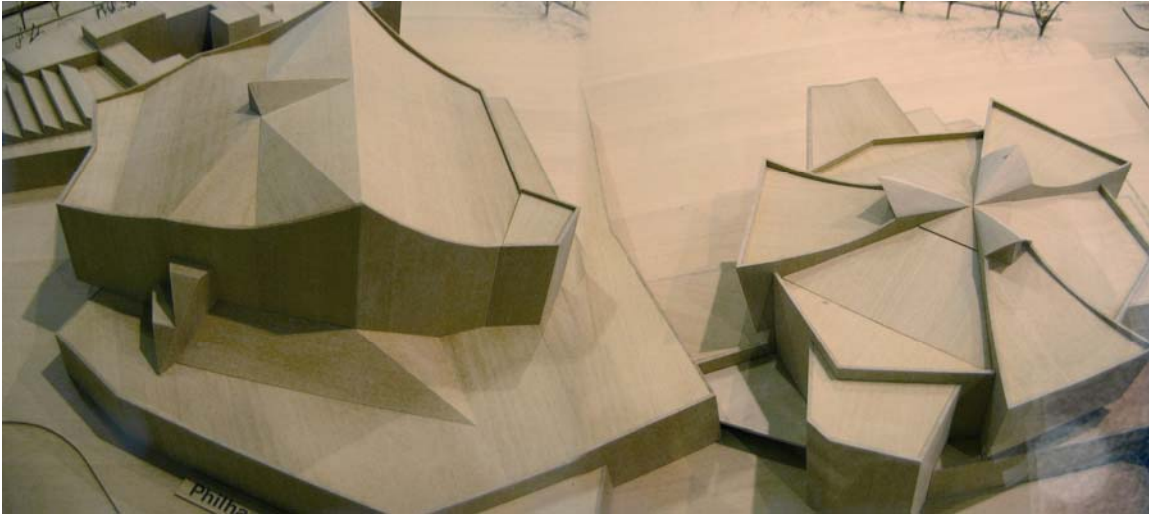


Рис. 9. Модель Берлинской филармонии (слева) и Зала камерной музыки (справа)

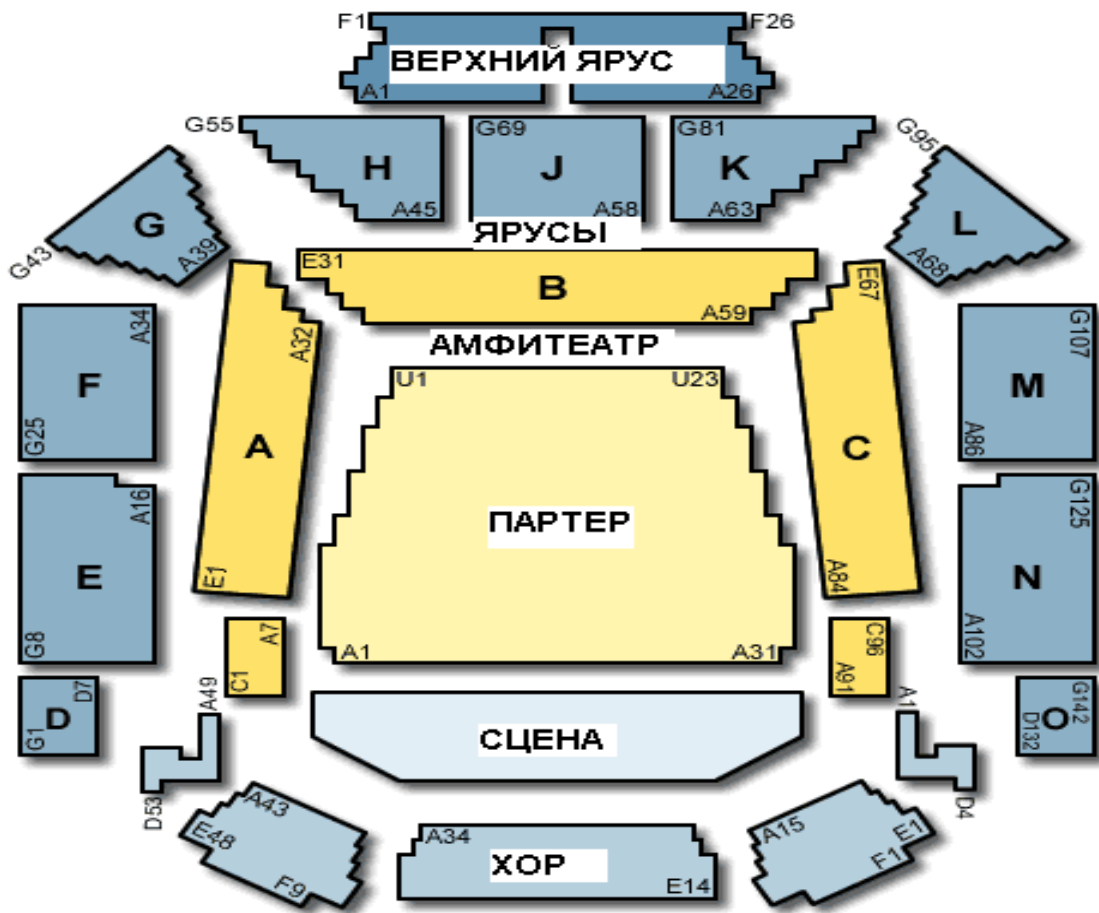


Рис.10. Планировка концертного зала Royal Concert (Глазго, Шотландия)

К настоящему времени в России наработан сравнительно небольшой опыт нового проектирования концертных залов. В основном ввиду нехватки финансовых средств для проведения концертной деятельности использовались филармонические и консерваторские здания, построенные в начале XX века, а также здания домов и дворцов культуры постройки 20-70-х гг. советского периода. И только со второй половины 60-х годов стали строить здания и залы, предназначенные для проведения исключительно или преимущественно для концертных программ. Их проектированием занимался специализированный проектный институт – ЦНИИЭП зрелищных зданий им. Б.С. Мезенцева в Москве, который выполнял все подобные проекты.

С начала 1990-х гг. строительство концертных залов в России почти не ведется. Исключения – возведение Международного Дома Музыки на Красных Холмах, Центра оперного пения Вишневецкой на ул. Остоженка в Москве, концертного зала «Мариинский» в Санкт-Петербурге. В первых двух проектах отсутствие опыта подобной работы у проектировщиков привело к серьезному ухудшению естественной акустики зрительного зала. С концертным залом в Санкт-Петербурге все вышло иначе.

Решение о его создании было принято художественным руководителем Мариинского театра В.А. Гергиевым после пожара 2004 года, разрушившего здание бывших художественных мастерских Мариинского театра (проект архитектора А.В. Шретера 1900 г.). На месте сгоревшего здания был задуман новый концертный зал «Мариинский» с уникальной акустикой, отвечающий последним требованиям сценической технологии (рис.11).

К созданию проекта были привлечены крупные иностранные специалисты, среди которых один из ведущих французских архитекторов, специализирующихся на проектировании и строительстве театров и концертных залов – Ксавье Фабр с группой французских инженеров-сценографов из фирмы «SCENE», японский специалист по акустике с мировым именем Язу Тойота, а также французские инженеры по несущим конструкциям и техническим сетям из бюро «SETEC-Bâtiment».

Проектирование и строительство было осуществлено в рекордно короткие сроки: меньше чем за год был создан проект и разработаны рабочие чертежи, и чуть больше года понадобилось на строительство здания.

По замыслу архитекторов новый концертный зал должен был частично вписаться в габариты сгоревшего здания, расположенного на очень узком и вытянутом участке, сохранив уцелевшие от пожара части исторических фасадов художественных мастерских со стороны улицы Писарева.

Особая конфигурация зрительного зала, образующая единое пространство в форме «колыбели» (рис.12), была определена архитектором для достижения высокого качества и богатства звука и прекрасной видимости сценической площадки с любого зрительского места. Концепция

зала совместила в себе два традиционных типа концертных залов – продолговатой прямоугольной формы «shoe box» (по такой модели создан, например, зал «Musikverein» в Вене) и формы ступенчатых террас, расположенных вокруг оркестровой площадки (этому типу соответствует, например, зал Берлинской филармонии).

Оригинальная обшивка стен зала, состоящая из попеременно выпуклых и вогнутых деревянных панелей, создающих эффект «плетения», оказывает значительное влияние на распределение звука. Над разработкой и реализацией этого непростого замысла отделки зала архитекторы работали совместно со специалистами фирмы «FINNFOREST Merk GmbH».

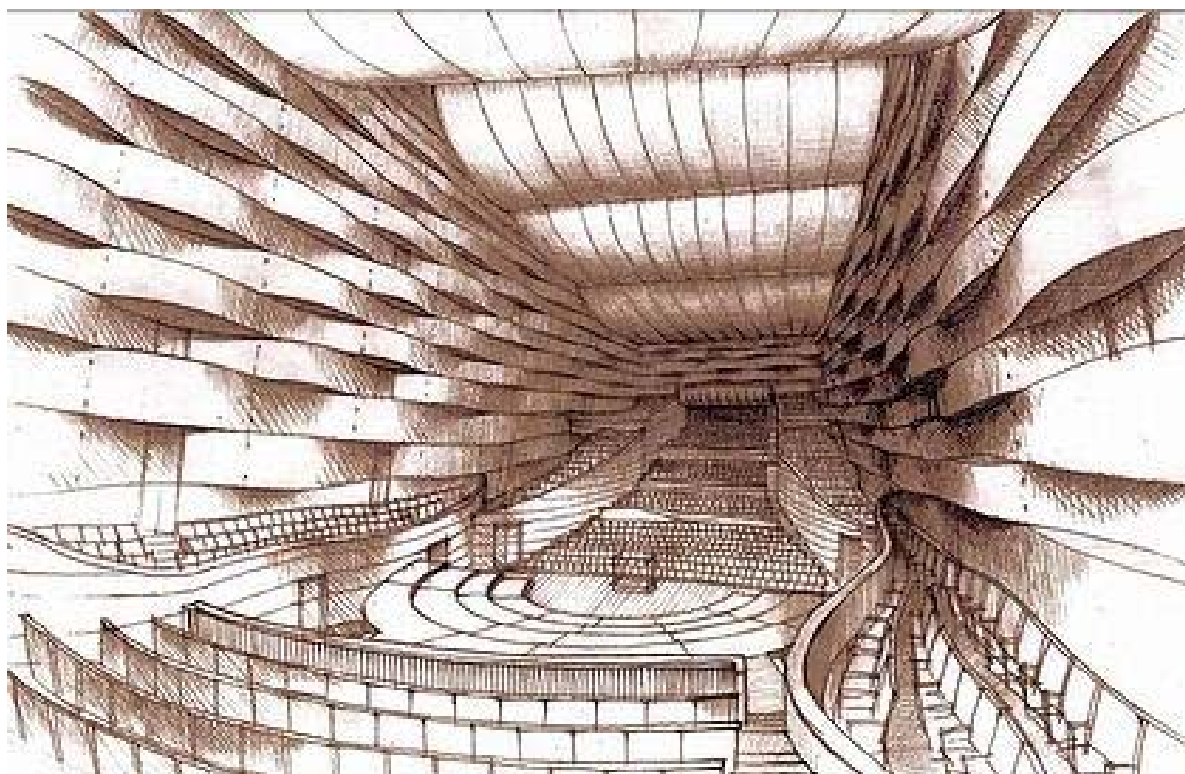


Рис. 11. Решение интерьера зрительного зала (эскиз К. Фабра)

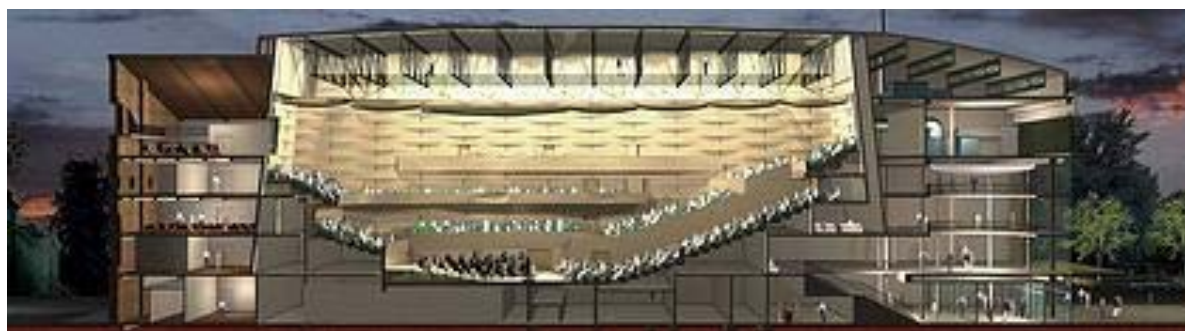


Рис. 12. Продольный разрез концертного зала «Мариинский»

Основные строительные параметры зрительного зала и характеристики:

- общий объем зала составляет приблизительно 13000м³;
- длина – 52 м, ширина – 24 м и высота в средней части зала – 14 м;
- размеры сцены – радиус 20 м, глубина – 15 м;
- вместимость подъемной оркестровой площадки составляет 130 мест для музыкантов;
- вместимость зала – 1100 посадочных мест, включая хоровой ярус на 120 концертных мест, который может быть занят зрителями.

Потенциал зрительного зала заключается в уникальной возможности его трансформации и использования для различного рода театральных и общественных мероприятий, таких, как: балет, опера, музыкальные постановки и конференции. При этом концертной деятельности зала отводится ведущая роль (рис. 14).

Новое здание представляет собой сложный многофункциональный комплекс, включающий в себя все службы, необходимые для обеспечения комфорта зрителей, музыкантов, артистов и служащих театра. В зону обслуживания публики входят гардеробы, зрительские фойе с барами (700 м² общей площади), салоны с сувенирными лавками, лестницы и лифты. В здании предусмотрена возможность передвижения для маломобильных посетителей, а в зрительном зале для них устроены специальные места.

Помимо общественных помещений, предназначенных для публики, в здании предусмотрены репетиционный зал, мастерские, склады, административные и технические помещения, а также все помещения, необходимые для размещения оркестра, артистов и обслуживающего персонала театра.

Сегодня новый Концертный зал с уникальной акустикой и современным оснащением сцены распахнул двери для петербуржцев и гостей города благодаря совместным усилиям руководства Мариинского театра, архитекторов, строителей и всех русских и иностранных специалистов, участвовавших в реализации этого проекта. 29 ноября 2006 года зал открылся для слушателей. Летом 2009 года в Концертном зале был установлен орган работы французской фирмы «Даниэль Керн» (Страсбург). Уникальная особенность мастеров фирмы «Даниэль Керн» – в сочетании опыта и традиций немецкого и французского органостроения, уходящих в глубину веков. Орган в Концертном зале (рис.13) – первый за столетие французский инструмент в России, который отличается от органов немецких мастеров и конструктивными особенностями, и характером звучания, что позволяет полноценно исполнять в России не только немецкую, но и французскую органную музыку.

Официальных норм, регламентирующих правила разработки концертных залов, не существует, при проектировании следует руководствоваться общими требованиями СНиП 2.08.02-89* «Общественные здания и сооружения». Однако ГУП МНИИП «Моспроект-4» и ЗАО ЦНИИЭП им.

Б.С. Мезенцева в 2004 г. разработали для г. Москвы утвержденные Москомархитектуры «Рекомендации по проектированию концертных залов», которые могут быть применены в качестве основы и для других регионов.



Рис.13. Орган в концертном зале

Как уже отмечалось, совершенствование планировочного решения концертных залов с целью улучшения их акустических и зрительских качеств непрерывно продолжается и современные концертные залы строятся по принципиально иным типологическим схемам, чем 30 лет назад (рис.12).

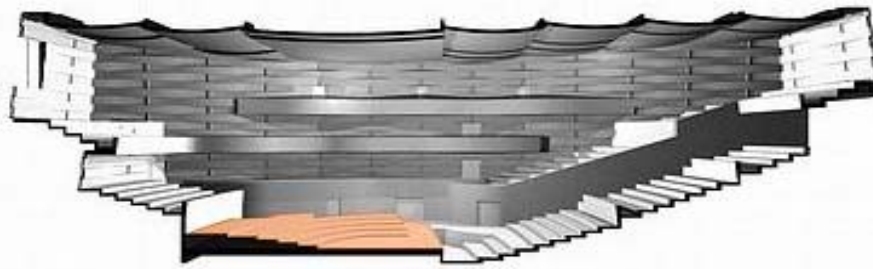
Можно выделить следующие тенденции:

- Приближение исполнителя к зрителю.

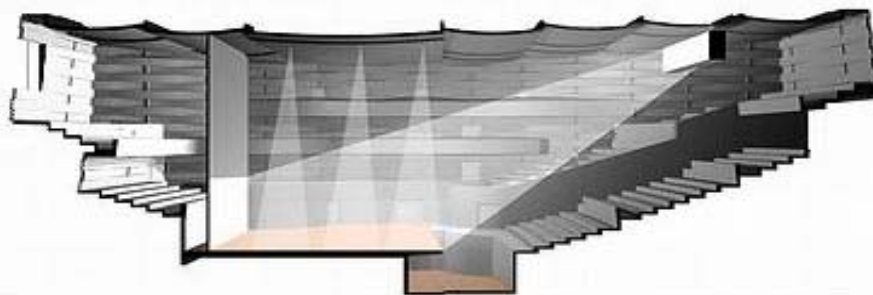
В современных концертных залах с естественной акустикой отказываются от размещения исполнителей на сцене театрального типа или сцена-эстрада в пользу выдвинутой в центр зала эстрады без занавеса. Зрители в этом случае размещаются не только перед площадкой, но и по бокам от нее и даже за ней (на приподнятых галереях), оказываясь на минимальном расстоянии в зоне прямого звука. Такой тип площадки оптимален для больших филармонических, камерных и литературных выступлений и менее предпочтителен для эстрадных, хореографических, народных и сборных концертов. Это связано с тем, что интенсивность звука резко падает с удалением слушателя от исполнителя и необходимо размещать максимальное число зрителей в непосредственной близости от эстрады. Не рекомендуется размещать на расстоянии свыше 27 метров от эстрады слушателей литературных концертов, свыше 30 метров – камерных, свыше 45 метров – больших филармонических.

- Галереи по бокам и позади сценической площадки используются также для размещения хора в случае его совместного выступления с оркестром, или оркестра, если на основной площадке выступает хореографический коллектив (рис.14, 15). Такая схема также хорошо подходит для использования в современных конференц-залах, в типологии которых также

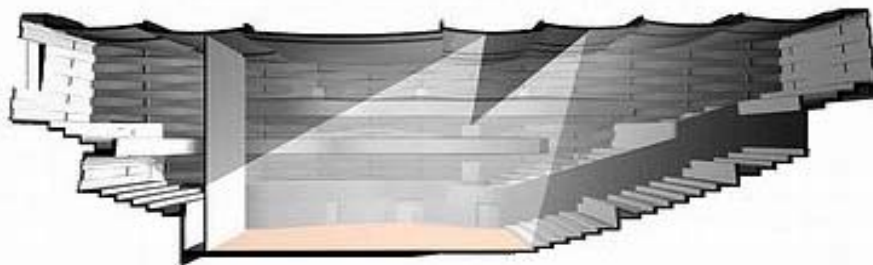
прослеживаются тенденции к отказу от фронтальной схемы размещения лектора – зрителей в пользу кольцевой.



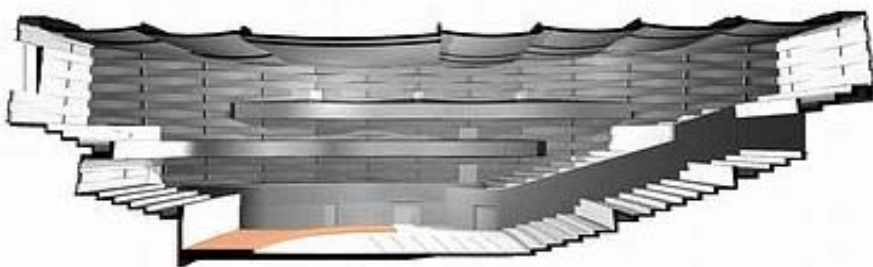
ВАРИАНТ КОНФИГУРАЦИИ КОЦЕРТНОГО ЗАЛА - ДЛЯ КОНЦЕРТА СЕЧЕНИЕ



ВАРИАНТ КОНФИГУРАЦИИ КОЦЕРТНОГО ЗАЛА - ДЛЯ ОПЕРЫ СЕЧЕНИЕ



ВАРИАНТ КОНФИГУРАЦИИ КОЦЕРТНОГО ЗАЛА - ДЛЯ БАЛЕТА СЕЧЕНИЕ



ВАРИАНТ КОНФИГУРАЦИИ КОЦЕРТНОГО ЗАЛА - ДЛЯ КОНГРЕССА СЕЧЕНИЕ

Рис. 14. Варианты трансформации сцены Мариинского театра

- Отказ от ортогональной (прямоугольной) формы зала.

Специалисты полагают, что сложную форму зрительного зала необходимо определять акустическими расчетами по комплексу параметров, включая время запаздывания ранних отражений и времени реверберации. В залах должны широко использоваться мобильные и трансформируемые архитектурные элементы для настройки зала под определенный тип концерта или репертуар коллектива исполнителей с использованием подвешиваемых над эстрадой и залом звукоотражающих экранов, накладных звукопоглощающих элементов в задней части зала.

- Размещение залов в автономных «капсулах». В непосредственной близости от залов (акустических в первую очередь) запрещается размещение венткамер, вентшахт, лифтовых шахт, других помещений повышенной шумности, не рекомендуется размещать залы вблизи авто- и железнодорожных магистралей, линий метрополитена, трамвая, троллейбуса. Для того чтобы избежать внешних влияний на зал, современные концерт-холлы проектируются в виде автономных акустических капсул, связанных с остальными конструкциями здания через специальные амортизаторы (залы подвешиваются на тросах или опираются на резиновые подушки). В России такое решение впервые применено в Московском Международном Доме музыки.

- Современные концертные залы проектируются как *landmark buildings* – «знаковые здания», современные памятники архитектуры.



Рис.15. Концертный зал Сегерсторм (Калифорния, США)

В связи с интересом к рассматриваемой теме студентам рекомендуется самостоятельно ознакомиться с опытом проектирования театральных и концертных залов за последние 10–15 лет в России и за рубежом [1, 3, 5, 6].

1. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗРИТЕЛЬНОГО ЗАЛА

Лекторы и певцы прекрасно ощущают, как по-разному звучат их голоса в различных условиях: в маленькой сильно заглушенной комнате, в большом зале, на открытом пространстве. Естественно, они произвольно или непроизвольно подстраивают свои голоса под окружающие условия. Известно, что опытные певцы или специалисты художественного слова могут сохранять основные свойства своего голоса (тембр, звуковысотные отношения и др.) в самых разных окружающих условиях, иначе бы голос менялся до неузнаваемости, и петь и говорить в изменяющихся условиях шумов и акустической обстановки было бы практически невозможно. Таким образом, существуют механизмы, которые, с одной стороны, позволяют певцу, лектору, чтецу все время контролировать окружающую обстановку, с другой стороны – поддерживать до определенной степени постоянство акустических параметров своего голоса. Изучение этих механизмов чрезвычайно важно для исполнителей.

Анализ обратной связи, с помощью которой исполнитель получает информацию об акустических параметрах (громкости, точности интонирования, тембре и др.) собственного голоса в различной акустической обстановке, является важнейшей проблемой для качества пения и речи. Отсутствие обратной связи, дающей представление о качестве голоса, или её неверная интерпретация могут испортить исполнение. А как сделать её достоверной?

Когда оратор или певец находится в помещении, то к нему, как и другим слушателям в зале, приходят как прямые звуки его голоса, так и отраженные сигналы (рис.16). Если он находится на сцене, то структура ранних отраженных звуков существенно отличается от структуры в зрительном зале, поскольку сцена представляет собой большое, сильно поглощающее пространство из-за наличия декораций. Исполнитель может судить о качестве своего голоса в основном по отраженным звукам из зала, именно поэтому так важно наличие отражающих поверхностей на боковых припортальных стенах и на потолке. Особенно это важно для оперных театров, так как в случае неправильно выбранных конструкций отражающих поверхностей на потолке и конфигурации оркестрового пространства оркестр может вообще заглушить голос певца. Поэтому акустика при сценической части зала должна быть запроектирована таким образом, чтобы часть отраженных звуков обязательно попадала к исполнителям.

В отечественной и зарубежной практике проектирования театров применяется шесть схем построения глубинной колосниковой сцены, различающихся степенью пространственного развития и объемом возможностей, которые может предоставить сцена:

- с двумя карманами и аррьерсценой;
- с одним карманом и аррьерсценой;

- с двумя карманами без аррьерсцены;
- с одним карманом;
- без карманов, но с аррьерсценой;
- без карманов и аррьерсцены.

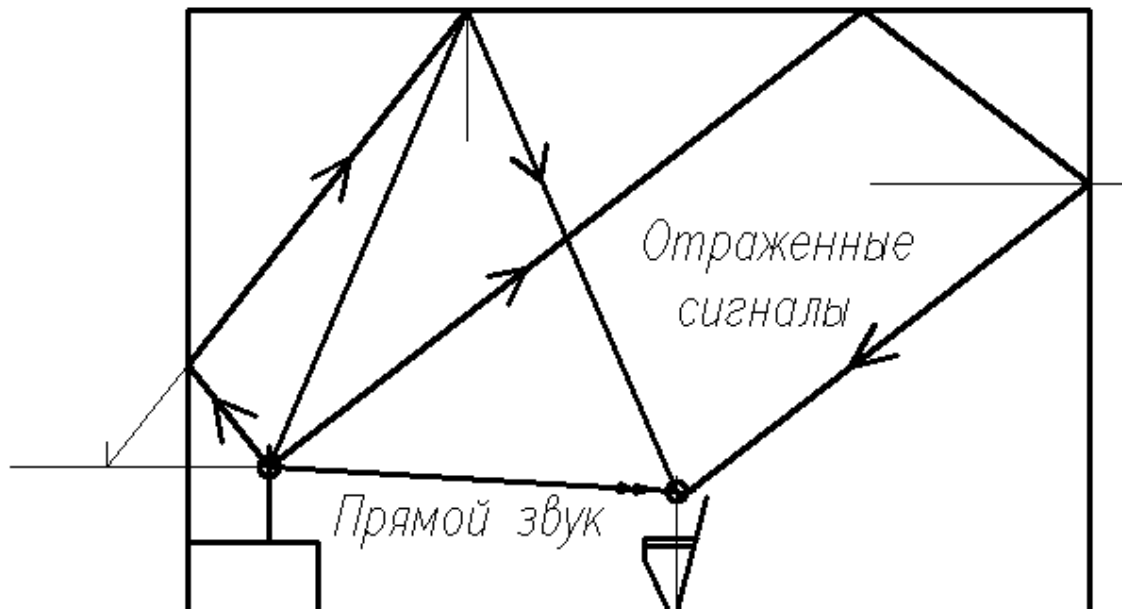


Рис.16. Структура отраженных звуков в зрительном зале

Наиболее распространенная и многократно апробированная схема глубинной колосниковой сцены классического театра приведена на рис.17.

Следует помнить о том, что естественный источник звука (музыкальный инструмент, голос исполнителя) имеет ограничения по громкости. Поэтому для закрытого помещения необходимо предусмотреть такую форму потолка и стен, которая отражала бы основную часть звука в конец зала. Это требование вытекает из неравномерности распределения звуковой энергии по залу. В передних рядах она велика, а по мере удаления от источника – уменьшается за счет поглощения слушателями.

Хорошим акустическим качеством характеризуются помещения, где выполнены следующие основные требования:

- все места слушателей обеспечены прямой звуковой энергией, а также энергией ранних отражений;
- в помещении создано диффузное звуковое поле, исключаящее возникновение эха, концентрацию звука и другие нежелательные явления;
- время реверберации зала, заполненного слушателями, соответствует величине и назначению помещения;
- посторонние шумы сведены к минимуму.

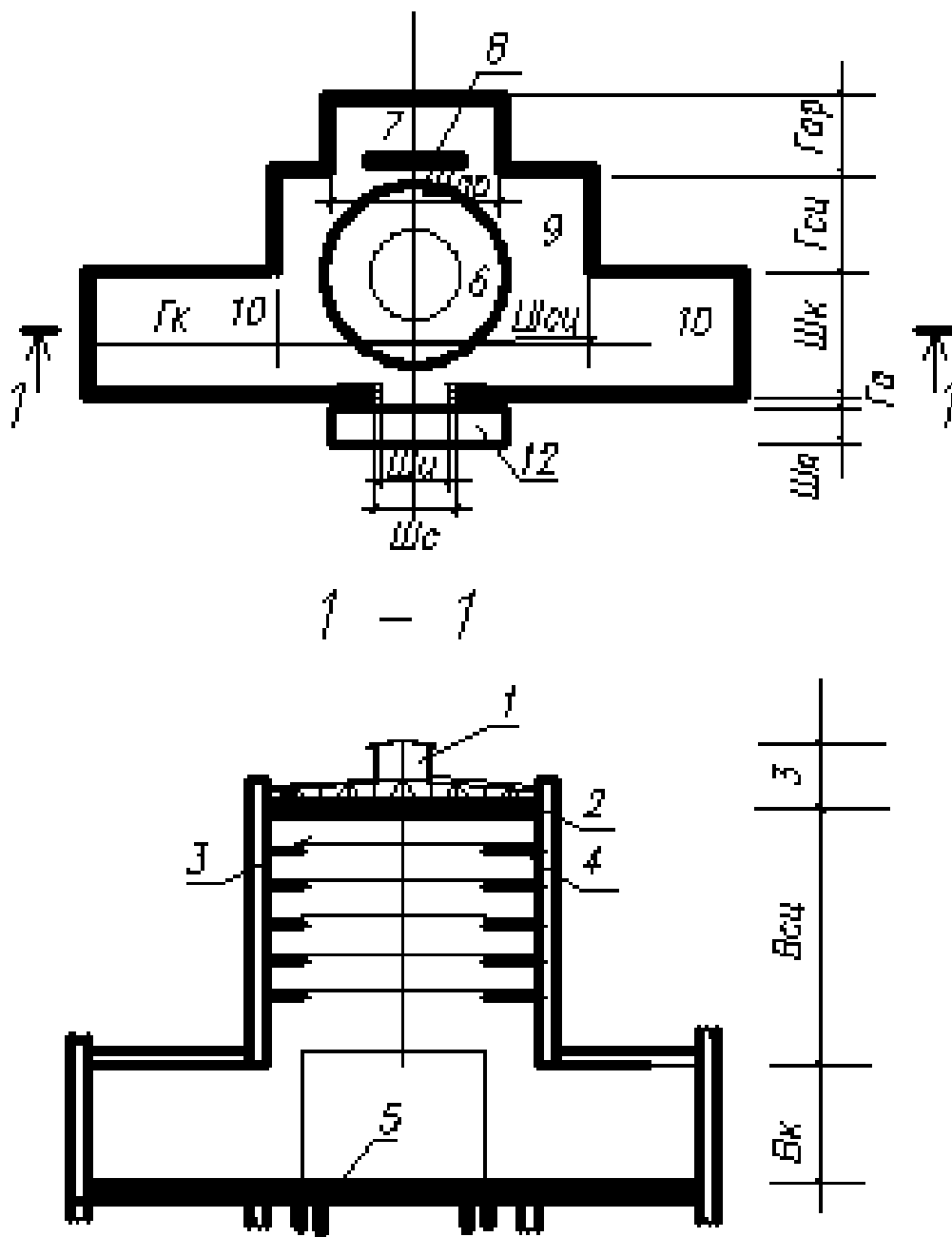


Рис. 17. План и поперечный разрез сцены с обозначениями элементов:
 1 – дымовые клапаны; 2 – штанкетная площадка; 3 – колосники сцены;
 4 – рабочие галереи; 5 – трюм; 6 – вращающийся круг; 7 – аррьерсцена;
 8 – крышка сейфа для скатанных декораций; 9 – сцена; 10 – карман сцены;
 11 – авансцена; 12 – проем оркестровой ямы; Ш_{сц} – ширина сцены;
 Г_{сц} – глубина сцены; В_{сц} – высота сцены; Ш_к – ширина кармана;
 Г_к – глубина кармана; В_к – высота кармана; Ш_{ар} – ширина аррьерсцены;
 Г_{ар} – глубина аррьерсцены; Ш_с – ширина строительного портала;
 Ш_ш – ширина игрового портала

Величину общего объема зала определяют в соответствии с назначением зала и его вместимостью. В соответствии с п.13.2 [2] в зрительном зале должны быть выдержаны следующие требования по удельному воздушному объёму, приходящемуся на одно слушательское место v_0 , м³:

- в залах драматических театров, учебных аудиториях и конференц-залах 4–5;
- в залах музыкально-драматических театров (оперетта) 5–7;
- в залах театров оперы и балета 6–8;
- в концертных залах камерной музыки 6–8;
- в концертных залах симфонической музыки 8–10;
- в залах для хоровых и органнх концертов 10–12;
- в концертных залах современной эстрадной музыки (киноконцертных залах) 4–6.

В целях обеспечения акустического комфорта не рекомендуется превышать максимальные значения глубины зрительного зала $L_{доп}$, м:

- в драмтеатрах, учебных аудиториях и конференц-залах 24-25;
- в театрах оперетты 28-29;
- в театрах оперы и балета 30-32;
- в концертных залах камерной музыки 20-22;
- в концертных залах симфонической музыки, хоровых и органнх концертов 42-46;
- в многоцелевых залах вместимостью более 1000 мест 30-34;
- в концертных залах современной эстрадной музыки 48-50.

Для залов многоцелевого назначения средней вместимости (до 1000 мест) рекомендуемая величина принимается в пределах 4–6 м³ на слушательское место. Основная трудность акустического проектирования залов многоцелевого назначения большей вместимости заключается в следующем. Для речи и музыки требуется различный звуковой режим, который достичь известными приемами (например, изменяя соотношение площадей отражающих и поглощающих поверхностей) не представляется возможным ввиду интенсивного поглощения звуковой энергии в воздухе (особенно на высоких частотах) и ограниченной мощности источника звука. Изменить ситуацию можно, используя для этого электроакустические системы.

В основу композиционного построения многих произведений искусства, начиная с архитектуры античности, положено такое соотношение средних значений длины, ширины и высоты помещений, зданий и пр., как ряд чисел Фибоначчи (3:5:8). Модуль отношения X определяется по формуле (1)

$$X = \frac{\sqrt[3]{V}}{4,94}, \quad (1)$$

где $V=v_0 \cdot N$ – объем помещения, здания, м³;
 N – вместимость, чел.

Линейные размеры – длина, ширина и высота зала определяются через модуль, соответственно как $8X$; $5X$; $3X$.

Важно то, что для достижения гармоничной пропорции зала необходимо следовать следующему правилу: соотношение длины и ширины, ширины и высоты помещения должны быть не более 2 единиц и не менее 1. При этом длина по самой удаленной поверхности зала на балконе не должна превышать 30 м. В зависимости от объемно-планировочного решения зала допускается увеличение или уменьшение указанных величин до 20 %.

В случае устройства балкона в зрительном зале глубина подбалконного пространства не должна превышать 6 рядов зрительских мест. В этом случае высоту над последним рядом не следует допускать менее 3 м, а у входа в подбалконное пространство – не менее 4 м (рис.18). Отношение выноса балкона a_1 к средней высоте подбалконной пазухи h_1 должно быть не менее 1,5; для надбалконной пазухи соотношение a_2 к h_2 может быть увеличено до 2.

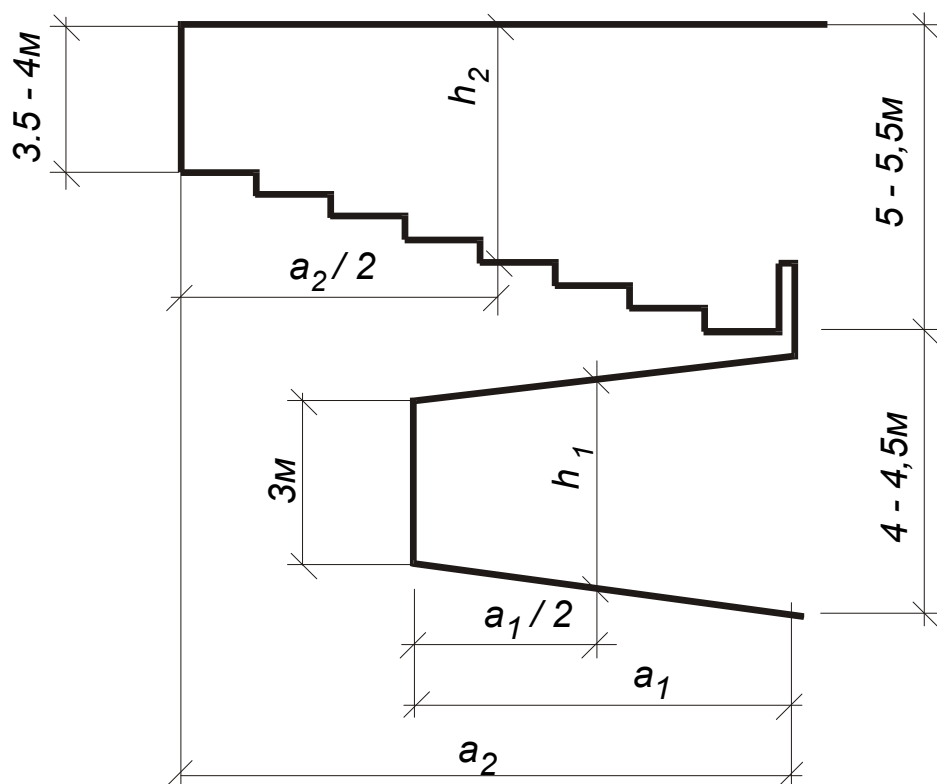


Рис. 18. Размещение балкона в зрительном зале

У границы зоны зрительских мест устраиваются отдельные, отгороженные барьерами, ложи: служебные – со входом из помещений, обслуживающих сцену, и гостевые – со входом из специальных гостевых помещений. На барьерах балконов предусматриваются устройства, предохраняющие падение предметов с высоты. С внутренней стороны барьеров балконов и лож целесообразно предусматривать углубления для ног зрителей, сидящих в первом ряду.

Студенту предлагается самостоятельно решить вопрос о выборе профиля зала, при необходимости используя аналитические расчеты с условием, что они не противоречат конструктивному решению зала [5].

Архитекторы должны иметь достаточно выдумки и фантазии, чтобы выбором форм, профилировки, фактуры и цвета строительных материалов согласовать акустические элементы с общим стилем сооружения, сделать его составной частью общего архитектурного решения.

Форма и размеры зрительного зала должны способствовать улучшению слышимости музыки и речи. В небольших лекционных залах вместимостью не более 200 человек допускается прямоугольная форма в плане с горизонтальным плоским потолком. Во всех других случаях оптимальной формой плана является трапециевидная с углом раскрытия продольных стен в 10–12°. Нежелательно проектировать помещения круглой, овальной, подковообразной формы в плане (рис. 19), способствующих концентрации звука в т. F, если источник звука (ИЗ) расположен на сцене.

Такое очертание допустимо лишь при специальном расчленении вогнутых поверхностей слегка наклонными стенами для отражения в сторону слушателей и декоративными поясами для решения задачи рассеивания отраженного звука. Выпуклые поверхности, наоборот, создают рассеянное отражение звука и повышают диффузность в зале.

Гладкие поверхности, параллельные друг другу, не способствуют достижению однородности звукового поля. В результате отражения возникают точки или зоны сильной концентрации звука, в которых эти усиления повторяются с особой четкостью. Подобное явление (“порхающее эхо”) может быть устранено даже небольшим (до 2,5–4°) отклонением стен от параллельности, устройством на их плоскости рассеивающих архитектурных деталей, радиус кривизны или размеры которых соизмеримы с длиной волны. В области слухового восприятия длины волн составляют от 3 м до 3 см. Для низких частот необходимы элементы, близкие по размерам барьерам балконов, пилястр, колонн, глубоким дверным и оконным нишам. На средних и высоких частотах нетрудно создать эффективное рассеяние малозаметными структурами в виде рельефных углублений размером около 30 см, волнистых элементов (с длиной волны более 10 см), уступов, горизонтальных поясов, бордюров (рис. 20). Если их очертание подвергнуть дальнейшему членению или придать им выпуклую форму, то будет достигнуто рассеивание в широком диапазоне частот.

Для получения хорошего отражения или рассеяния звука необходимо, чтобы отражающие поверхности имели линейные размеры не менее 1,5 длины волны падающего на них звука. Размеры отражателей вблизи демонстрационной площадки должны быть по ширине не менее 5–6 м с тем, чтобы при перемещении источника звука (исполнителя) в игровой зоне обеспечивалось равномерное покрытие по площади слушательских мест первыми направленными полезными отражениями. Для получения рассеянных (диффузных) отражений расчлененные поверхности должны иметь ширину 1,5–2 м, глубину 0,5–1 м при шаге членения 2–4 м.

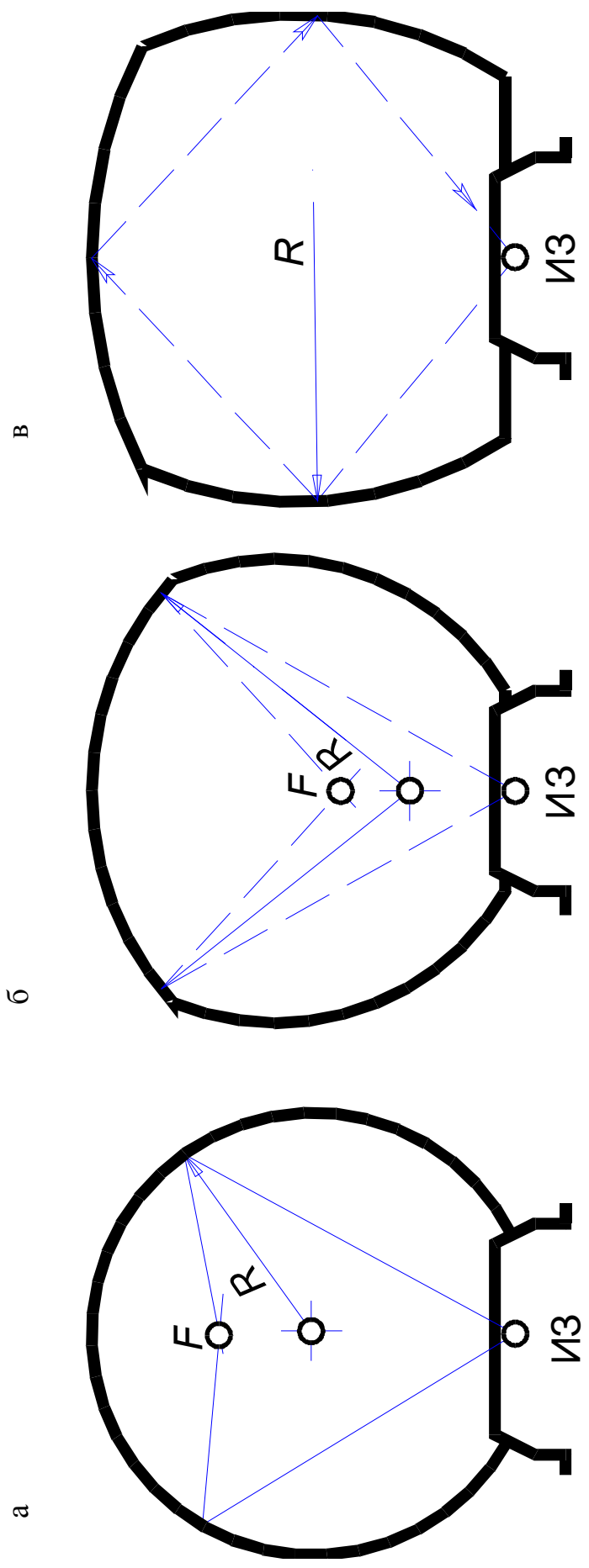


Рис. 19. Отражение звука ограждающими поверхностями разной формы при фиксированном расположении источника звука на сцене:
 а – фокусирование звука в удаленной зоне слушательских мест;
 б – то же, в центре зрительного зала;
 в – то же, на сцене

Дополнительные более мелкие членения крупных элементов обеспечивают рассеяние в широком диапазоне звуковых частот. При этом наибольший эффект дают элементы криволинейной выпуклой формы.

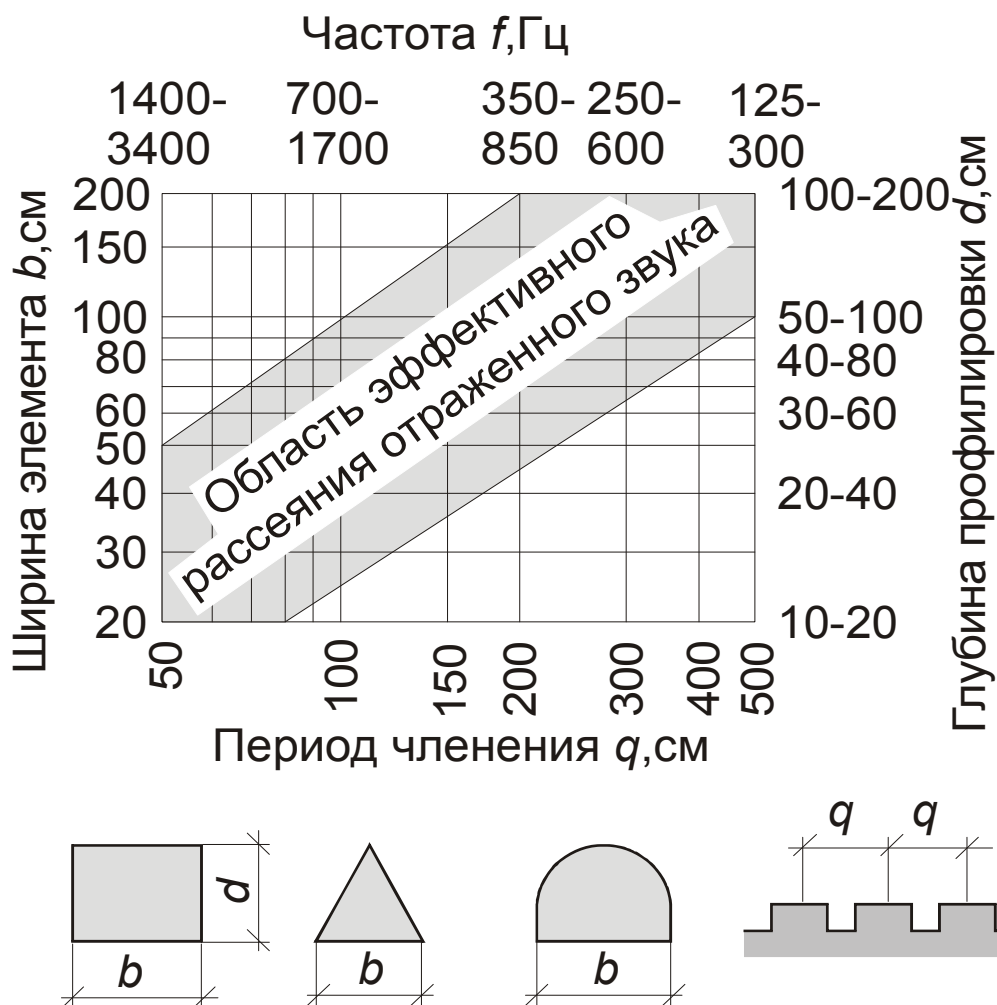


Рис. 20. Размеры периодических членений, обеспечивающих рассеивание звука в частотном диапазоне 125-3400 Гц

Размещение технологического оборудования в зале (устройство сцены, эстрады или небольшого подиума для лекторского стола и трибуны, подвеска экрана для демонстрации кинофильмов, установка кресел, оркестровой ямы, зрительских лож и балконов) должно быть согласовано с вопросами благоприятного слухового восприятия, а также соответствующих условий видимости (беспрепятственной, частично ограниченной, ограниченной), заполнения зрительного зала слушателями и их безопасной эвакуации из него в обычных или аварийных ситуациях [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Условия видимости зрелища отражаются специальным показателем – комфортностью восприятия (видимости) с данного зрительского места.

Субъективное чувство комфортности, удобства восприятия данного зрелища с данной позиции – это устойчивый показатель, который практически не зависит от пристрастий зрителя и от реальных колебаний формы данного зрелища (смены мизансцен, конкретных номеров, изменения освещенности и т.д.). Каждому виду зрелища (концертному, театральному, спортивному и т.д.) отвечают зоны разной комфортности восприятия (видимости) – от «очень удобно», до – «очень неудобно». Выявлено, что если зрители расположены в относительно плоском партере, то места по оси зала не являются самыми лучшими. Зрители предпочитают смотреть на эстраду несколько сбоку, что, по-видимому, усиливает перспективу. Зрители сохраняют комфортное восприятие в пределах входящего в портал угла гораздо большего, чем 30^0 , традиционного для нормирования театра. Зоны разного качества входят друг в друга, образуя форму бабочки (рис.21, 22).

Расстояние между передней границей эстрады, сцены или барьера оркестровой ямы и спинками кресел 1 ряда зрительских мест следует принимать не менее 1,5 м, а в зрительных залах вместимостью до 300 мест – не менее 1,2 м. Высоту уровня планшета эстрады (сцены) над уровнем пола 1-го ряда зрительских мест рекомендуется предусматривать не более 1 м, а в зрительских залах вместимостью до 500 мест – не более 0,8 м (с горизонтальным полом – 1,1 м) [6]. В лекционных аудиториях высота лекторского стола не должна превышать 0,8 м, а расстояние от него до спинок сидений 1-го ряда слушателей должно быть не менее 1,5 м.

Зрительные залы необходимо проектировать с учетом установки в них кресел с откидными сидениями. Исключения могут быть сделаны для лекционных залов учебных заведений, залов ожидания на вокзалах и на трибунах спортивных сооружений. В креслах, стульях и скамьях в зрительных залах предусматриваются устройства для крепления их к полу. В театральных залах рекомендуется применять мягкие и полумягкие кресла и стулья, в лекционных – скамьи. Ширину кресел(между осями подлокотников) рекомендуется принимать не менее 0,52 м, ширину стульев и скамей – не менее 0,45 м. Глубина названных сидений должна обеспечивать проход зрителей между рядами не менее 0,45 м.

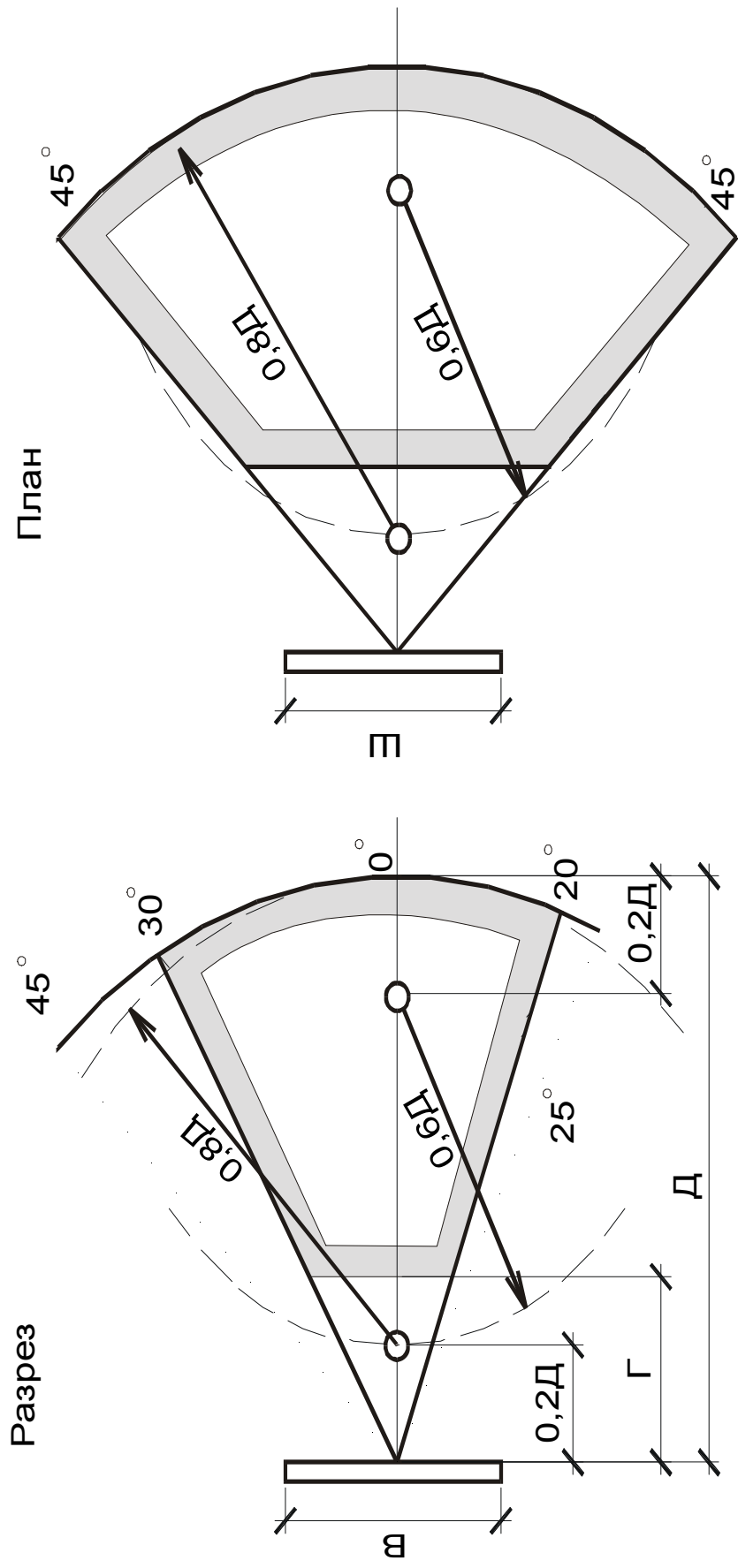


Рис.21. Зона расположения зрителей перед киноэкраном:
 В – высота рабочего поля киноэкрана; Ш – ширина рабочего поля киноэкрана; Г – расстояние от киноэкрана до спинки кресел первого ряда зрительских мест; Д – глубина зрительного зала

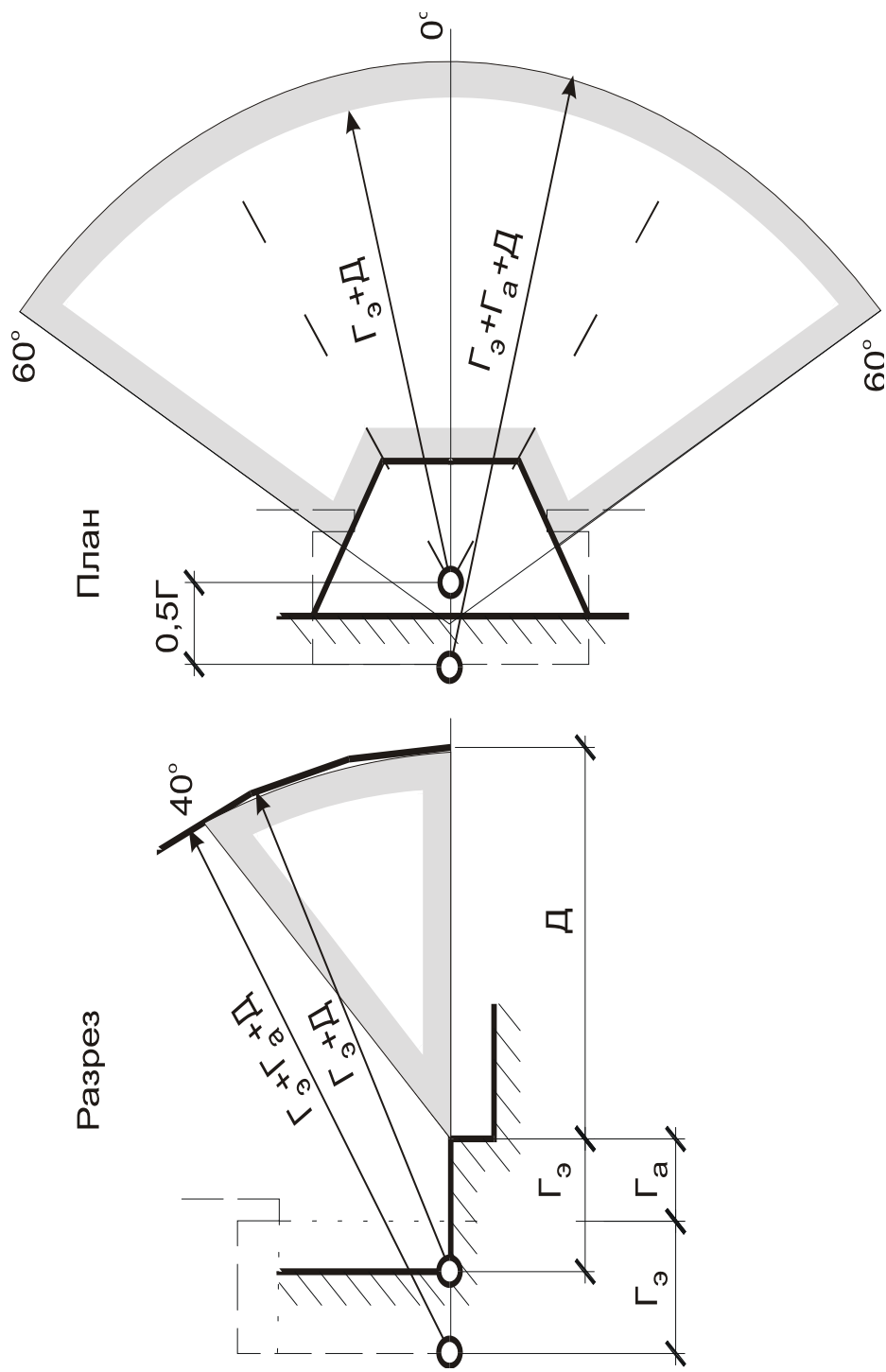


Рис.22. Зона размещения зрителей перед эстрадой:
 $\Gamma_{\text{а}}$ – глубина авансены; $\Gamma_{\text{э}}$ – глубина эстрады

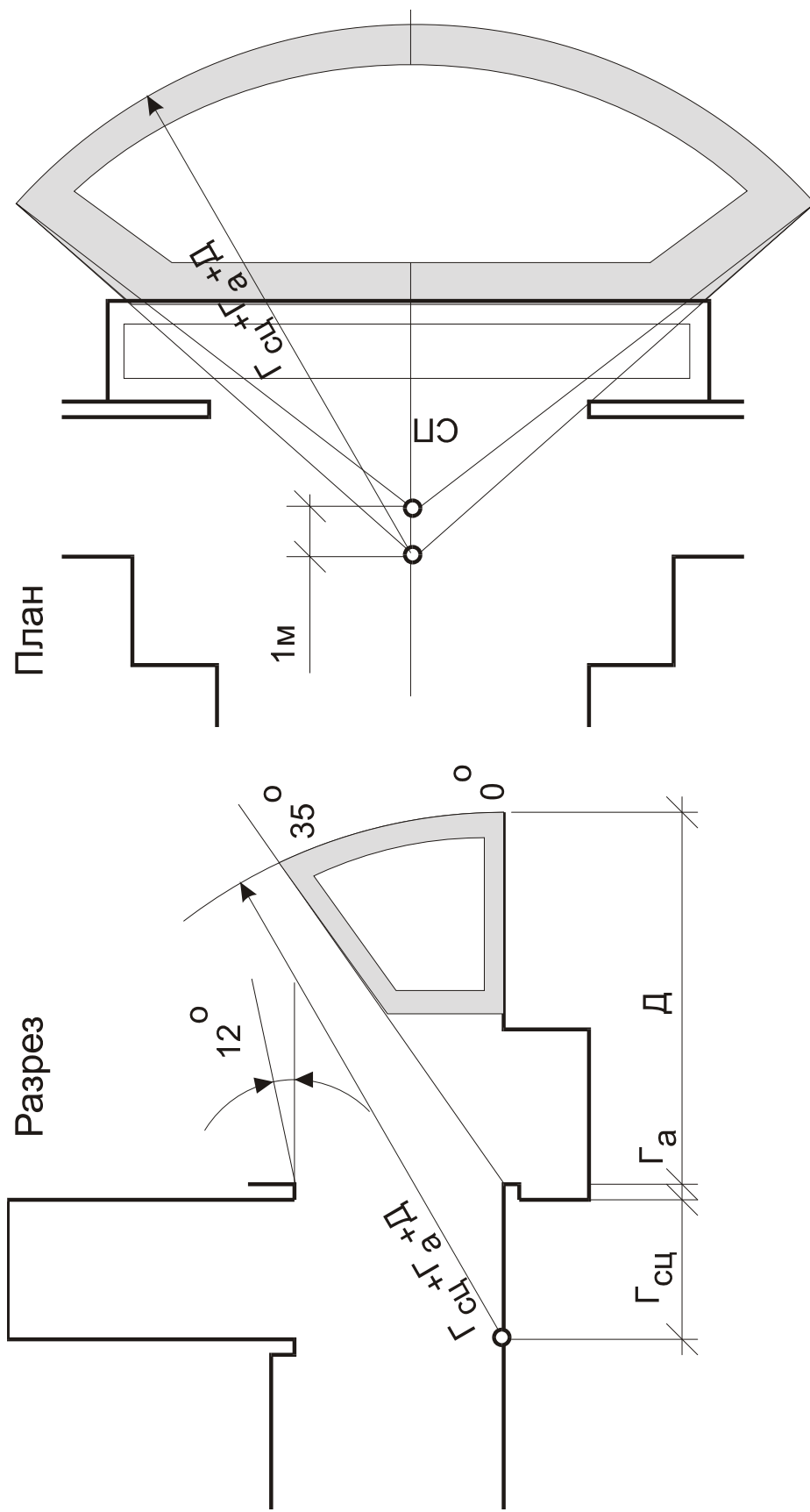


Рис. 23. Зона расположения зрителей перед сценой:
 Γ_a – глубина авансцены; $\Gamma_{сц}$ – глубина сцены; СП – строительный портал

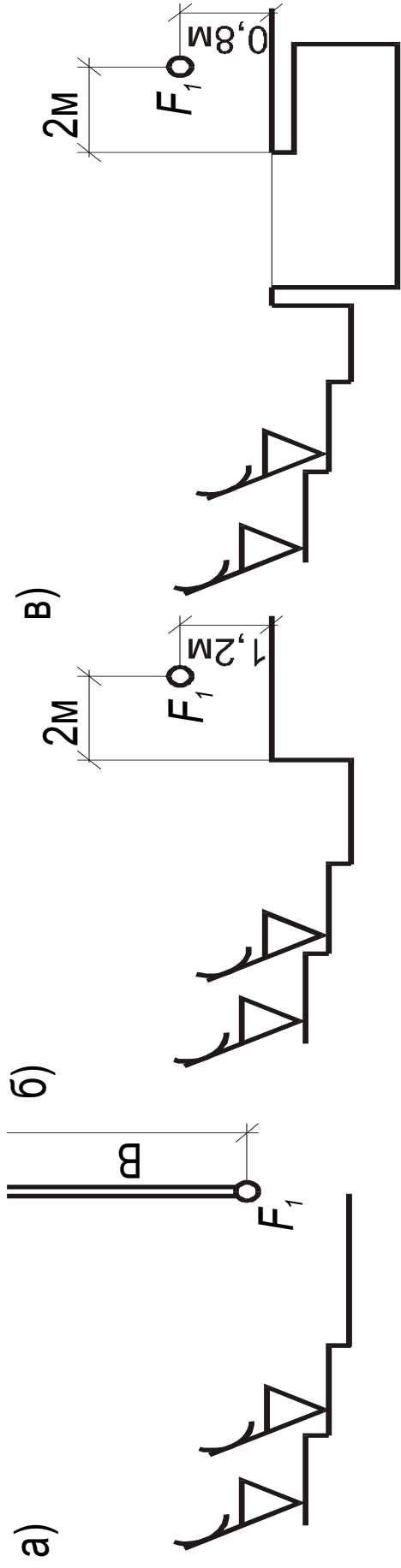


Рис. 24. Положение расчетных точек наблюдения:
 а – кинотеатр; б – эстрада; в – театральная сцена;
 В – высота рабочего поля киноэкрана

Крайние кресла ряда в проходах возможно оборудовать откидными сидениями (строфонтемами) с пружинными устройствами, обеспечивающими их самопрокидывание. В ложах и на балконах глубиной не более двух рядов зрительских мест рекомендуется устанавливать стулья или скамьи со спинками. При перепаде уровней пола соседних рядов более 0,7 м рекомендуется устраивать между рядами ограждение, предохраняющее от падения при проходе зрителей на место.

Профиль линии размещения зрительских мест, как и места в зрительном зале, необходимо проектировать в соответствии с условиями видимости объекта, расположенного на сцене (эстраде).

При проектировании в составе демонстрационного комплекса сцен рекомендуется размеры и требования принимать согласно табл. 3 [6].

Т а б л и ц а 3

Вместимость зрительного зала, мест	Типы сцены
До 600	С-1 – С-4
От 500 до 800	С-5 – С-6
От 700 до 1200	С-7
От 1100 до 1500	С-8
От 1500 и более	С-9

Размеры эстрад и колосниковых сцен в осях строительных конструкций в зависимости от типа приведены в табл.4[6].

Т а б л и ц а 4

Тип эстрады\ сцены	Ширина, м	Глубина, м	Высота, м	Строительный портал (игровой)		Глубина авансцены, м
				ширина, м	высота, м	
Эстрады						
Э-1	9	6	5,5	-	-	-
Э-2	12	7,5	6	8,5	5	1,5
Э-3	15	9	7,5	10,5	5,5	1,5
Э-4	18	12	9	12	6,5	1,5
Э-5	21	12	9	14	7,5	1,5
Э-6	24	15	11	16	9,5	1,5
Сцены						
С-1	12	7,5	10,5	8,5(6)	5(4,5)	1,5
С-2	15	7,5	11,5	10,5(6)	5,5(4,5)	1,5
С-3	18	9	12,5	13(6)	6,5(4,5)	1,5
С-4	18	12	18	8(7)	5,5(5)	1,8
С-5	21	12	16	14(8)	7,5(5,5)	1,5
С-6	21	15	20	10(8)	6,5(5,5)	1,8
С-7	24	18	22	12(10)	7,5(6,5)	1,8
С-8	27	21	24	14(12)	8,5(7,5)	1,8

Места для оркестра могут быть расположены по-разному: в ложах, на сцене, над сценой, сбоку в зале. При этом должна быть обеспечена безопасная эвакуация оркестрантов в соответствии с [4].

Размеры оркестровой ямы в театрах следует принимать по табл.5[6].

Т а б л и ц а 5

Театры	Ширина помещения по оси зала, м	Ширина проема, м	Высота от пола до уровня планшета сцены, м
Драматический и музыкально-драматический	3,0–5,0	2,0–3,5	2,1–2,4
Оперы и балета	4,5–6,0	4,5	2,1–2,4
Прочие	2,5	1,7	1,9

Симфонические оркестры размещаются, как правило, на сцене, эстраде или подъёмно-опускной площадке в верхнем (на уровне планшета сцены) положении.

В концертных программах оркестров и хоров для хорошего слитного звучания и недопустимости эхообразования (для исполнителей и для слушателей первых рядов) оркестр должен быть размещен на площади шириной не более 22 м, хор – не более 46 м. Ширину эстрады, предназначенной для выступления хора и оркестра, следует принимать по более жестким требованиям для оркестра – 22 м. Для комфортного восприятия оркестра, расположенного на эстраде, рекомендуется удалять слушателей от оркестра не менее чем на 6,5 м.

При расположении слушателей вокруг игровой площадки наиболее акустически комфортная зона – перед оркестром, менее – с боков и наименее – сзади, в связи с чем места слушателей, сидящих сзади оркестра (хора), как правило, приподнимают над уровнем игровой площадки (рис. 23). Чтобы довести до слушателей как можно больше прямой звуковой энергии, не следует допускать преград (конструкций, оборудования, реквизита и т.п.) на пути распространения звуковой энергии от источника к слушателю. С этой же целью предусматривается подъем планшета сцены по отношению к полу зрительного зала и уклон пола зоны слушательских мест, а также попланый подъем исполнителей на игровой площадке. Такое решение уменьшает поглощение прямого звука впереди сидящими слушателями и его экранирование.

Практика показывает, что превышение рядов, обеспечивающее хорошую видимость, как правило, является достаточным и для обеспечения хорошей акустики зала.

Для того чтобы зритель беспрепятственно видел объект, необходимо создать ему такие условия, при которых он мог бы обозревать данный объект над головами впереди сидящих зрителей [7]. Если соединить прямой линией объект различения, находящийся в наихудшей (расчетной) точке

видимого поля, с глазом зрителя, то головы всех людей, находящиеся перед данным зрителем, должны быть расположены ниже этой линии.

В общем случае условия беспрепятственной видимости достигаются при размещении зрителей по трем принципиально разным схемам. На верхней схеме (рис. 25а) показаны условия, при которых обеспечивается нормальное ($C=0,14$ м – вертикальное расстояние от уровня глаз зрителя до верха головы без головного убора) превышение луча зрения для зрителей самого верхнего ряда. Опускаясь ниже от ряда к ряду эти превышения возрастают, достигая 4-кратного роста во втором ряду при общем количестве рядов $n=10$. При большем количестве рядов значение H_1 окажется неоправданно завышенным, а поэтому неэкономичным, поскольку требуется излишне большая высота помещения. Таким образом, размещение зрительских мест по схеме прямолинейной наклонной плоскости рекомендуется при небольшом количестве рядов.

Другой вариант размещения – по криволинейной поверхности (рис. 25б) создает условия нормативно-ограниченного превышения C для всех зрительских рядов при относительно небольшом их подъеме от первого к последнему. Построение продольного профиля по кривой наименьшего подъема зрительских мест можно выполнить как графическим способом на компьютере, так и аналитическим методом [7] от ряда к ряду. Очертание линии месторасположения зрителей в зале близко к гиперболе, у которой наблюдается пологий подъем на участке первых, ближайших к расчетной точке наблюдения F мест, переходящий по мере удаления в растущую кривизну. Это является существенным недостатком, так как нарушается унификация размеров подступенка – главного элемента гребенки пола зрительного зала. Однако при этом общее превышение подъема рядов $H_2 < H_1$.

Избежать недостатков отмеченных выше схем (рис.25 а, б) можно при построении профиля зрительских мест в виде ломаной линии, состоящей из отрезков наклонных прямых, вписанных в кривую наименьшего подъема в виде плавно переходящих, но разных по длине хорд отдельных участков этой кривой (рис.25 в). Такой профиль максимально приближается к профилю, построенному по теоретически идеальной кривой наименьшего подъема зрительских мест.

Построение профиля по отрезкам ломаной линии (рис.25) определяется как с обеспечением заданного превышения $C=0,14$ м, что соответствует условиям беспрепятственной видимости, так и при ограниченной видимости (превышение $C=0,07$ м) для зрителя каждого последующего ряда, начиная от первого, на любом из отрезков. Число отрезков рекомендуется принимать равным числу десятков рядов всего профиля партера зрительного зала в соответствии с правилами округления. Например, при количестве рядов $m=17$ принимается 2 отрезка; при $m=25$ соответственно 3 отрезка.

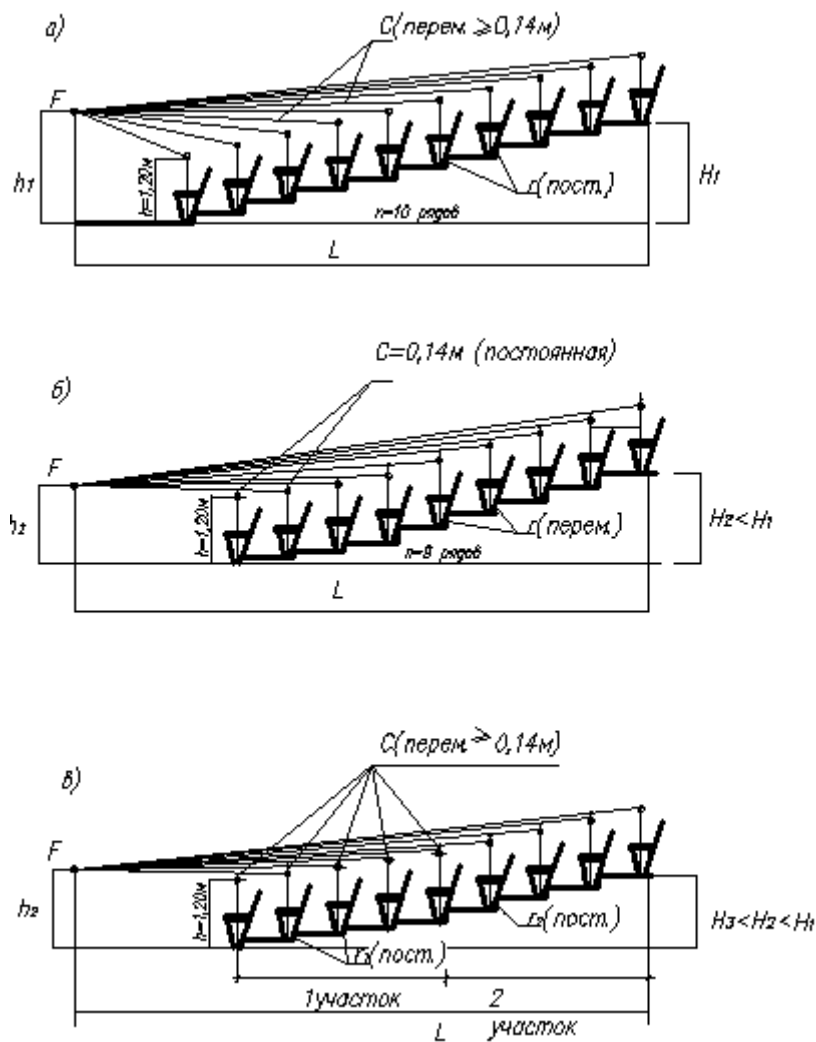


Рис. 25. Схемы размещения зрителей в зале:
 а – по прямолинейной наклонной линии; б – то же, по криволинейной;
 в – то же, по ломаной линии

Длина отрезка ломаной линии должна быть кратна ширине ряда, а месторасположение переломной точки от одного участка к другому определяется границей последнего ряда каждого такого участка.

Число рядов на первом (ближайшем к сцене, эстраде) отрезке ломаной линии определяют как частное от деления расстояния по горизонтали от расчетной точки F до глаза зрителя первого ряда на величину глубины ряда $d=0,90$ м, а число рядов на каждом последующем отрезке увеличивают в 1,3–1,6 раза по сравнению с предыдущим. Однако для существенного упрощения строительства гребенки пола зрительного зала допускается принимать равное число рядов на каждом отрезке.

Профиль подъема рядов, как правило, определяется по центральной продольной оси зрительного зала. Расчет продольного профиля складывается из последовательного расчета линейных (координата X) и высотных (координата Y) отметок каждого отрезка в декартовой системе координат с расчетной точкой $F(x=0; y=0)$. Её месторасположение

определяется в соответствии с рекомендациями на рис. 24 и согласуется с заказчиком.

На рис.26 показан продольный разрез театрального зала из 17 рядов зрительских мест. Построение профиля должно отвечать следующим требованиям:

- 1) безопасное передвижение зрителей в продольных проходах зала;
- 2) соблюдение унификации высоты ступеней каждого ряда $r \leq 0,2\text{м}$;
- 3) соответствие условиям беспрепятственной видимости при

нормативном превышении $C=0,14\text{м}$.

Зрительские места рекомендуется размещать с подъемом рядов в виде ломаной линии, состоящей из 2-х участков наклонных прямых, вписанных в кривую наименьшего подъема. На первом участке планируется разместить 8 рядов, на втором – 9. Первый и последние ряды на каждом из участков кривой необходимо зафиксировать в системе координат с учетом того, что между отрезками устраивается поперечный проход шириной 1,5 м. Координаты точки перегиба кривой принимаются на границе первого участка, т.е. соответствуют месторасположению спинки кресел 8 ряда. При этом количество промежутков между рядами на втором участке включает и поперечный проход.

Превышение последнего ряда над первым на первом отрезке определяется по формуле

$$y_1 = \frac{x_1}{x_0} \cdot (c \cdot n_1 + y_0)$$

где x_0, y_0, x_1, y_1 – соответственно координаты глаз зрителя первого и последнего ряда на первом отрезке;

n_1 – число промежутков между рядами.

В соответствии с рис. 26 и принятыми координатами имеем расчетные значения на каждом участке: на первом участке

$$x_0 = 2 + 3,5 = 5,5 \text{ м};$$

$$x_1 = x_0 + d \cdot n_1 = 5,5 + 0,9 \cdot 7 = 5,5 + 6,3 = 11,8 \text{ м};$$

$$y_0 = (1,5 + 0,8) - 1,2 = -1,10 \text{ м};$$

$$y_1 = (11,8/5,5) \cdot (0,14 \cdot 7 - 1,1) = -0,26 \text{ м}$$

$d=1,5$ м – ширина поперечного прохода в зрительном зале и координаты его начальной и конечной точек:

$$x_1 = 11,8 \text{ м}; y_1 = -0,26 \text{ м};$$

$$x_2 = 11,8 + 1,5 = 13,3 \text{ м}; y_2 = (13,3/11,8) \cdot (0,14 \cdot 1 - 0,26) = -0,135 \text{ м}.$$

Просчитаем результат на втором отрезке:

$$x_1 = 13,3 \text{ м};$$

$$y_1 = -0,135 \text{ м}$$

$$x_2 = 13,3 + 8 \cdot 0,9 = 20,5 \text{ м};$$

$$y_2 = (20,5/13,3) \cdot (0,14 \cdot 8 - 0,135) = 1,5 \text{ м}.$$

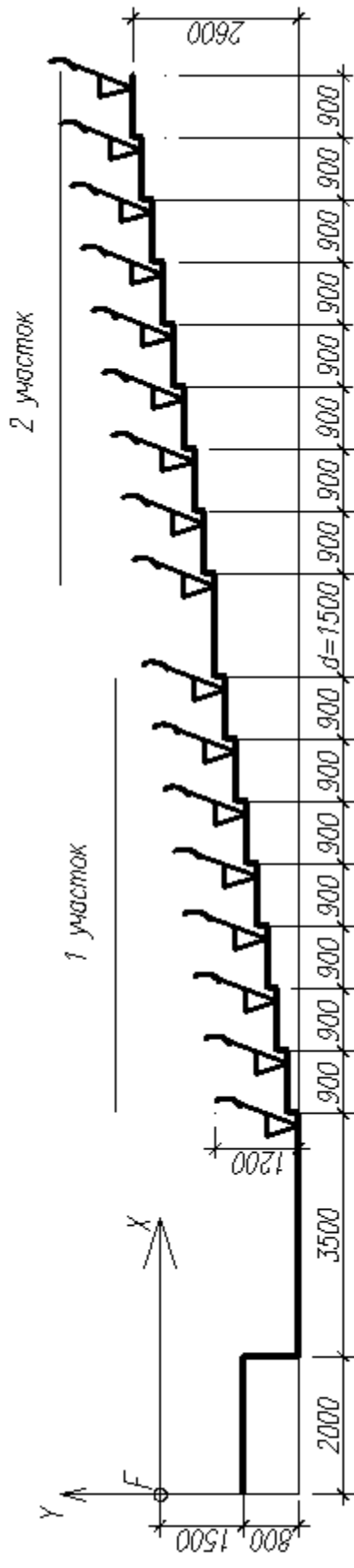


Рис. 26. Построение профиля зрительских мест методом отдельных участков (отрезков): на участке рядов с 1 по 8 высота подступенка r_1 ; на участке с 9 по 17 высота подступенков r_2

Высота подъема зрительских мест последнего ряда соответствует значению $H = y_2 - y_0 = 1,5 - (-1,10) = 2,60$ м, а высота ступеней подъема каждого ряда на 1 и 2 отрезках составят:

$$r_1 = (-0,26 + 1,10) / 7 = 0,12 \text{ м};$$

$$r_2 = (1,5 + 0,26) / 9 = 0,195 \text{ м}.$$

Для организации продольного прохода в зрительном зале высоту подступенков принимаем соответственно $r_1 = 0,12$ м и $r_2 = 0,2$ м для каждого из принятых отрезков на рис.26.

Проверка объемно-планировочного решения по условиям безопасной эвакуации производится на завершающем этапе встраивания зрительного зала в планировочную структуру здания, после принятия формы поперечного профиля и расстановки слушательских мест с учетом габаритных размеров кресел(стульев), ширины проходов в рядах и сборных продольных проходов (загрузочных) зального помещения.

Безопасность людей при эвакуации из здания при пожаре будет гарантирована, если каждый участник театрального зрелища успеет пройти свой участок эвакуационного маршрута не позже момента достижения на нём критических условий воздействия опасных факторов пожара. Этот момент времени определяет необходимое время эвакуации $t_{нб}$.

Главным критерием в расчете эвакуации из здания и помещений, имеющих зрительские места, является соблюдение условия:

– расчетное время эвакуации людей из здания и помещений не должно быть больше необходимого времени эвакуации с учетом требований пожарной безопасности или $t_p \leq t_{нб}$.

Необходимое время эвакуации $t_{нб}$ людей из зрительных залов театров, клубов и кинотеатров представлено в табл. 6 [11, табл.5.1б].

Т а б л и ц а 6

	Необходимое время эвакуации, мин, при объеме помещения, тыс.м ³				
	до 5	10	20	40	60
Зрительные залы в театрах, клубах, домах культуры и другие залы с колосниковой сценой	1,5	2	2,5	2,5	-
Зрительные, концертные, лекционные залы и залы собраний, выставочные залы и другие залы без колосниковой сцены (кинотеатры, крытые спортивные сооружения, цирки, столовые и др.)	2	3	3,5	4	4,5

Необходимое время эвакуации непосредственно наружу из зданий I-III степеней огнестойкости с залами, перечисленными в табл. 5.1б, следует принимать:

5 мин – для зданий высотой до 17 м включительно;

10 мин – для зданий высотой свыше 17 до 28 м.

Указанные в табл.6 величины необходимого времени эвакуации из зрительных залов относятся к зданиям I и II степени огнестойкости. Для зданий III–IV степеней огнестойкости приведенные в табл.6 данные должны быть уменьшены на 30%, а для V степени огнестойкости – на 50%. Объем зала определяется по внутренним ограждающим конструкциям. При промежуточных значениях объема необходимое время эвакуации из зального помещения определяется по интерполяции.

Определение расчетного времени эвакуации начинается с составления схемы эвакуации из помещений и зданий. Эвакуация людей из зданий может состоять из нескольких этапов:

1 этап – эвакуация из помещений сразу наружу здания. Если такой возможности нет, то в фойе, вестибюль или коридор, имеющий выход наружу или в лестничную клетку.

2 этап – эвакуация из фойе, вестибюля или коридора наружу или лестничную клетку, имеющую выход наружу.

3 этап – эвакуация по лестничной клетке наружу.

На первом этапе в результате специально проведенных исследований [11] установлено, что при всем многообразии возможных планировочных схем зрительских мест в залах лишь три оказывают влияние на характер распределения потоков людей по направлениям эвакуационных выходов. Это позволяет разделить весь массив мест в зале на блоки или группы мест, с которых люди эвакуируются по общему проходу в одном направлении (рис.27).

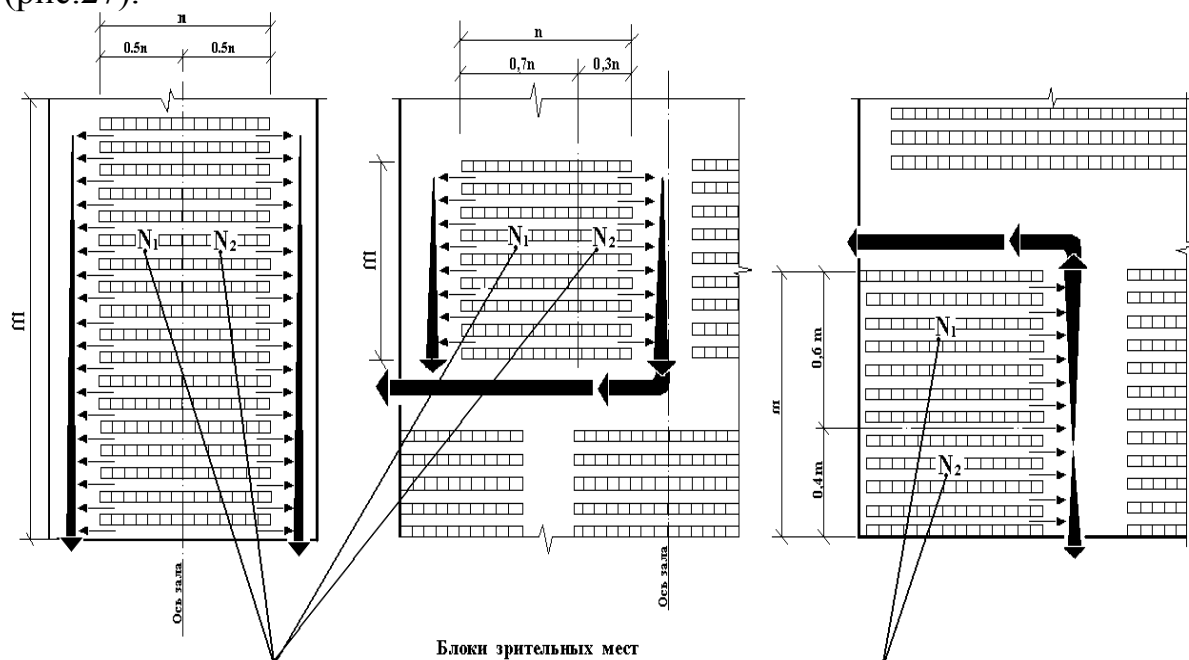


Рис. 27. Три основные расчетные схемы распределения людей по направлениям движения к выходам из зрительного зала:
 m – расчетное количество рядов, n – расчетное количество мест в ряду

На втором этапе поток людей численностью N , чел., входящих через каждый выход из зала в фойе или вестибюль, распределяется между двумя ближайшими выходами с этажа в лестничные клетки или на открытые лестницы, или из здания наружу (рис.28,а). Число людей в каждом из двух образовавшихся потоков N_1 , N_2 , чел., определяется в зависимости от соотношения длин пути этих потоков до эвакуационных выходов согласно графика рис.28,б.

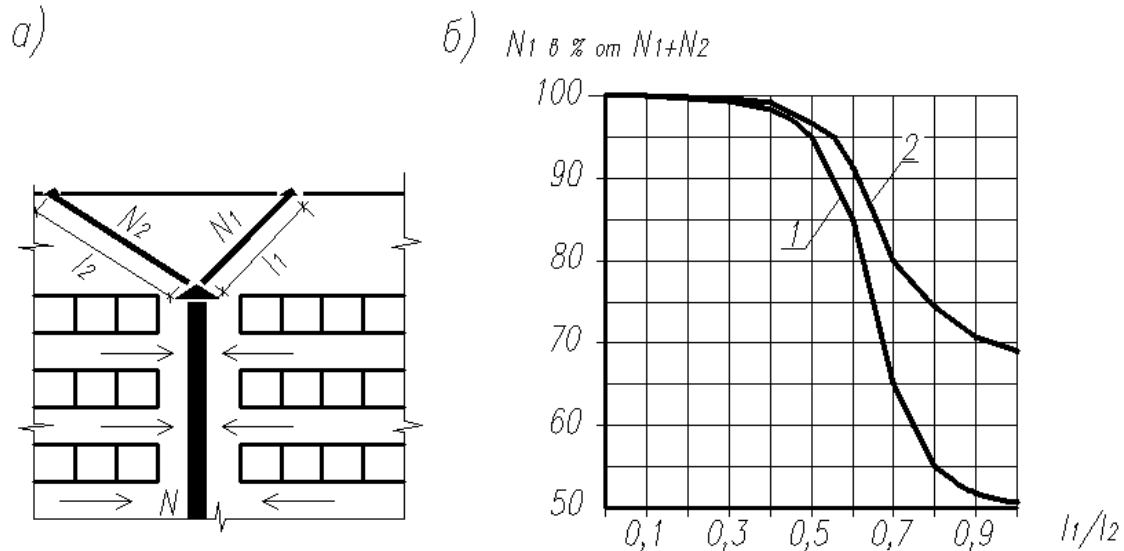


Рис.28. Влияние соотношения между расстояниями до выходов на распределение количества людей из общего потока, направляющихся:
 1 – к ближайшему (l_1) из двух одинаковых выходов (наружу, в лестничные клетки, на открытые лестницы);
 2 – к открытой лестнице (l_1) или в лестничную клетку (l_2)

При эвакуации людей по открытой лестничной клетке независимо от числа эвакуирующихся, определенного в соответствии с графиком на рис. 28,б, лестничная клетка должна рассчитываться на половину общего числа эвакуирующихся.

Расчетное время эвакуации людей из зданий и помещений t_p устанавливается в зависимости от времени движения одного или нескольких людских потоков от наиболее удаленных мест размещения людей через эвакуационные выходы в следующем порядке:

1. Весь путь движения людского потока разделяется на участки (проход между креслами, общий проход, дверной проем, фойе, лестничный марш и т.д.) длиной l_i и шириной δ_i . Начальными участками являются проходы между рядами кресел. Длина и ширина каждого участка принимается по проекту.

Длина участков l_i , м, определяется:

– горизонтального – как длина участка по его оси на плане этажа;

– наклонного участка – по истинному его значению по следующему выражению

$$l = l^*/\cos\alpha,$$

где l^* – горизонтальная проекция длины наклонного пути, м;

α – угол наклона к горизонту лестничного марша, $\alpha = 30\div 32^\circ$;

– для двухмаршевых лестниц

$$l = (2 \times l^*) / \cos\alpha + 4 \times b = 3 \times H,$$

где b – ширина лестничной площадки, м;

H – высота этажа.

Длина пути в дверном проеме принимается равной нулю. Проем, расположенный в стене толщиной более 0,7 м, а также тамбур следует считать самостоятельным участком горизонтального пути, имеющим конечную длину.

При дверях, открывающихся в сторону эвакуационного пути, расчетную длину следует принимать равной :

– ширине коридора, уменьшенной на половину ширины дверного полотна при одностороннем расположении дверей;

– ширине коридора, уменьшенной на ширину дверного полотна при двухстороннем расположении дверей.

Минимальная ширина участков пути – не менее 1,0 м, минимальная ширина дверей – 0,8 м.

Расчетное время эвакуации определяется следующим выражением:

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i,$$

где $t_1, t_2, t_3, \dots, t_i$ – время движения на первом и на каждом из последующих участках эвакуационного пути, мин.

2. Время движения по первому участку пути t_1 , мин, следует определять по формуле

$$t_1 = l_1 / V_1,$$

где V_1 – скорость движения людского потока на первом участке, м/мин, определяемая по таблице прил. 3 в зависимости от плотности D_1 .

3. Плотность людского потока D_1 , $\text{м}^2/\text{м}^2$, на первом участке пути определяется следующим выражением:

$$D_1 = (N_1 \times f) / (l_1 \times \delta_1),$$

где N_1 – число людей на первом участке, чел.;

f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, принимаемая равной:

– взрослого в уличной одежде

• летней..... 0,1 м^2 ;

• демисезонной..... 0,113 м^2 ;

- зимней..... 0,125 м²;
- подростка 0,08 м²;
- ребенка 0,05 м².

В момент эвакуации из зрительного зала людские потоки формируются в проходах рядов мест для зрителей. Ширина потока определяется на уровне плеч человека и равна 0,5 м. При ширине кресла 0,5 м плотность потоков на участках формирования будет равна

$$D_1=(1 \times 0,1)/(0,5 \times 0,5)=0,39, \text{ м}^2/\text{м}^2 \approx 0,4, \text{ м}^2/\text{м}^2$$

Для продолжения расчета необходимо использовать еще один параметр в характеристике движения людского потока – интенсивность. Интенсивность движения q , м/мин – это количество людей, проходящих в единицу времени участок пути шириной 1 м. Значение этой величины определяется произведением плотности потока в данный момент времени на его скорость

$$q = D \times V, \text{ м/мин.}$$

Зависимость интенсивности людского потока от плотности для различных видов пути представлена на графиках прил. 4.

4. Значение скорости V_i движения людского потока на участках пути после первого (начало движения в проходах между рядами) принимается по таблице прил. 3 в зависимости от значения интенсивности движения людского потока по каждому из этих участков пути, определяемого выражением

$$q_i = (q_{i-1} \times \delta_{i-1}) / \delta_i,$$

где δ_i, δ_{i-1} – ширина i -го и предшествующего ему $i-1$ участка пути;

q_i, q_{i-1} – интенсивность потока на i -м и предшествующего ему $i-1$ участке пути, м/мин.

Значение интенсивности на первом участке пути $q_1 = q_{i-1}$ определяется по таблице прил. 3 по соответствующему значению $D_1=0,39 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Если $q_i \leq q_{\max}$, то время движения по участку будет определяться как частное от деления длины пути l_i на скорость движения V_i . При этом q_{\max} следует принимать для

- горизонтальных участков пути 16,5 м/мин;
- дверных проемов 19,6 м/мин;
- при движении по лестницы вниз 16,0 м/мин;
- при движении по лестнице вверх 11,0 м/мин.

Если на участке движения $q_i > q_{\max}$, то ширину участка следует увеличивать, чтобы соблюдалось условие $q_i \leq q_{\max}$. При этом требуемую ширину участка δ_i^{TP} для обеспечения беспрепятственного движения необходимо определять из выражения

$$\delta_i^{\text{TP}} = (q_{i-1} \times \delta_{i-1}) / q_{\max}.$$

При невозможности выполнения этого условия интенсивность и скорость движения людского потока по i -му участку пути определяются по таблице прил. 3 при плотности $D=0,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$ и более.

5. При слиянии в начале участка двух и более людских потоков интенсивность движения требуется определять как для консолидированного потока по формуле

$$q_i = (\Sigma(q_{i-1} \times \delta_{i-1}))/\delta_i, \quad (2)$$

где q_{i-1} и δ_{i-1} – соответственно интенсивность и ширина на участках движения потока/потоков до слияния;

q_i и δ_i – соответственно интенсивность и ширина на рассматриваемом участке движения.

Если на участке движения объединенного людского потока $q_i > q_{\max}$, то ширину участка следует увеличивать, чтобы соблюдалось условие $q_i \leq q_{\max}$. Как и в предыдущем случае необходимо воспользоваться выражением

$$\delta_i^{\text{TP}} = (q_{i-1} \times \delta_{i-1})/q_{\max}.$$

При невозможности выполнения этого условия интенсивность и скорость движения объединенного людского потока по i -му участку пути определяются по таблице прил. 3 при плотности $D=0,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$ и более.

6. При выходе потока в фойе или вестибюль происходит его разуплотнение до плотности $D=0,15 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Этой плотности движения соответствует скорость движения 70 м/мин. Поэтому максимально допустимая длина горизонтального пути эвакуации l_{\max} от выхода из зрительного зала до эвакуационного выхода за пределами зала (фойе, вестибюль, лестницы) может быть определено по формуле

$$l_{\max} = 70 \times (t_{\text{нб.зд}} - t_{\text{р.зд}}), \text{ м},$$

$t_{\text{нб.зд}}$ – необходимое время эвакуации из здания, мин;

$t_{\text{р.зд}}$ – расчетное время эвакуации из зала, мин.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРЬЕРА ЗАЛА С ЕСТЕСТВЕННОЙ АКУСТИКОЙ

Правильное распределение ранних (первых) отражений от поверхностей зала способно улучшить слышимость и разборчивость звуков. Для проведения анализа происходящих в закрытом пространстве акустических процессов наиболее применима геометрическая теория акустики.

Геометрическая (лучевая) теория базируется на принципах геометрической оптики. При этом движение звуковых волн рассматривается аналогично движению световых лучей. На основании законов геометрической оптики луч отражается от зеркальной поверхности равно под тем же углом, что и падает на неё, при этом падающий и отраженный лучи лежат в одной плоскости. По этой схеме выполняется построение отражения звуковых лучей заданной длины волны. При этом оговаривается, что справедливость такого подхода имеет место быть тогда, когда размеры отражателя больше длины волны примерно на 1м, поверхностная плотность материала отражателя превышает 20 кг/м^2 , коэффициент звукопоглощения α не более 0,1. К фактуре поверхности отражателя также выдвигаются требования: если на ней есть неровности, то их величина должна быть намного меньше длины волны.

Характер отражения определяет форма отражающей поверхности: плоская, выпуклая, вогнутая. При отражении от плоского отражателя (рис.29 а) возникает мнимый источник I^1 , месторасположение которого ощущается на слух подобно тому, как глаз видит в зеркале мнимый источник света.

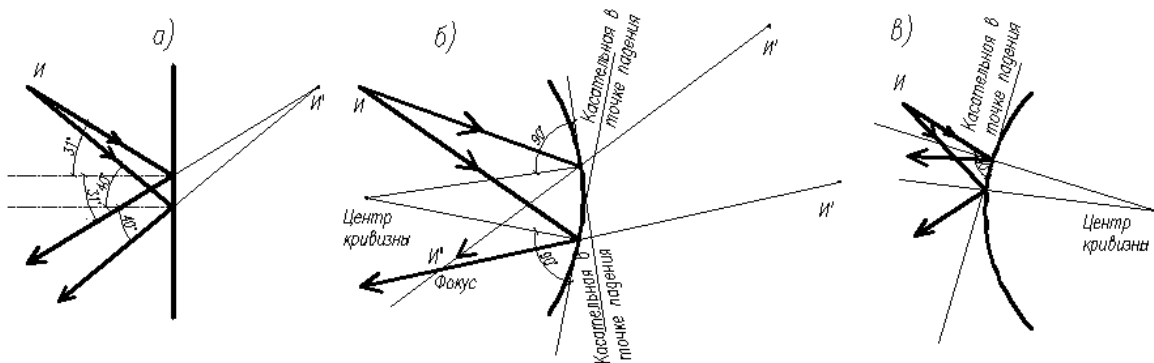


Рис. 29. Построение отражений от поверхностей разной формы

При отражении от вогнутой поверхности (рис.29 б) происходит фокусирование лучей в точке I^1 . Выпуклые поверхности колонн, пилястр, крупных лепных гипсовых украшений на стенах и потолке, а также люстр, бра, ограждения балконов рассеивают звук (рис.29 в) равномерно по всем направлениям.

Важным для слухового восприятия является время запаздывания отраженных звуковых волн. От излучателя звуковая волна доходит до преграды и отражается от неё. В закрытом помещении этот процесс многократно повторяется с потерей части энергии при каждом отражении. Для зрителей, сидящих рядом с центральной продольной осью зала, первые запаздывающие отражения приходят сначала от потолка, а затем от боковых стен. Память человека сохраняет слуховые ощущения и объединяет их в общее впечатление, если их продолжительность составляет не более 50 мс.

Если ранние отражения поступают к слушателю с фронтального направления, как и прямой звук, то слух почти не различает разницы в качестве звучания по сравнению со звучанием только прямого звука. Создается ощущение усиленного, но при этом плоского звукового сигнала. Приход отражений с разных направлений (пол, потолок и боковые стены) позволяет почувствовать эффект пространственного звучания. Вместе с прямым звуком такие отражения способны не только усилить ощущение громкости источника, но и, как отмечают музыканты, придать ему эстетические качества: живость и пластичность.

Существует интервал времени между приходящими прямыми и отраженными звуками, когда они воспринимаются без разрыва. Если интервал времени меньше критического, явление отражения звуков воспринимается как реверберация, больше – как эхо. Критический интервал времени в зависимости от характера звуков и дискретности составляет 20–100 мс.

Длительность запаздывания для наилучшего восприятия речи и музыки должны быть различными. Хорошая разборчивость и четкость речи достигается при запаздывании первого отражения от ближайшей к источнику отражающей поверхности не позднее 15 мс после прихода прямого звукового сигнала; в течение 23-35 мс должны поступить отражения от потолка и продольных стен помещения. Музыкальные программы получают ощущение объемного звучания и прозрачности в случае прихода первого отражения в интервале 20-30 мс после прямого, а не позднее 45-70 мс запаздывающие отражения с других направлений. Если первое отражение поступает с фронтальной стороны – сцены, звучание улучшается, а если сзади, то резко ухудшается.

В концертных залах даже при значительном отклонении времени реверберации (на 10-15%) от рекомендуемого, но при обеспечении надлежащей структуры ранних отражений, звучание музыкальных программ остается хорошим. Достижение оптимального времени запаздывания ранних отражений связано с объемом помещения, соотношением его основных размеров. Даже в небольшом концертном зале оптимальную структуру ранних отражений можно получить при определенных параметрах высоты и ширины зала перед эстрадой, ниже которых опускаться нельзя: соответственно 9 и 25 м в плоскости портала. Увеличить высоту до 10,5 м и ширину до 30 м можно лишь на расстоянии 10–12 м от портала

сцены. Глубину зала выбирают не более 40 м, а по балкону – не более 46 м из условий достаточности энергии прямого звука на самых удаленных зрительских местах. Сведения о залах, акустические качества которых считаются хорошими, приведены в табл. 7.

Т а б л и ц а 7

Наименование зала	Число зрителей	Глубина партера, м	Глубина по балкону, м	Время запаздывания, мс
Большой зал консерватории, Москва	2150	29	47	21 – 26
Малый зал московской консерватории	400	21	25	21 – 26
Концертный зал, Каракас	2000	28	35	30
Концертный зал, Бостон	2630	40	45	-
Концертный зал, Нью-Йорк	2700	34	45	-
Концертный зал, Зальцбург	2700	34	45	-

Назначение размеров помещения для прослушивания музыки (высота и ширина) не связаны с его вместимостью, а определяются необходимой структурой ранних отражений. Даже в случае проектирования студии звукозаписи, звукового вещания, зала прослушивания киностудии, т.е. при отсутствии слушателей, размеры помещения должны определяться только качеством звучания музыки.

Графический анализ плана и поперечного разреза зрительного зала выполняют с целью исследования времени поступления ранних отражений в зоны расположения зрительских мест при заданных положениях источника звука.

Допустимость применения геометрических отражений зависит от размеров отражающих поверхностей и длины звуковой волны. **Применение геометрических отражений считается допустимым, если наименьшая сторона отражателя – не менее 1,5–2 м.**

Радиус действия прямого звука $R_{пр}$ составляет: для речи 8–9 м, музыки – 10–12 м. На зрительские места в пределах $R_{пр}$ усиление прямого звука с помощью направленных интенсивных отражений не требуется. Начиная с $R_{пр}$ интенсивные первые отражения должны перекрывать всю зону зрительских мест. Если поверхности потолка или стен состоят из отдельных секций, конфигурацию членений следует выполнить так, чтобы отражения от соседних элементов перекрывали друг друга, не оставляя «мертвых зон», лишенных отраженного звука (рис.30). Геометрические построения выполняются с помощью так называемых мнимых источников. Их месторасположение определяется графическим способом: из источника звука восстанавливается перпендикуляр к плоскости отражения и на его продолжении откладывается отрезок, равный расстоянию от отражателя до источника звука. Затем из мнимого источника к отражателю (а далее в зал)

проводятся две линии – границы сектора отражения. Смещение от края отражателя следует принять как минимум 0,5 м. Наклоном поверхности отражателя относительно источника звука следует добиться того, чтобы отражения перекрывали друг друга.

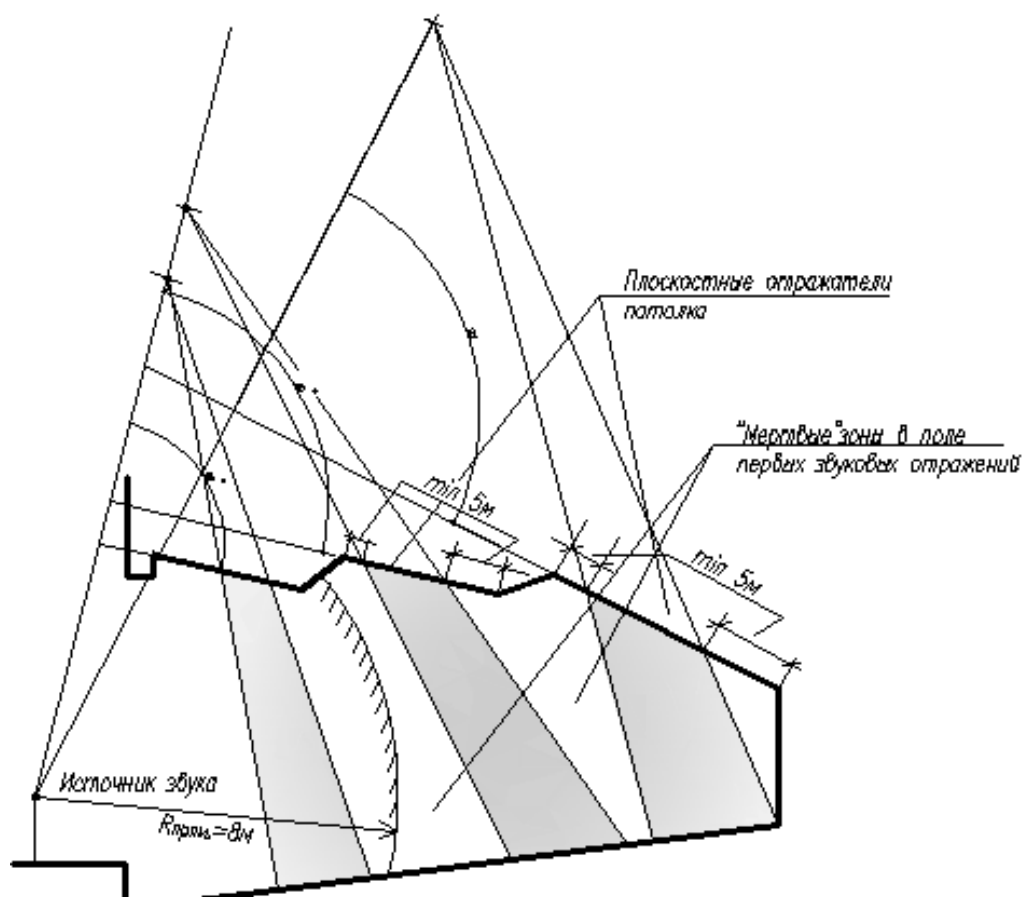


Рис.30. Построение отражений от потолочных плоских элементов

После завершения графического анализа чертежей и создания в зале оптимальной структуры ранних отражений не занятые для этой цели поверхности должны быть использованы для формирования диффузного звукового поля путем их эффективного расчленения различной формы звукорассеивающими элементами. Они и создадут необходимые условия для рассеянного, ненаправленного отражения звука. Это достигается расчленением поверхностей балконами, пилястрами, нишами, колоннами и другими неровностями.

Балконы, ложи, скошенные стены повышают диффузность звукового поля на низких частотах, а применяемые в архитектурной практике пилястры, колонны – в основном в области средних и высоких частот.

Лучевой эскиз позволяет дать временную оценку этому явлению. Если расстояние от источника звука q (рис.30) до слушателя N превышает 8 м, необходим, кроме прямого звука, приход в эту точку мало запаздывающего первого отражения. Рекомендуется задержка прихода последнего в искомую точку не более чем на 20 мс, что соответствует разности хода (около 7 м) прямого qN и отраженного от поверхности $qK + KN$ звуков. Допускается разница ходов прямого и отраженного звуков ($qK + KN - qN$), равная 10 м (30 мс) [1, 2].

Для оценки времени запаздывания первых отражений от поверхности стен и потолка используется метод мнимых источников (рис.31). Чтобы построить мнимый источник, необходимо опустить перпендикуляр к отражающей поверхности и на его продолжении построить отрезок $qP = q'P$.

Прямые, проведенные из мнимого источника т. q' , будут являться искомыми отраженными лучами от действительного источника т. q . Аналогичным образом поступают в случае криволинейных поверхностей, отступив 0,5 м от края звукоотражающего экрана.

Размеры, форма и очертания поверхностей (потолок, боковые стены, балконы, специальные звукоотражатели) залов и аудиторий должны способствовать равномерному распределению ранних интенсивных отражений по зоне зрительских мест (рис.31), повышению диффузности звукового поля и исключать возможность возникновения концентрации звуковых отражений (особенно поздних).

Плоская горизонтальная форма потолка является оптимальной. Отражения звука от потолка в случае расположения источника на авансцене (рис. 32) будут попадать на зрительские места удаленной половины зала (так называемые ранние отражения) частично – на вертикальную заднюю стену, время запаздывания которых $\Delta t_4 > 30$ мс. Эти отражения создают отчетливое эхо – повторы речи, музыкальных фраз. Такие поверхности следует выполнять из эффективного звукопоглощающего материала.

При перемещении источника звука вглубь сцены портал препятствует приходу отражений в ближнюю половину зрительских мест. При этом слабый по мощности звук вызовет повышенный шум публики в этой части зала, что повлечет за собой снижение разборчивости звука в удаленной половине помещения.

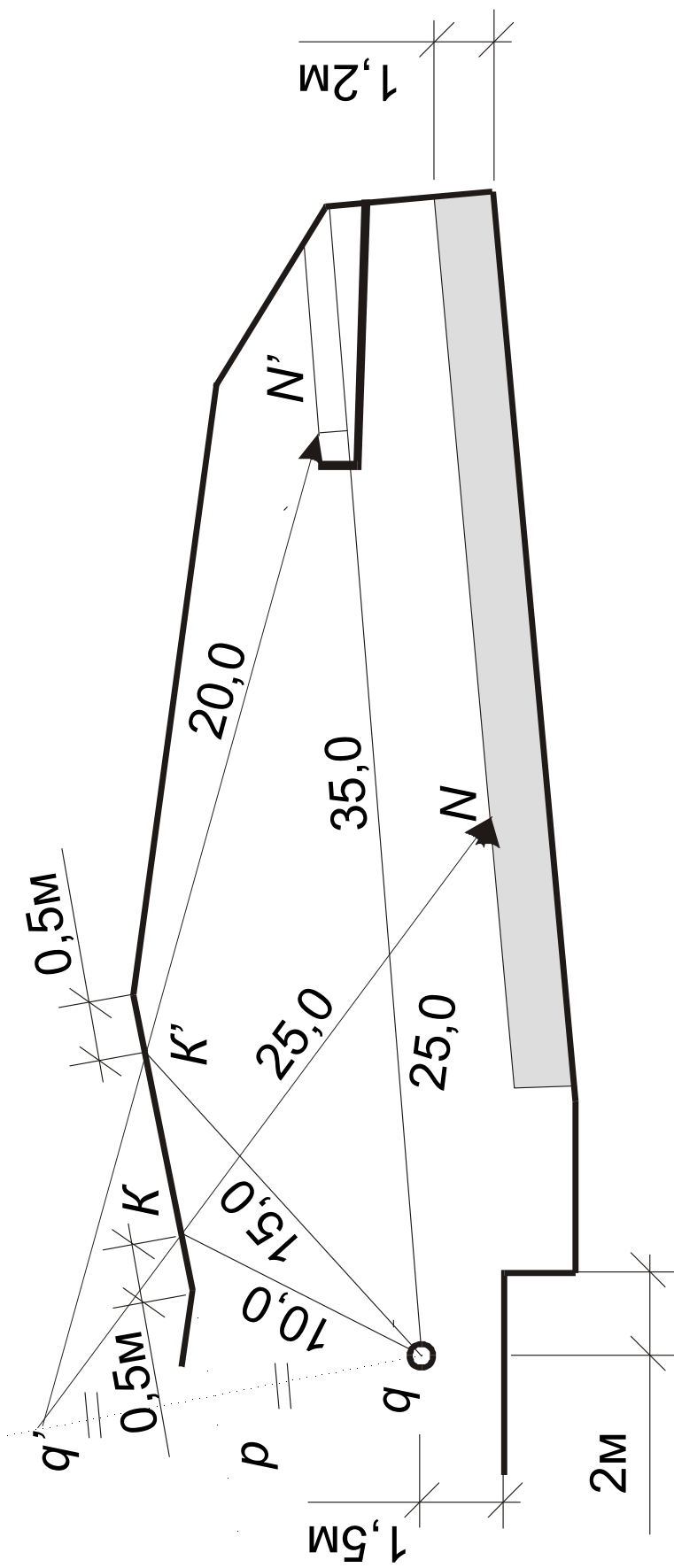


Рис.31. Построение геометрических отражений методом построения звукового луча из мнимого источника:
 q и q' соответственно действительный и мнимый источники;
 K и K' – точки отражения;
 N и N' – точки приема

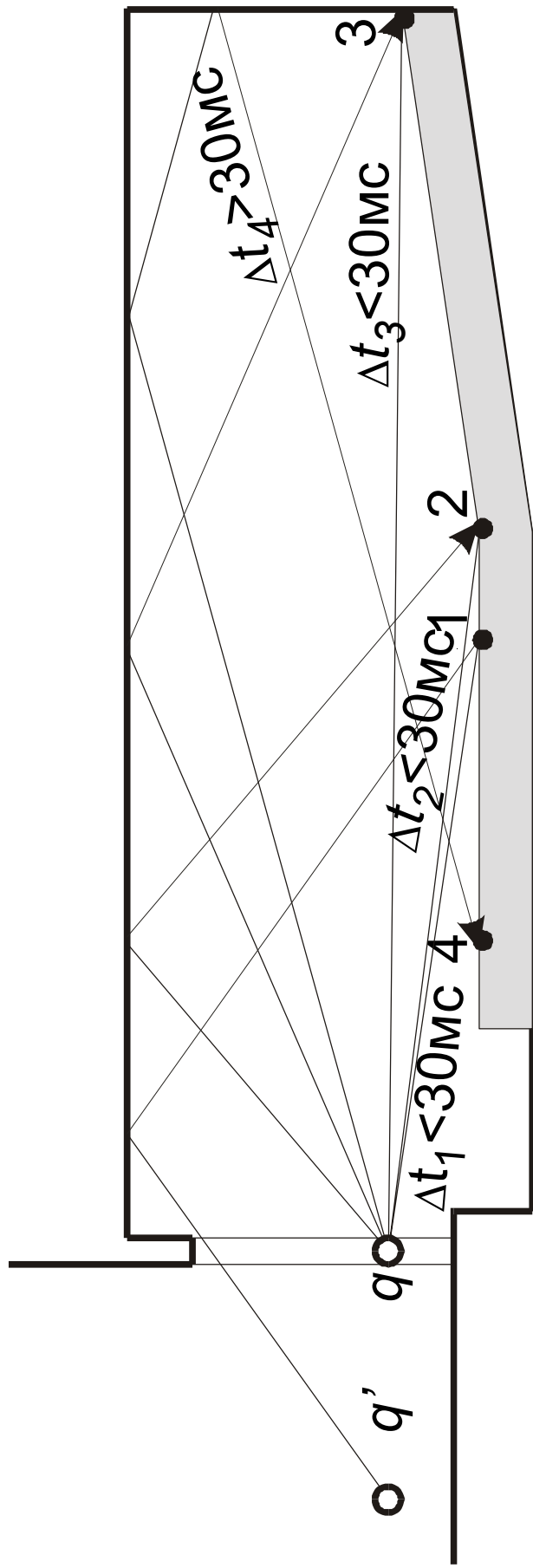


Рис. 32. Отражение от горизонтальной поверхности потолка

Распределить отражения передней части потолка в направлении наиболее удаленных мест можно с помощью специального отражателя, укрепленного над эстрадой или авансценой.

Форма отражателя (рис.33) должна иметь выпуклое очертание с большим радиусом кривизны, что обеспечит одинаково рассеянное отражение независимо от места отражения источника звука на сцене.

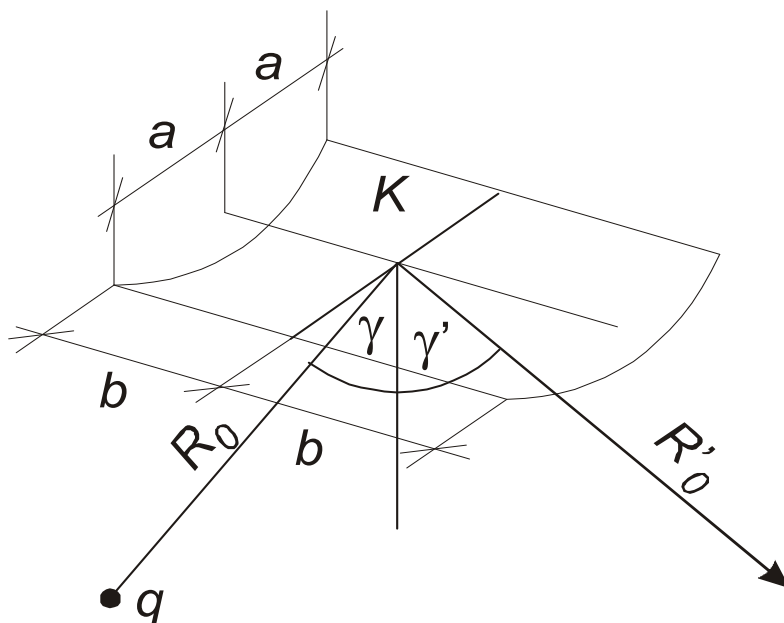


Рис. 33. Построение лучевого эскиза от выпуклого отражателя шириной $2a$ и длиной $2b$

Материалом отражателя может быть железобетон, штукатурка по металлической сетке, дерево или иной конструкционный материал с коэффициентом звукопоглощения не более 0,1 и поверхностной плотностью не менее 20 кг/м^2 . Малая сторона отражателя должна не менее чем в 1,5 раза превышать длину волны по крайней мере на частотах 300 – 400 Гц [1].

На рис.34 отражающая поверхность имеет выпуклую форму. Отражение звуковой волны – в т. K , находящейся на продольной оси зрительного зала. Расстояние от источника звука до т. K – R_0 , от т. K до т. N – R_0' ; γ_1 и γ_1' – углы падения и отражения равны между собой.

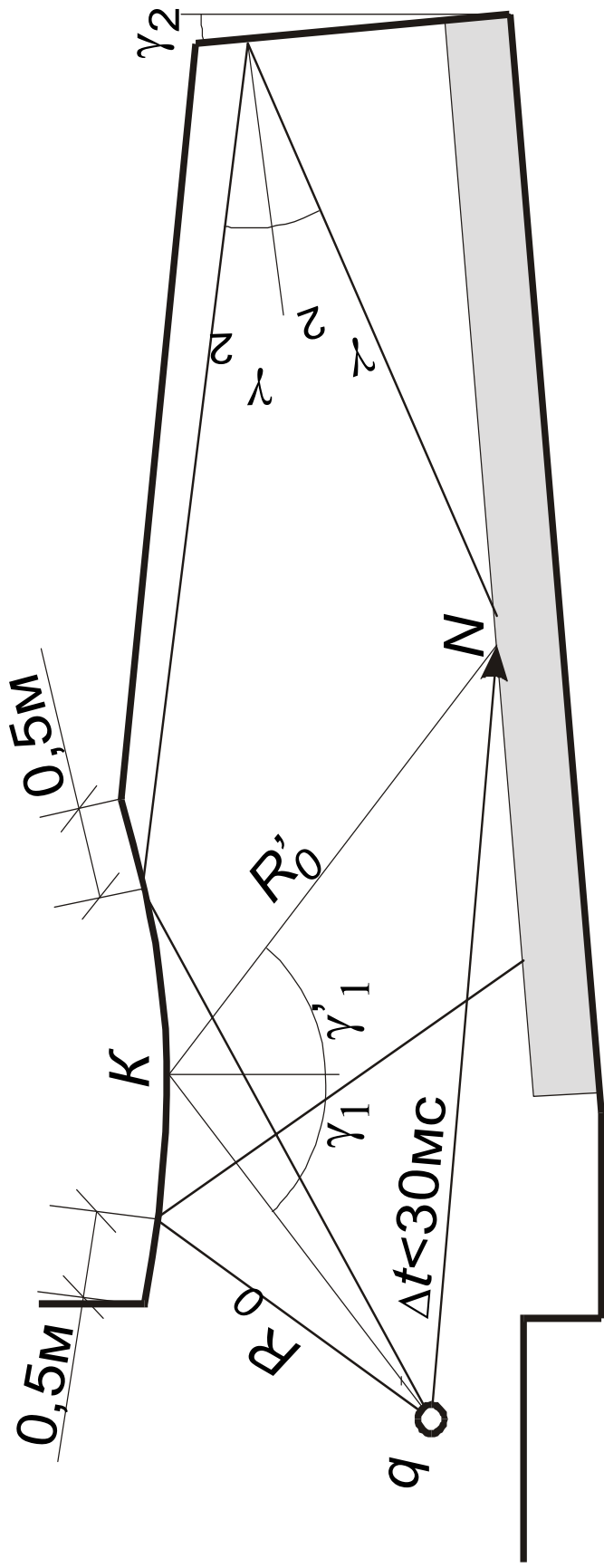


Рис. 34. Распределение отражений выпуклой поверхностью потолка и наклонной плоскостью задней стены зала

Если ввести безразмерные величины:

$$u = a \cdot \cos \gamma_1 \cdot \sqrt{\frac{2}{\lambda} \cdot \left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_0^1} \right)}; \quad (3)$$

$$w = b \cdot \sqrt{\frac{2}{\lambda} \cdot \left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_0^1} \right)}, \quad (4)$$

то абсолютное отклонение фактического уровня звукового давления в т. П от уровня, соответствующего строго геометрическому отражению, можно рассчитать по формуле

$$\Delta L = 4,4 \cdot \left(\frac{1}{u} + \frac{1}{w} \right). \quad (5)$$

Если $\Delta L < 5$ дБ, то применение геометрических отражений для оценки отражения звуковых волн в помещении вполне допустимо.

Хорошее распределение звуковых отражений дает правильное расчленение потока секциями (рис. 36, а, б, в). При этом секции в зависимости от формы, размеров, расположения отражателя к источнику звука должны направлять звуковые лучи таким образом на зрительные места, чтобы они перекрывали друг друга, а запаздывания с приходом отражений к слушателю не превышали критического интервала 20-30 мс.

Полезным оказывается использование наклонной поверхности задней части потолка (рис. 36, г). Такой прием позволяет улучшить слышимость на задних рядах зала и исключить возникновение «театрального эха» или первого отражения от потолка и задней стены с большим временем запаздывания. Его появление возможно в случае примыкания названных конструкций под углом $90^\circ - 75^\circ$ (рис.35). Как акустический дефект, «театральное эхо» проявляется в первой, ближайшей к источнику звука части слушательских мест и даже на сцене.

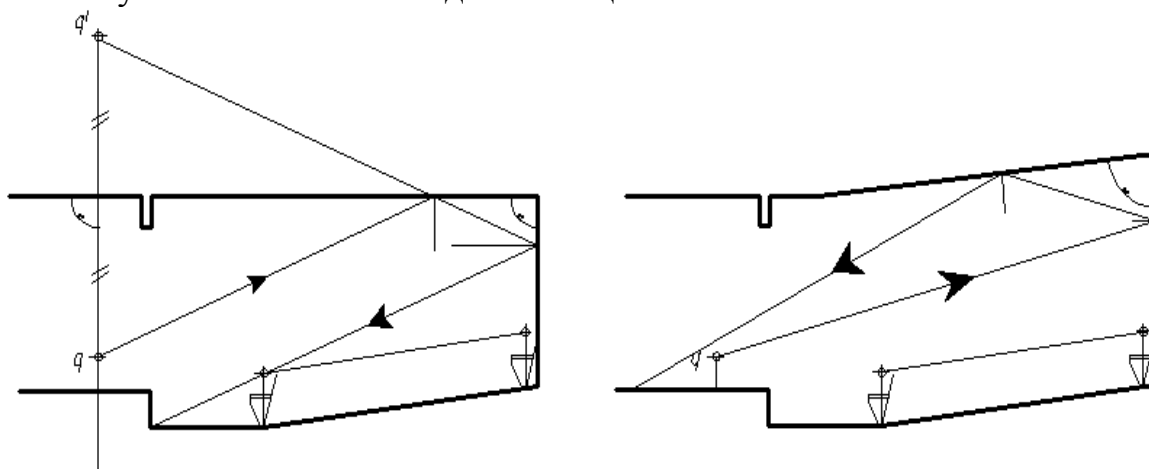


Рис. 35.Образование «театрального эха»

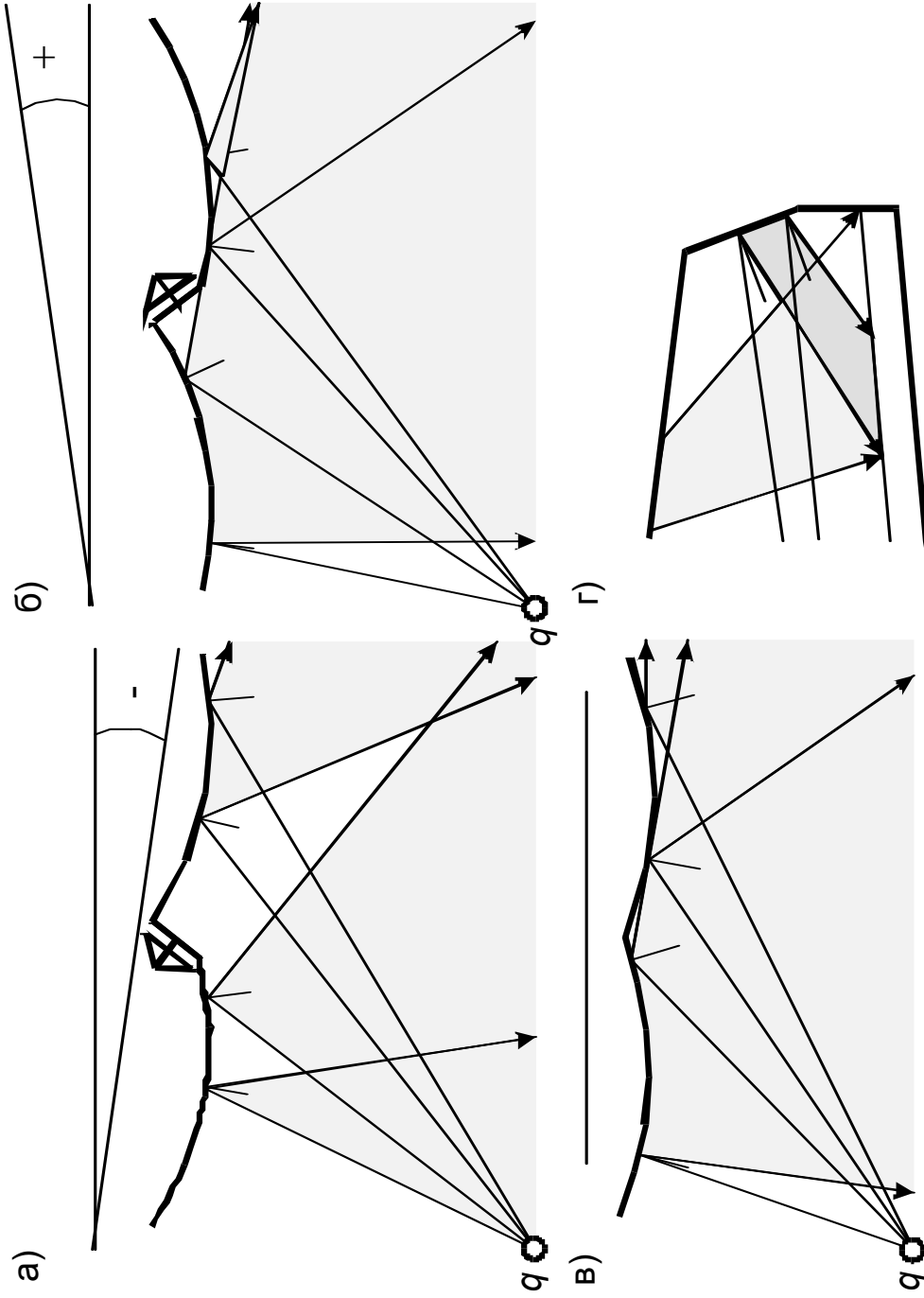


Рис. 36. Распределение отражений при расчленении поверхности:
 а – потолок, выпуклыми секциями при отрицательных углах наклона; б – то же, при положительных углах;
 в – то же, при нулевых углах; г – потолок и торцовка с небольшим углом наклона стены

Размещение поверхностей, отделочные материалы которых имеют коэффициент звукопоглощения $\alpha > 0,2$, должно быть сделано в соответствии с их ролью в формировании диффузного звукового поля. От одних участков к слушателям приходят звуковые волны после одного отражения, от других – после двукратного и более. В первом случае волны приходят с небольшим запозданием по сравнению с прямой волной и с уменьшенной амплитудой колебания за счет первого поглощения отражающей поверхностью. В другом – время запаздывания значительно увеличивается с одновременным уменьшением энергии (значительными).

На рис. 37 (слева) показано построение такого участка на горизонтальном плоском потолке. Из мнимого источника q' проводятся лучи к вершинам участка со слушателями e, f, r, n . При этом на пересечении этих лучей с плоскостью потолка выявляются 4 точки: a', b', c', d' – вертикальные проекции четырехугольника $abcd$, являющегося площадкой первых отражений на поверхности потолка при положении источника звука в точке q . Следует отметить, что положение источника – центральная продольная ось зрительного зала. Переместив ее в крайне левое или крайне правое положение (рис.38) относительно центральной продольной оси, можно мысленно представить границы участка первых отражений на потолке в случае перемещения источника в границах сцены.

Аналогично графически определяется участок первых отражений на боковой поверхности стен (рис. 37, справа): находится местоположение мнимого источника t, q_1 относительно одной боковой поверхности для зала симметричной формы относительно центральной продольной оси, затем проводятся лучи к четырем точкам контура зрительского поля e, f, k, n . Точки пересечения этих лучей с боковой поверхностью стен a, b, c, d переносятся на продольный профиль до пересечения с лучами из действительного источника q^1 . Точки a^1, b^1, c^1, d^1 соединяются в замкнутый контур ромбовидной формы – площадку первых отражений на боковой поверхности стен. Как видно из рис.37, 38, эта поверхность расположена на уровне головы и выше сидящих в креслах зрителей. Плоскость стены ниже не представляет интерес в плане полезного звукоотражения на слушательские места. В зрительном зале Кремлевского дворца (г.Москва) эта часть боковых стен покрыта искусственной кожей, натянутой на деревянный каркас и дающей хорошее звукопоглощение на низких частотах [3].

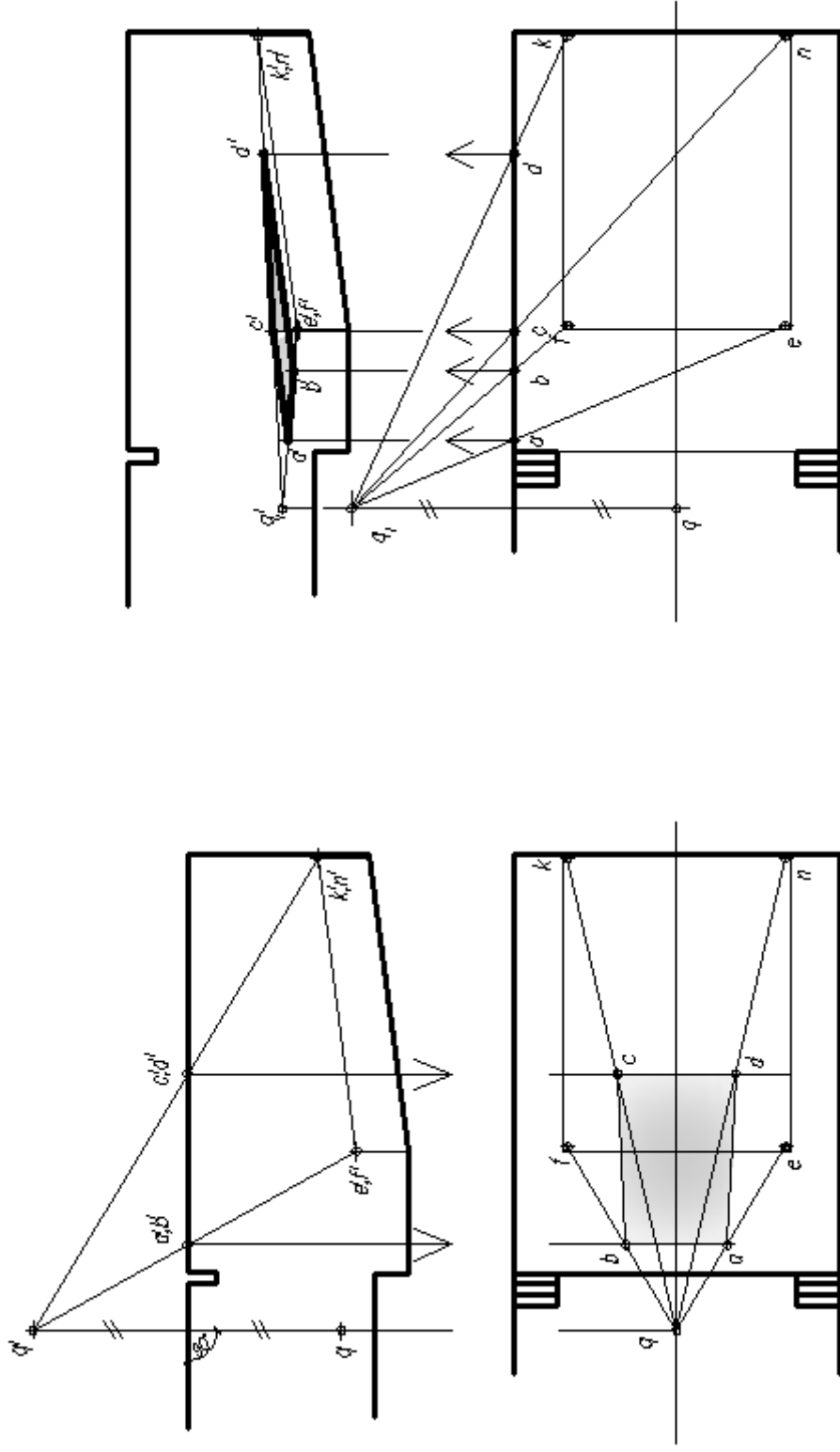


Рис. 37. Построение площадок первых отражений на поверхности горизонтального потолка и параллельных боковых стенах от источника звука на центральной продольной оси зала

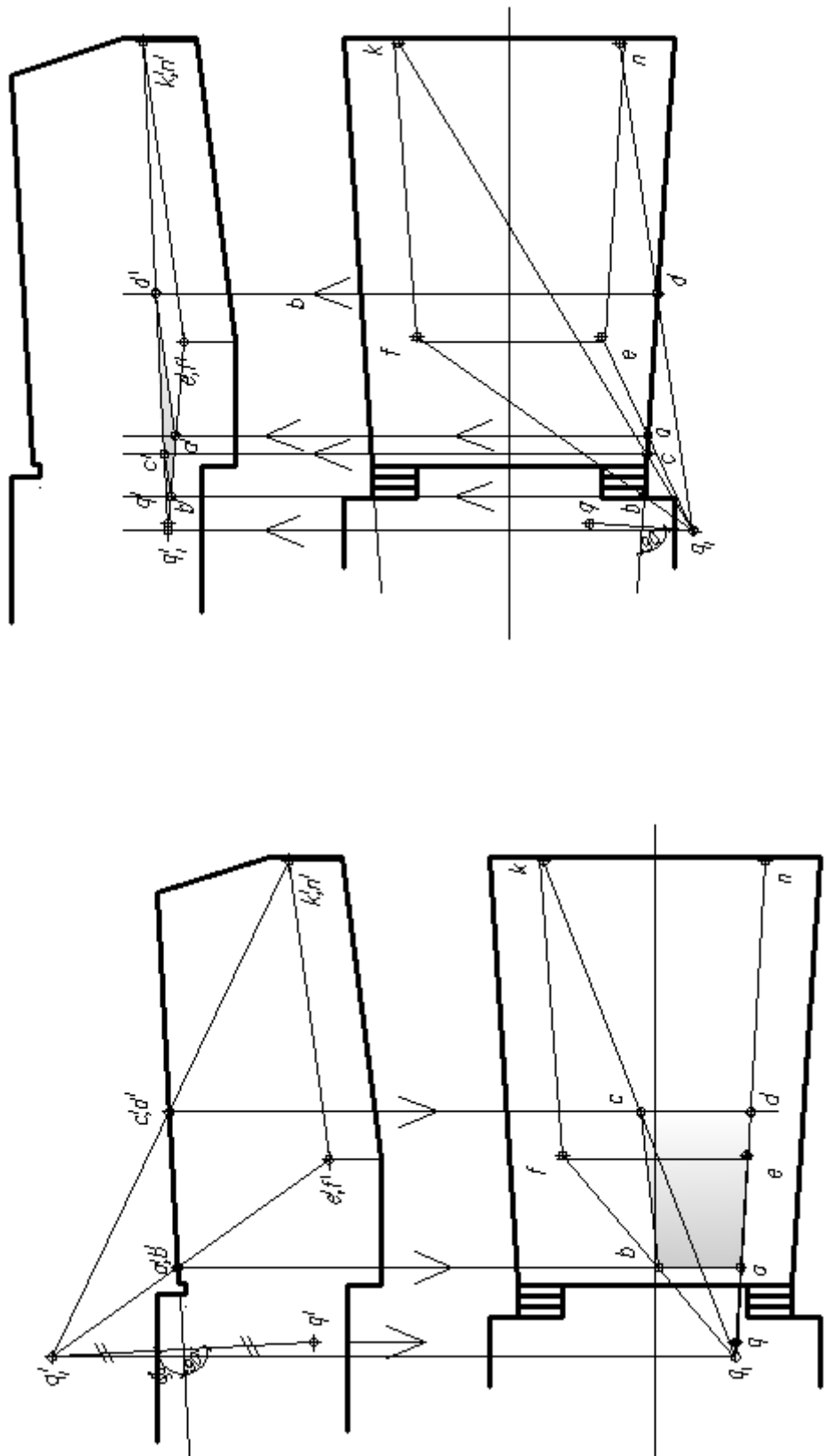


Рис. 38. Построение площадок первых отражений на поверхности потолка и стен зала произвольной формы и расположении источника звука в крайнем левом расположении на сцене

Зрительные залы секторной формы плана с относительно большими размерами высоты (более 12 м) и ширины (более 20 м) представляют потенциальный «проектный задел» на формирование первых отражений с недопустимо большим временем запаздывания. Наиболее удачным приемом исправления этого акустического недостатка можно считать устройство отражающих звук покрытий (плоских или выпуклых) на потолке и стенах у строительного портала (рис. 39).

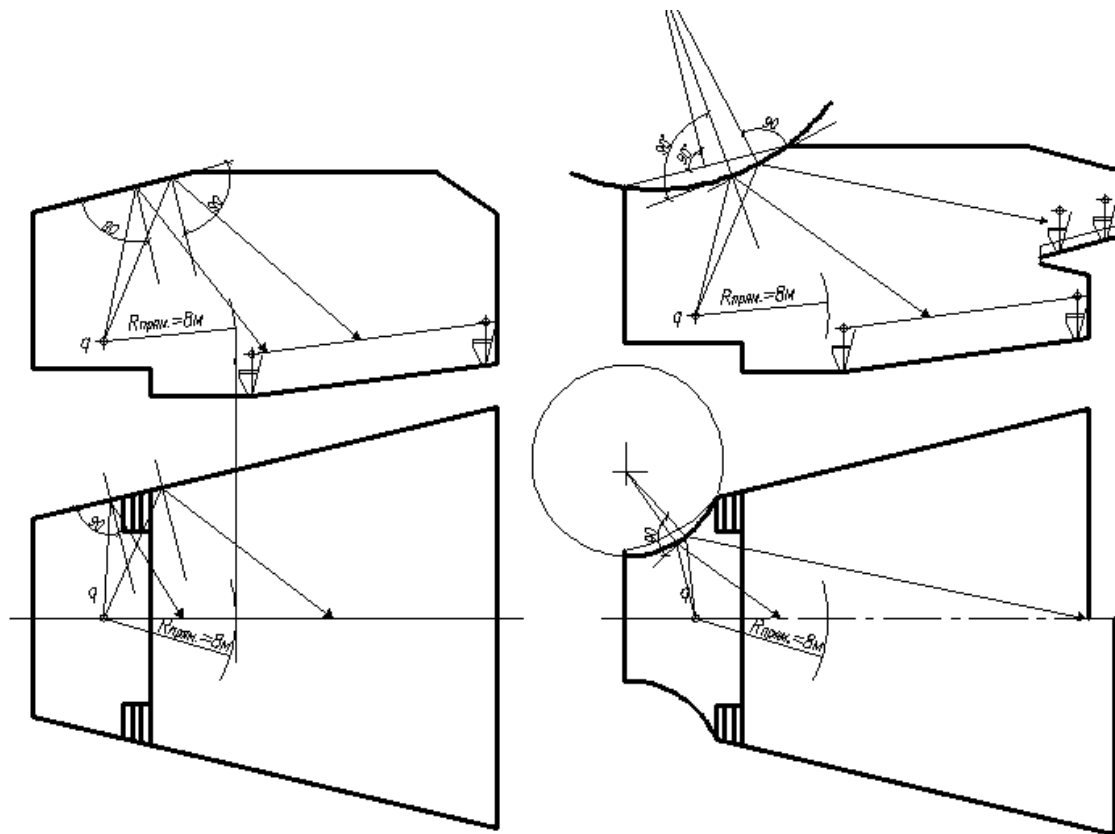


Рис. 39. Конструктивное оформление портала в лекционной аудитории и театральном зале

Реверберацией называется процесс медленного “замирания” звука в закрытых помещениях после выключения его источника. Воздушный объем зала представляет собой колебательную систему с большим числом собственных частот. Каждое из собственных колебаний имеет свой коэффициент затухания, зависящий от поглощения и отражения звука внутренними поверхностями, а также от частоты.

Отраженные от поверхности волны суммируются с прямыми, следствием чего является лавинное нарастание интенсивности звука в помещении. Процесс нарастания мог бы продолжаться до бесконечности, не будь частичного поглощения энергии падающих волн теми же поверхностями и вязкое трение воздушной среды.

В результате наступает акустическое равновесие, которое нарушается тотчас же после отключения источника звука. Однако звуковые волны затихают не сразу. Время, в течение которого в помещении сохраняется остаточное звучание, называется временем реверберации.

Время реверберации оказывает большое влияние на качество звучания. Малое время реверберации делает звук сухим и безжизненным, а музыку – невыразительной, требующей от исполнителя повышенной громкости исполнения. При большом времени реверберации звук становится бубнящим, неразборчивым, а музыка гудящей и превращается в дисгармоничную смесь звуков.

Для залов различного назначения, формы и объема рекомендуемое время реверберации установлено экспериментальными исследованиями, на основании опросов экспертов и зрителей в зависимости от характера звуков (речь, музыка) на частотах 125 – 4000 Гц.

Время реверберации рассматривается как многопараметрическая функция, определяемая не только объемом помещения V , площадью ограничивающих поверхностей S_i с соответствующими коэффициентами звукопоглощения α_i , но и начальной плотностью звуковой энергии P_0 . Очевидно, что чем больше значение этой величины, тем больше требуется времени для затухания до фонового уровня звукового давления.

Для того чтобы реверберационный процесс характеризовал только акустические свойства помещения вне зависимости от величины излучаемой источником звуковой энергии, пользуются понятием оптимального времени реверберации [2], которое сравнивается с расчетным.

Для проверки допустимости применения в расчетах методов статистической акустики (метод Сэбина) в нормируемом диапазоне частот следует рассчитать так называемую критическую частоту $\phi_{кр}$, Гц, выше которой наблюдается достаточное количество собственных частот (мод) воздушного объема, по формуле

$$\phi_{кр} = 125 \sqrt[3]{180/V} . \quad (6)$$

Если расчет показал, что $\phi_{кр} \leq 125$ Гц, то время реверберации в секундах следует определять в шести октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Гц по следующим выражениям:

– в диапазоне 125–1000 Гц по формуле

$$T = \frac{0,163 \cdot V}{S_{общ} \cdot \ln(1 - \bar{\alpha})} = \frac{0,163 \cdot V}{S_{общ} \cdot \varphi(\bar{\alpha})}; \quad (7)$$

– в диапазоне частот 2000–4000 Гц по формуле

$$T = \frac{0,163 \cdot V}{S_{\text{общ}} \cdot \ln(1 - \bar{\alpha}) + m_e \cdot V} = \frac{0,163 \cdot V}{S_{\text{общ}} \cdot \varphi(\bar{\alpha}) + m_e \cdot V}, \quad (8)$$

где $S_{\text{общ}}$ – сумма площадей всех поверхностей помещения

$\bar{\alpha}$ – средний коэффициент звукопоглощения

$$\bar{\alpha} = \alpha_1 \frac{S_1}{S_{\text{общ}}} + \alpha_2 \frac{S_2}{S_{\text{общ}}} + \dots + \alpha_n \frac{S_n}{S_{\text{общ}}};$$

m_e – коэффициент затухания звука в воздухе в зависимости от относительной влажности [2].

Для практических целей вычисление времени реверберации свыше 4000 Гц не проводится, так как поглощение в воздухе становится большим, что исключает возможность регулирования времени реверберации за счет изменения общего звукопоглощения ограждающих поверхностей.

Оптимальное значение времени реверберации в области средних частот 500–1000 Гц для залов различного назначения приведены на соответствующей номограмме [2]. Допустимое отклонение от приведенных величин проверяется на соответствующих графиках по коридору отклонений в ± 10 %. Кроме того, в октавной полосе 125 Гц допускается превышение времени реверберации, но не более чем на 20 %.

Если $f_{\text{кр}} > 125$ Гц, то результат, полученный по вышеуказанной формуле для частоты 125 Гц, следует считать ориентировочным.

Как видно из номограммы рис.40, с увеличением объема зрительного зала время реверберации увеличивается. Для корректировки времени реверберации в зависимости от воспроизводимого в помещении звука (речь, музыкальные программы) рекомендуется сделать следующее [8]:

– в лекционных залах, конференц-залах не изменять время реверберации на всех частотах, кроме частоты 125 Гц (уменьшить на 15 %);

– в залах, предназначенных только для музыкальных программ, время реверберации на частотах 125 Гц и 250 Гц увеличить соответственно на 40 % и 20 %; на частотах 1000 Гц, 2000 Гц и 4000 Гц уменьшить на 10 % по сравнению с частотой 500 Гц;

– в залах многоцелевого назначения на частоте 125 Гц время реверберации увеличить на 20–40 % в зависимости от годового вклада программ с музыкальным исполнением: чем их больше, тем больший процент следует брать; для частот 2000–4000 Гц берется такое же время реверберации, что и на частоте 500 Гц.

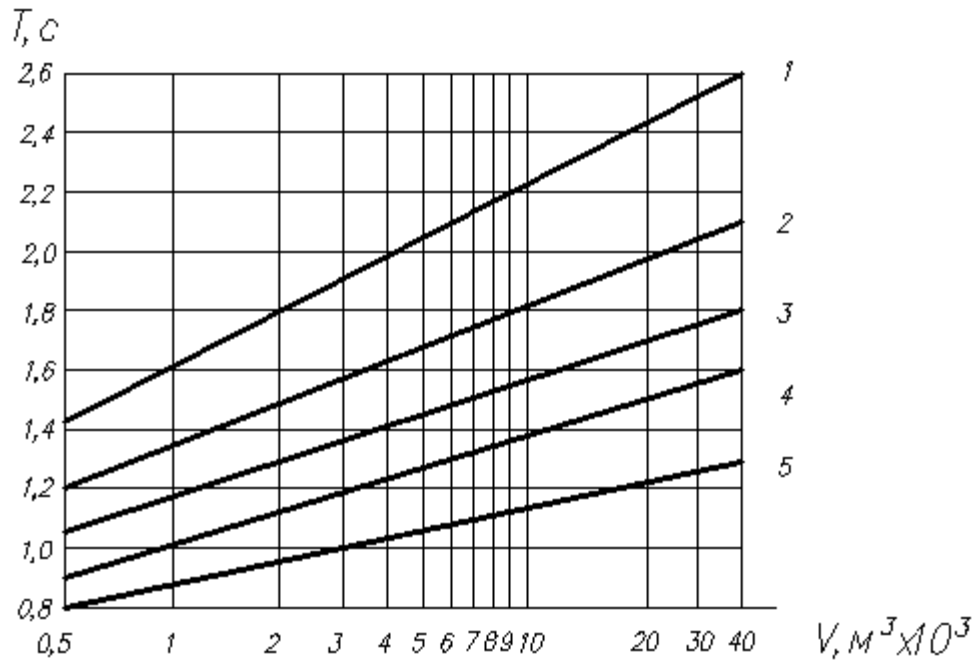


Рис. 40. Рекомендуемое время реверберации для зрительных залов различного назначения в зависимости от объема на частотах 500-1000 Гц:
 1 – залы для ораторий и органной музыки; 2 – залы для симфонической музыки;
 3 – залы для камерной и оперной музыки;
 4 – залы многофункционального назначения; залы музыкально-драматических театров;
 5 – лекционные залы, залы драматических театров; кинотеатры

3. РАЗРАБОТКА ЦВЕТОВОГО РЕШЕНИЯ ИНТЕРЬЕРА ЗРИТЕЛЬНОГО ЗАЛА

Вместе с решением задачи проектирования естественной акустики зала обязательным условием для архитектора является правильное оформление интерьера зала.

В курсовой работе предлагается разработать цветовое решение зрительного зала. При подборе цветов нельзя подходить только технически, т.к. с помощью техники художественно оформить помещение невозможно. При цветовом оформлении зрительного зала необходимо учитывать, что каждому цвету свойственна своя эмоциональная функция. Цвета могут создавать впечатление лёгкости, высоты, тяжести, широты, создавать веселые и грустные настроения.

В целом, для учреждений культуры в качестве доминирующего цвета можно рекомендовать светлую гамму желтых цветов – желтовато-зелёный – желтый – желтовато-оранжевый. В комбинации с синим цветом (особенно декоративных тканей) эти цвета производят приятное впечатление. В то время, как большие желтые поверхности оказывают оживляющее, активизирующее воздействие и создают радостно-праздничное настроение, синий цвет призывает к сдержанности. Если желтый цвет сопровождается красным, то помещение производит праздничное и очень привлекательное впечатление.

Сочетание желтого цвета с красным и красного с синим наиболее активизирующее. Но эти сочетания цветов становятся тем менее действенными, чем меньше степень их насыщенности и чем больше они приближаются к серому цвету.

Для освещения целесообразно применять рассеянный свет теплого тона.

Цвета в интерьере театрального зала, будучи нейтральными, способствуют установлению контакта зрителя со сценой.

При цветовом решении театрального зала должна быть создана атмосфера, способствующая наиболее полному восприятию представления интеллектуально и эмоционально. Психическая напряженность у зрителя должна получить своё разрешение в воздействии цветов, примененных в оформлении зала. Этого можно достичь таким сочетанием красок, при котором ослабление тонов сменяется их усилением, т.е. когда цветовое оформление привлекает внимание зрителя к сцене.

Стены и потолки в театральном зале должны быть не просто раскрашенными поверхностями, а сочетанием форм, которое создает подъём настроения. Потолок, сливаясь со стенами и сценой, способствует полной связи и общению зрителя со сценой. Чтобы цветовым способом решать эти задачи, динамически создать переход тёплых тонов в холодные, приглушение контрастов и т.п., цвета должны быть резкими, а

динамичность их сочетаний не должна приводить к ощущению неуверенности в зале.

В зале кинотеатра цвета должны активно охватить зрителя. Цветовое оформление кинозала воспринимается недолго. Когда выключается свет и начинается просмотр фильма, цвета, в которые окрашены стены, должны способствовать переключению внимания на экран. Применяя цветовое освещение, возможно создание чередования красочных эффектов.

Если в театре и кино цветовое оформление должно учитывать разнообразие спектаклей и фильмов, то в концертном зале посетителю предлагается только музыка, которую зритель слушает в освещенном зале. Концертный зал должен быть окрашен в нейтральные тона, т.к. сама музыка богата красками. Но белый цвет обычно утомляет слушателя. Фон для музыки должен быть конкретным. Можно считать, что в концертном зале в оформлении фона, перед которым расположен оркестр, более применима нейтральная «золотая» окраска, чем сплошной белый цвет. Но есть лучший цвет – синий, особенно когда он контрастирует с золотом. Для восприятия музыки это оформление лучше, чем сочетание красного с золотом или белый цвет, вызывающий скуку.

4. ПРИМЕР АКУСТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КОНЦЕРТНОГО ЗАЛА ВМЕСТИМОСТЬЮ $N=325$ МЕСТ

В соответствии с принятой методикой проектирование зала ведется в несколько этапов.

4.1. Определение базовых размеров зала

Оптимальный объем воздуха на одного зрителя принимается $V_T = 8 \text{ м}^3$.

Требуемый объем зала $V = V_T \cdot N = 2600 \text{ м}^3$.

Расчет основных размеров зала производится через модуль “золотого сечения” линейных размеров, который определяется по формуле (1)

$$X = \frac{\sqrt[3]{2600}}{4,94} = 2,78 \text{ м.}$$

Средние размеры зала могут быть назначены в соответствии с пропорцией 3:5:8 (высота 8 м, ширина 14 м, глубина 23 м).

4.2. Задача построения профиля размещения зрительских мест

Задача решается одним из двух предлагаемых вариантов: по отрезкам ломаной линии либо по кривой наименьшего подъема [7].

В первом приближении форму зала (по продольному разрезу) можно принять за правильный параллелепипед (рис. 41,слева), что в дальнейшем дает возможность вносить изменения отдельно для стен, потолка с целью выбора оптимального варианта (рис.41,справа).

Рекомендации, изложенные в [6], позволяют выбрать технологическое оборудование зрительного зала в соответствии с планировочными параметрами.

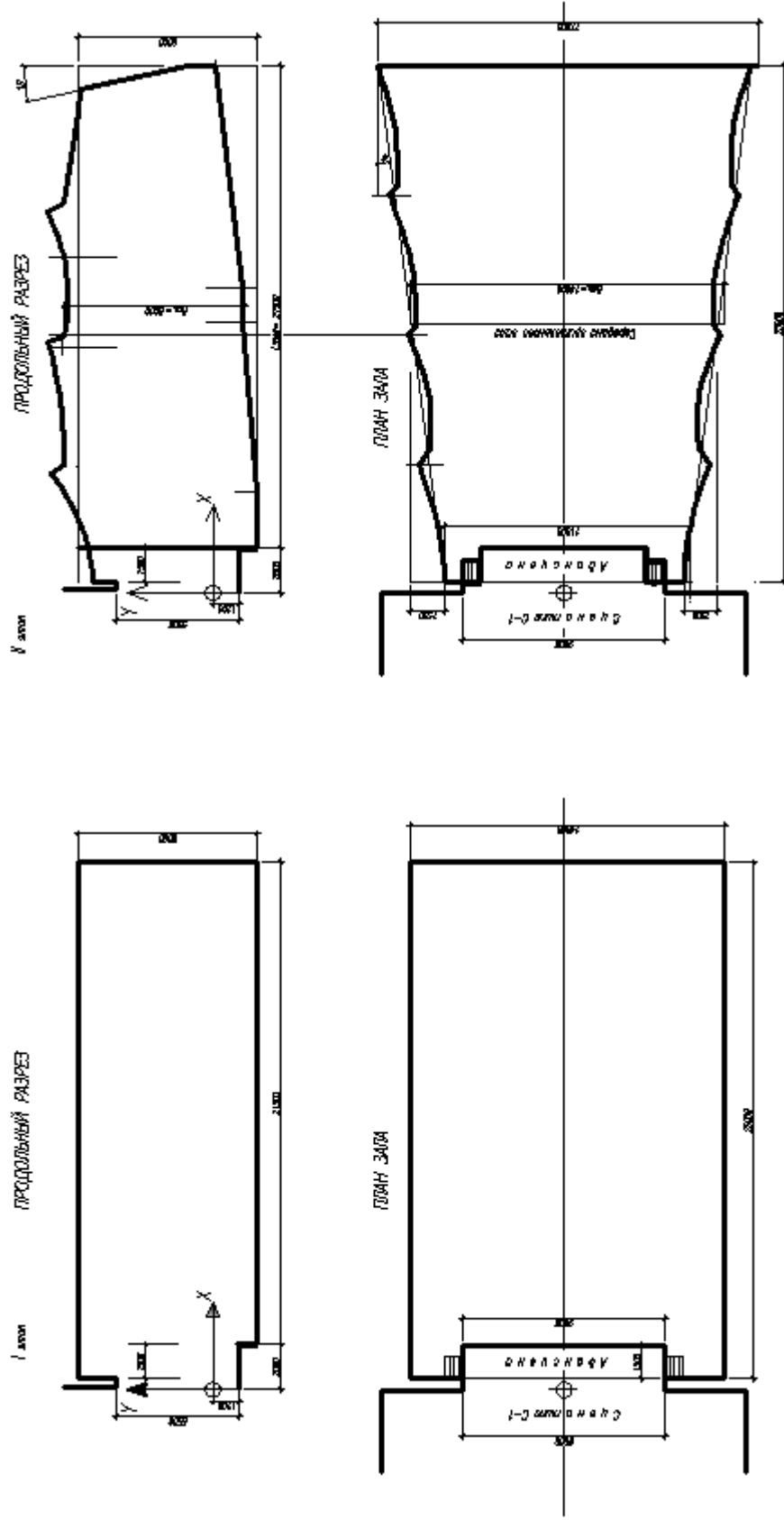


Рис. 41. Этапы проектирования зрительного зала:
 I – определение базовых размеров зала по формуле (1);
 II – уточнение размеров и формы поверхностей зала согласно п.4.2

Зал оборудуется сценой типа С-1 (согласно табл.4); расчетная точка (р.т.), видимая зрителями как первого, так и последнего рядов, находится в двух метрах от края стены на высоте 1,2 м. Эта точка будет одновременно служить началом координатной плоскости X-Y. Горизонт зрения сидящего в кресле зрителя – 1,2м.

Превышение луча зрения, направленного на расчетную точку наблюдения над уровнем глаз впереди сидящего зрителя следует принять $C = 0,14$ м, глубину ряда $d = 0,95$ м, расстояние до первого ряда зрительских мест от обреза сцены – 2,50 м.

Расчет подъема слушательских мест выполняем пошагово для каждого участка по одной схеме:

- участок 1 и его характеристики

$$x_0 = 4,5 \text{ м}; x_1 = 12,1 \text{ м}; y_0 = -0,8 \text{ м}; y_1 = (12,1/4,5)[0,14 \times 8 - 0,8] = 0,86 \text{ м}; \\ r_1 = (0,86 + 0,8) : 8 = 0,2 \text{ м};$$

- участок 2 и его характеристики

$$x_1 = 12,1 \text{ м}; x_2 = 13,6 \text{ м}; y_2 = 0,86 \text{ м}; y_3 = (13,6/12,1)[0,14 \times 1 + 0,86] = 1,12 \text{ м}; \\ r_2 = 0;$$

- участок 3 и его характеристики

$$x_3 = 13,6 \text{ м}; x_4 = 23,1 \text{ м}; y_3 = 1,12 \text{ м}; y_4 = (23,1/13,6)[0,14 \times 10 + 1,12] = 4,28 \text{ м}; \\ r_3 = (4,28 + 1,12) : 10 = 0,316 \text{ м};$$

Общая высота

$H_1 = (y_4 - y_3) + (y_3 - y_2) + (y_2 - y_1) + (y_1 - y_0) = y_4 - y_0 = 4,28 - (-0,8) = 5,08$ м согласуется с требованиями к зальным помещениям такого типа по фактической высоте между отметками пола последнего ряда и подвесной конструкции потолка зрительного зала (рис.41).

Форму и размеры ступеней в боковых проходах можно принять равными $r_1 = 200$ мм и $r_3 = 160$ мм при шаге рядов $d = 0,95$ м, что согласуется с [8].

Расчет мест в зрительном зале выполняют согласно [6], при этом предусматривается два эвакуационных прохода по 1,5 м шириной вдоль продольной оси зала. Ширину и глубину кресел назначают равными соответственно 0,65 и 0,5 м.

В целях улучшения акустических качеств зала можно отклонить продольные стены на 4° от параллельной линии [1]; задней торцовой стене придать наклон в сторону зала $\gamma_1 = 13^\circ$; боковые продольные стены решить в виде 3-х отражателей выпуклой формы (рис.42).

Таким образом, окончательно принимают: размеры зала у задней стены – 17,0 м; у портала 11,0 м; осредненная ширина – 14,0 м; средняя высота – 8,0 м; глубину зала – 23 м.

Количество непрерывно установленных кресел в рядах принимают по следующей схеме:

1 и 2 ряды – по 12 кресел; с 3 по 5 ряд – по 14 кресел; с 6 по 13 ряды – по 16 кресел; с 14 по 19 ряды – по 18 кресел; 20 ряд – 20 кресел.

Тогда общее их количество в зале $N = 322$ кресла.

При назначении средних размеров зала объем воздуха на одного зрителя составит

$$V_1 = (23 \times 14 \times 8) : 322 = 8,0 \text{ м}^3.$$

Назначенные размеры зала удовлетворяют требованиям [1, 2, 3], а разница фактического количества мест и по заданию на проектирование (+ 3 места) устраняется путем устройства приставных стульев к первым двум рядам.

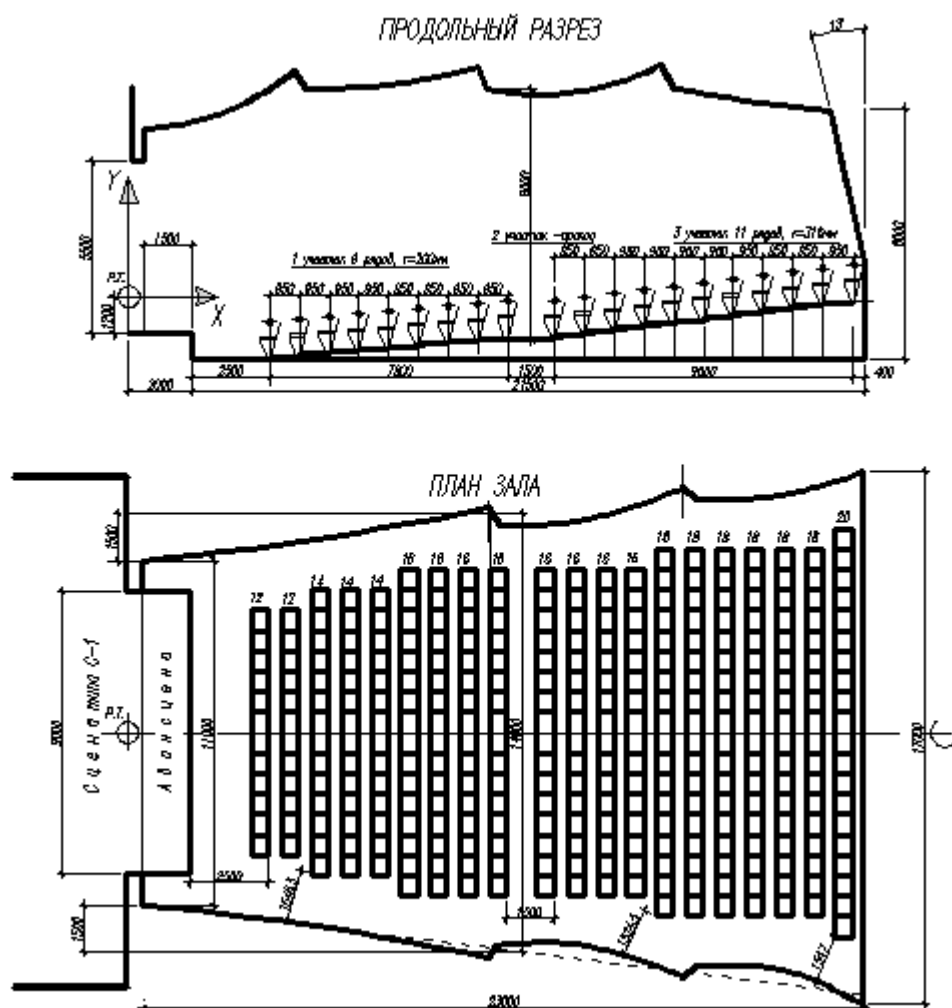


Рис. 42. Размещение технологического оборудования демонстрационного комплекса

4.3. Проверка допустимости применения геометрических отражений для построения лучевых эскизов

На III этапе проектирования необходимо уточнить формы и размеры отражающих поверхностей на потолке и стенах. Радиус кривизны покрытия отражателя над авансеной более чем в 8 раз превосходит принимаемую для расчета и графического построения длину звуковой волны $\lambda=1$ м; принятый размер короткой стороны $2a'=5,164$ м свидетельствует о корректности принятого проектного решения.

Исходные данные для проведения проверки (рис. 43): $R_0 = 6,64$ м; $R_0' = 16,2$ м; $\gamma_1 = 47^\circ$; $a' = 2,582$ м; $b' = 5,86$; $\lambda = 1$ м.

Расчетные значения u и w определяют по формулам (2) и (3):

$$u=2,582 \times 0,682 \times [2 \times (1/6,64 + 1/ 16,232)]^{0.5}=1.147;$$

$$w=5,86 \times [2 \times (1/6,64 + 1/ 16,232)]^{0.5}=3,82.$$

Отклонение уровня звукового давления геометрического отражения звукового импульса в т. М (центр выпуклого отражателя) рассчитывается по формуле (4):

$$\Delta L=4,4 \times [(1/1,147)+(1/3,82)]=4,98 \text{ дБ.}$$

Аналогично проверка выполняется для наклонного участка потолка торцевой стены в т. N:

$R_0 = 23,2$ м; $R_0' = 12,36$ м; $\gamma_2 = 4^\circ$; $a' = 2,534$ м; $b' = 8,5$ м.

$$u=2,534 \times 0,998 \times [2 \times (1/23,2 + 1/ 12,36)]^{0.5}=1.259;$$

$$w=8,5 \times [2 \times (1/23,2 + 1/ 12,36)]^{0.5}=4,23;$$

$$\Delta L=4,4 \times [(1/1,259)+(1/4,23)]=4,535 \text{ дБ.}$$

На рис. 44 показано построение лучевого эскиза для проверки формы и размеров отражателя близ портала сцены на боковых стенах. Выпуклый отражатель имеет незначительную кривизну (радиус кривизны более 67м), что позволяет направлять короткие отражения во вторую половину (далее 6 ряда) слушательских мест.

Исходные данные для проведения проверки (рис. 44): $R_0 = 8,632$ м; $R_0' = 12,249$ м; $\gamma_1 = 52^\circ$; $a' = 5,59$ м; $b' = 3,47$ м; $\lambda = 1$ м.

Расчетные значения u и w определяют по формулам (3) и (4):

$$u=5,59 \times 0,616 \times [2 \times (1/8,632 + 1/ 12,249)]^{0.5}=2,164;$$

$$w=3,47 \times [2 \times (1/8,632 + 1/ 12,249)]^{0.5}=2,18.$$

Отклонение уровня звукового давления геометрического отражения звукового импульса в т. О (центр выпуклого отражателя) рассчитывается по формуле (5):

$$\Delta L = 4,4 \times [(1/2,164) + (1/2,18)] = 4,05 \text{ дБ.}$$

Таким образом, для отражателей над сценой и наклонного участка торцевой стены (рис.43), а также отражателей на боковых стенах у портала (рис.44) величина снижения уровня звукового давления в отраженной волне ΔL не превышает 5 дБ, что свидетельствует о корректности применения методов геометрической теории акустики в оценке каждой поверхности с точки зрения отражательной способности.

4.4. Оценка структуры ранних отражений

Подвесная конструкция потолка и стен на отnose выполнена из набора выпуклых отражателей с большим радиусом кривизны, что способствует равномерному распределению ранних отражений в глубину зрительного зала на места, расположенные за пределами действия прямого звука $R_{пр} = 8$ м. В соответствии с требованиями (разд. 2) каждый элемент создает интенсивные первые отражения в секторах, которые перекрывают друг друга, не оставляя «мертвых зон».

Проверка времени прихода отраженных звуковых сигналов для проектируемого зала выполняется на основе графического анализа (рис.45,46):

– сектор отражений от выпуклой поверхности потолка над сценой с короткой стороной $2a' = 5,164$ м определяется отступом от краев на 0,5 м и последующим построением для зрительских мест между 7 и 20 рядами

$$\Delta t_7 = [(6,06 + 9,68) - 9,89] / 340 = 0,017 = 17 \text{ мс;}$$

$$\Delta t_{20} = [(6,89 + 20,04) - 23,18] / 340 = 0,011 = 11 \text{ мс;}$$

– сектор отражений от выпуклой поверхности припортальной стены с короткой стороной $2a' = 11,18$ м; определяется отступом от краев на 0,5 м и последующим построением для зрительских мест между 7 и 20 рядами

$$\Delta t_7 = [(7,46 + 8,68) - 9,89] / 340 = 0,018 = 18 \text{ мс;}$$

$$\Delta t_{20} = [(9,22 + 17,06) - 23,18] / 340 = 0,009 = 9 \text{ мс.}$$

Для оперных театральных залов рекомендуемое время запаздывания должно быть менее $\Delta t = 30 \dots 35$ мс. Полученные результаты указывают на существование плотной структуры коротких интенсивных отражения.

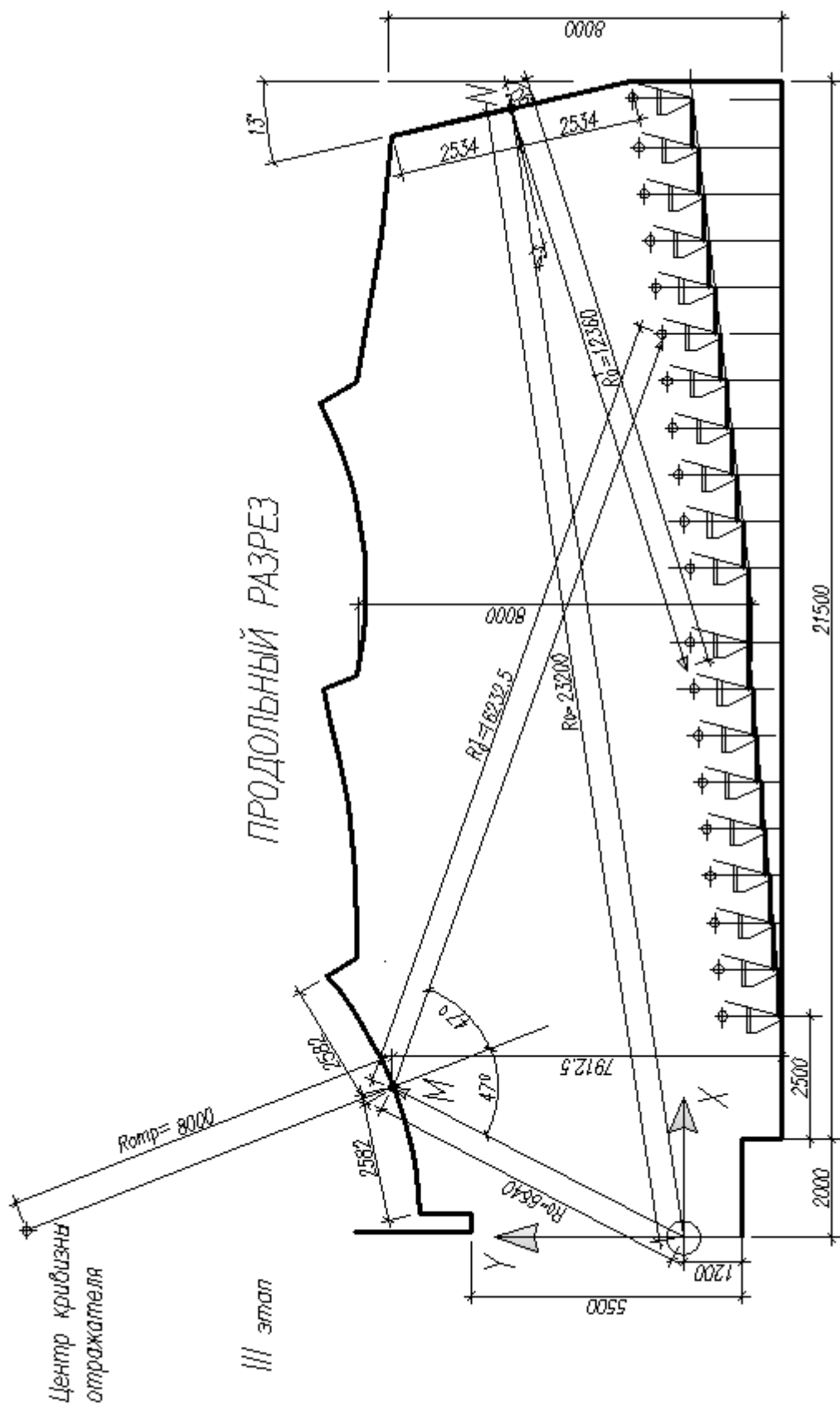


Рис. 43. Этапы проектирования зрительного зала:
 III – построение лучевого эскиза от выпуклого отражателя над авансценой и плоской наклонной поверхности торцовой стены зала согласно п.4.3

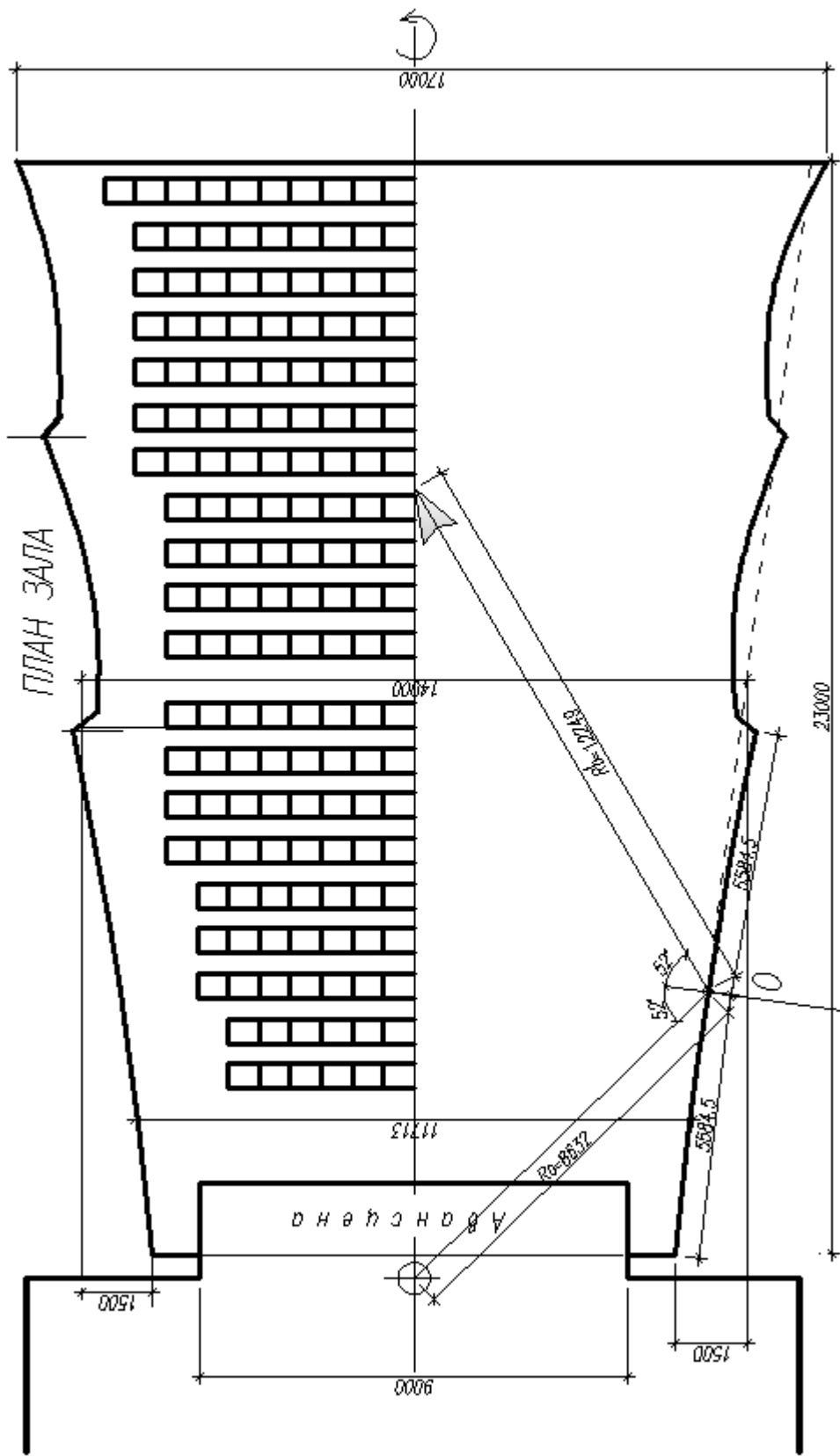


Рис. 44. Этапы проектирования зрительного зала:
 III – построение лучевого эскиза от выпуклого отражателя в передней части зала у портала сцены согласно п.4.3

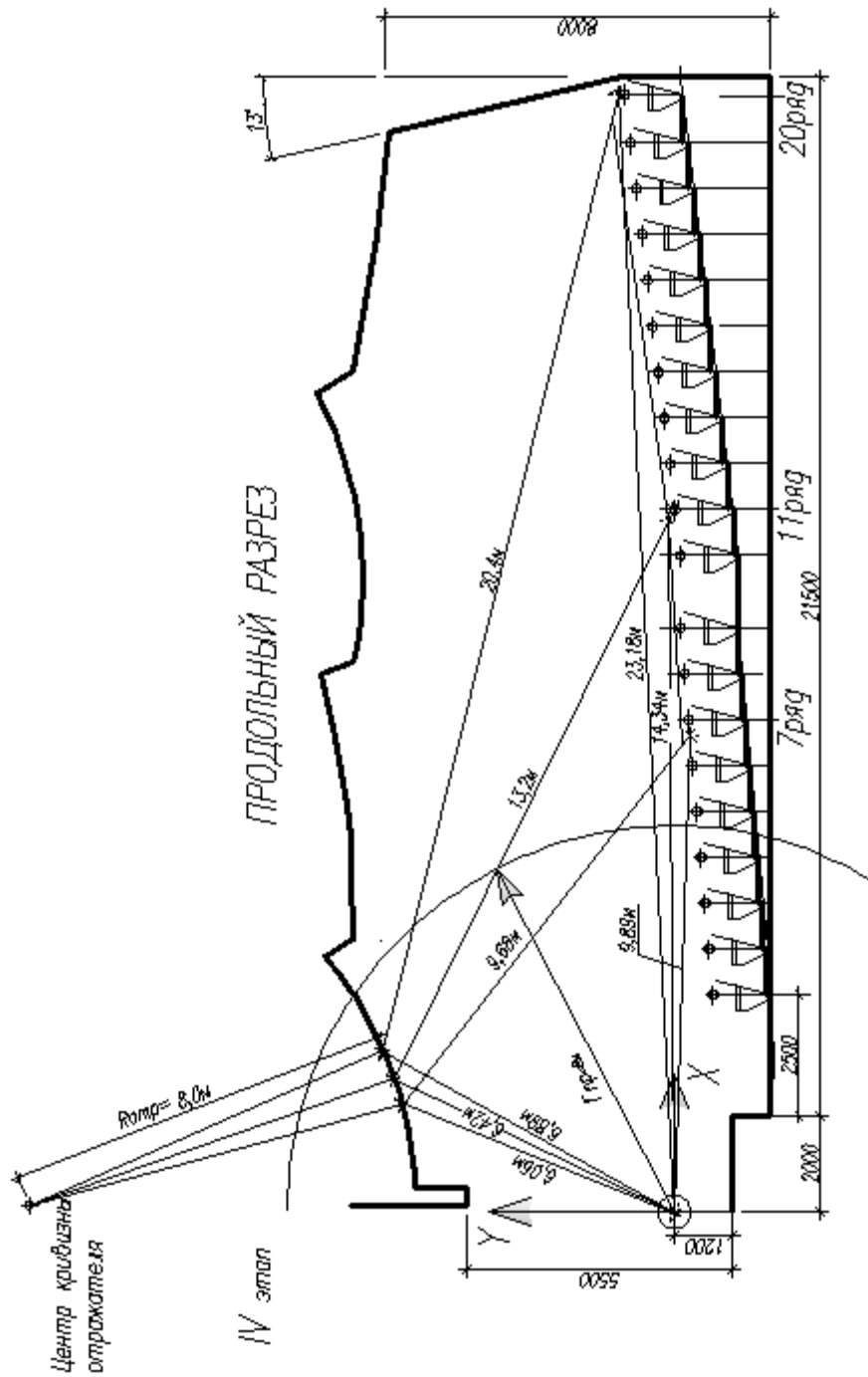


Рис. 45. Этапы проектирования зрительного зала:
 IV – построение структуры ранних отражений от выпуклой поверхности, размещенной в передней части зала у портала сцены

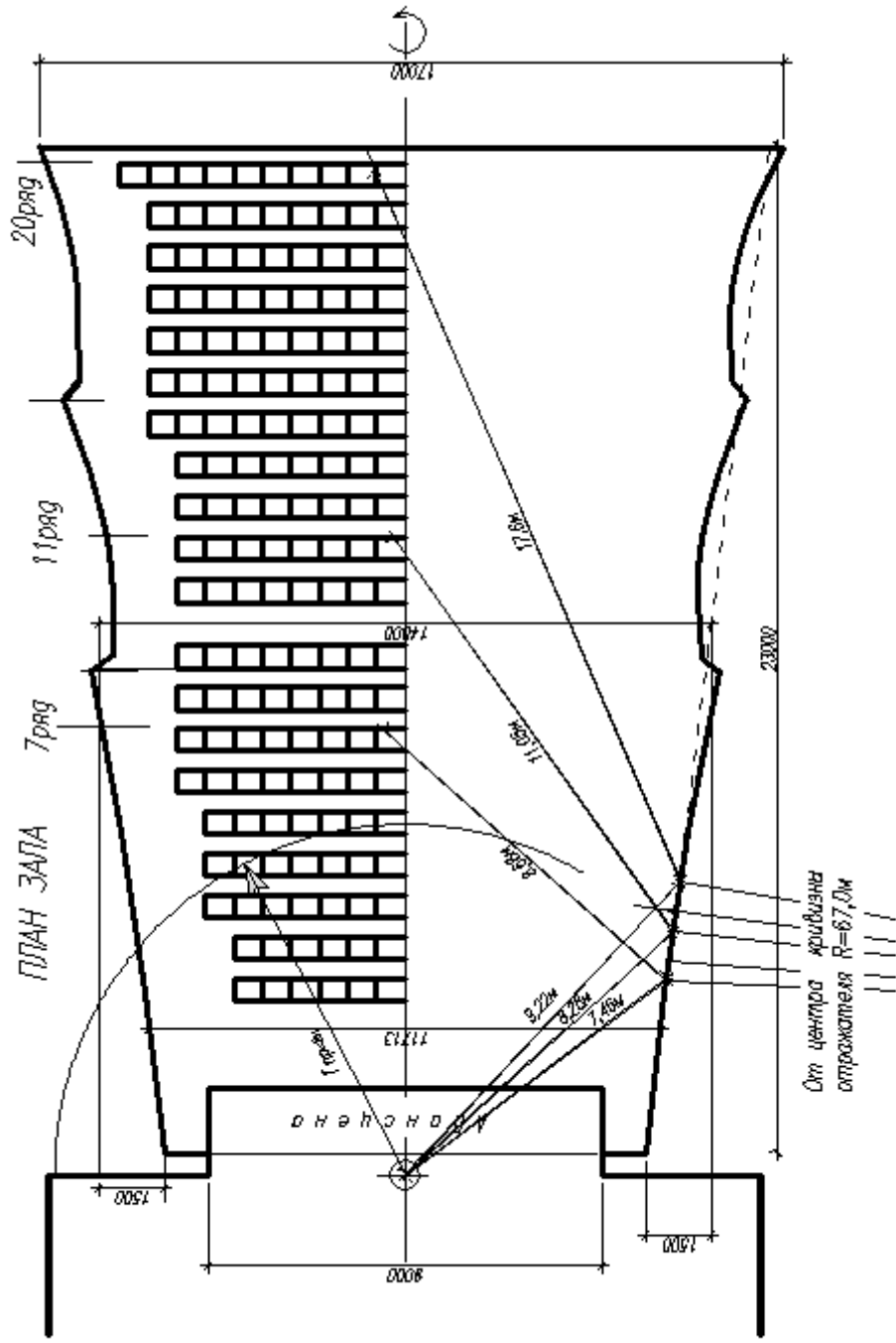


Рис. 46. Этапы проектирования зрительного зала:
IV – построение структуры ранних отражений от выпуклой поверхности, размещенной на стене у портала сцены

4.5. Подсчет площадей внутренних поверхностей зала

В решении интерьера помещения концертного зала приняты отделочные материалы, звукопоглощающие свойства которых влияют на акустическую среду. Пластика поверхностей потолка и стен позволяет создавать в зрительном зале, особенно в удаленной половине, достаточно плотную структуру ранних отражений. Потолок представляет собой 4 отражателя выпуклой формы с радиусом кривизны $R=8,0$ м. Для исключения образования театрального эха задняя стена отклонена от вертикали на угол 13° . Поверхности стен включают 3 выпуклых отражателя большой кривизны $R>65$ м. Наименование каждой отражательной поверхности с соответствующими коэффициентами звукопоглощения и площадями вносится в соответствующие графы табл. 8:

- а) площадь задней стены – $92,6 \text{ м}^2$;
- б) площадь боковых стен – $364,3 \text{ м}^2$;
- в) площадь поверхности потолка – 320 м^2 ;
- г) площадь пола, не занятого креслами, – $81,3 \text{ м}^2$;
- д) площадь открытого проема сцены – $49,5 \text{ м}^2$.

Для включения в расчет неудобных с точки зрения геометрии, но важных для акустики зала элементов интерьера (люстры, плафоны на гибких связях, решеток систем отопления и вентиляции и др.) в таблицу вводятся отдельной строкой условия (в рассматриваемом примере они сильно выражены), определяющие добавочное звукопоглощение с соответствующими коэффициентами по каждой расчетной частоте и площадью, соответствующей сумме площадей поименованных выше поверхностей с увеличением примерно на 20...30% [10].

4.6 Расчет времени реверберации

После завершения проведения проверок допустимости применения геометрических отражений, временной оценки ранних отражений производится расчет реверберационного процесса. Рекомендуемое время реверберации для концертного зала объемом 2576 м^3 составляет на частотах 500–1000 Гц $T_{рек} = 1,25$ с (рис.40); на частоте 125 Гц допускается увеличение времени реверберации на 40% [8] и принимается $T_p = 1,75$ с; на частоте 250 Гц – соответственно на 20%, что составит $T_p = 1,5$ с. На частотах 1000, 2000, 4000 Гц время реверберации уменьшается на 10% в сравнении с частотой 500 Гц. Поэтому расчетные значения составят $T_p = 1,125$ с.

Таблица 8

№ п/п	Наименование поверхностей	S, м ²	125 Гц		250 Гц		500 Гц		1000 Гц		2000 Гц		4000 Гц	
			α	α×S	α	α×S	α	α×S	α	α×S	α	α×S	α	α×S
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Подвесной потолок (штукатурка)	320,0	0,04	12,8	0,05	16,0	0,06	19,2	0,08	25,6	0,04	12,8	0,06	19,2
2	Стены оштукатурены	364,3	0,01	3,7	0,01	3,7	0,02	7,3	0,02	7,3	0,02	7,3	0,02	7,3
3	Стены «Мелодия»	92,6	0,25	23,2	0,50	46,3	0,60	55,56	0,45	41,67	0,3	27,78	0,30	27,78
4	Пол паркетный	81,3	0,04	3,25	0,04	3,25	0,07	5,7	0,06	4,88	0,06	4,88	0,07	5,69
5	Проем сцены	49,5	0,2	9,9	0,30	14,9	0,30	14,9	0,3	14,9	0,3	14,9	0,30	14,9
6	Добавочное звукопоглощение	1134	0,09	102,06	0,06	68,04	0,05	56,7	0,05	56,7	0,05	56,7	0,04	45,36
7	Зрители в полумягких креслах, (70%)	228,0	0,25	57,0	0,3	68,4	0,4	91,2	0,45	102,6	0,45	102,6	0,4	91,2
8	Свободные полумягкие кресла (30%)	97,0	0,08	7,76	0,1	9,7	0,15	14,55	0,15	14,55	0,2	19,4	0,2	19,4
	A _{общ} (70%)			219,67		230,29		265,11		268,2		241,51		230,83
9	Зрители в полумягких креслах (50%/пустые (50%))	163/ 162	0,25/ 0,08	40,8	0,3/ 0,1	48,9	0,4/ 0,15	65,2/ 24,45	0,45/ 0,15	73,35	0,45/ 0,15	73,35	0,4/ 0,2	65,2
	A _{общ} (50%)							249,01						
10	Зрители в полумягких креслах (100%)	325	0,25	81,25	0,3	97,5	0,4	130	0,45	146,25	0,45	146,25	0,4	130
11	A _{общ} (100%)							289,36						

Определение времени реверберации на расчетных частотах производится по формулам 6, 7, 8 и сводится в табл. 9:

Т а б л и ц а 9

Частота, Гц	ЭПЗ $A_{\text{общ}}$, м ²	Значение $\alpha_{\text{ср}}$	Значение $\varphi(\alpha_{\text{ср}})$	$T_{\text{расч}}$, с / $T_{\text{рек}}$
125	199,31	0,2196	0,248	1,71/1,75
250	216,75	0,2388	0,273	1,63/1,5
500	253,81	0,2796	0,328	1,39/1,25
1000	259,9	0,2863	0,337	1,37/1,125
2000	253,06	0,2788	0,327	1,42/1,125
4000	221,77	0,2443	0,2801	1,33/1,125

Из сравнения расчетного и рекомендуемого времени реверберации следует, что эквивалентная площадь звукопоглощения зала должна быть скорректирована в сторону большего звукопоглощения в частотной области 1000...4000 Гц приблизительно на 10% (1,27 с; 1,29 с; 1,22 с).

Для анализа полученных данных строится график в координатах «частота – время реверберации», на котором выделенная заливкой область – допустимые отклонения расчетных значений от рекомендуемых нормами [2] времени реверберации при 70% заполнении зрительного зала.

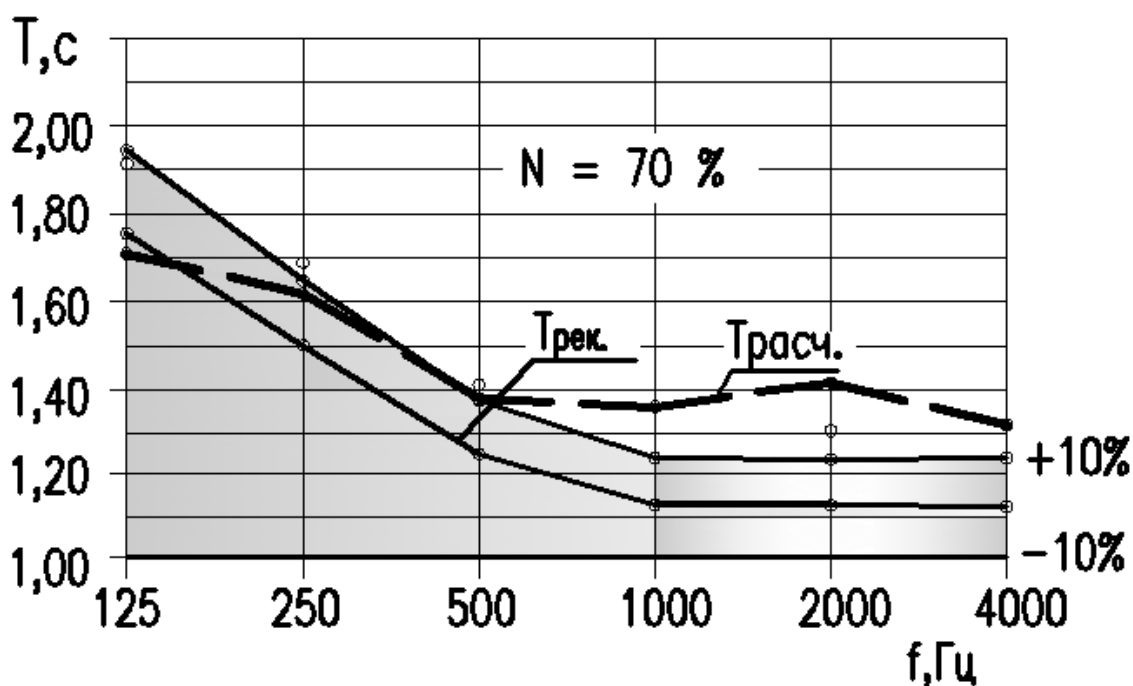


Рис. 47. График зависимости времени реверберации от частоты

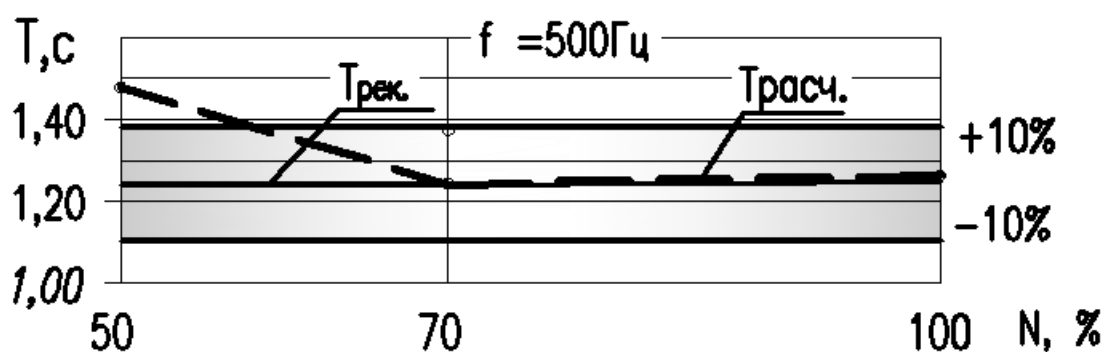


Рис. 48. График зависимости времени реверберации от заполнения зала слушателями

Для исправления необходимо внести изменения в п.3 табл.7: вместо акустических плит «Мелодия» принимается обивка задней стены слоем пористого звукопоглотителя толщиной не менее 100мм, покрытая сверху стеклотканью и деревянными рейками (п.50 прил.1). В соответствии с этим вносятся изменения величин эквивалентной площади звукопоглощения (графы 7, 9, 11, 13, 15 табл.10).

Таблица 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	п.50 прил. 1	92,6	0,4	37,04	0,7	64,82	0,8	74,08	0,8	74,08	0,75	69,45	0,65	60,19
	$A_{\text{общ}}, \text{м}^2$, при 70 % заполне- нии			233,5		248,81		283,63		300,61		283,18		263,24
	$A_{\text{общ}}, \text{м}^2$, при 50 % заполне- нии							267,053						
	$A_{\text{общ}}, \text{м}^2$, при 100 % заполне- нии							307,88						

Скорректированные результаты расчета времени реверберации при 70% заполнении зрительного зала приведены в табл. 11.

Таблица 11

Частота, Гц	ЭПЗ $A_{\text{общ}}, \text{м}^2$	Значение $\alpha_{\text{ср}}$	Значение $\varphi(\alpha_{\text{ср}})$	$T_{\text{расч}}, \text{с} / T_{\text{рек}}$
125	233,5	0,206	0,231	1,61/1,75
250	248,81	0,219	0,247	1,5/1,5
500	283,63	0,250	0,288	1,28/1,25
1000	300,61	0,265	0,308	1,20/1,125
2000	283,18	0,2497	0,287	1,203/1,125
4000	263,24	0,232	0,274	1,14/1,125

Аналогичные расчеты проведены при 50% и 100% заполнении на частоте 500 Гц, которые составляют соответственно $T^{50}=1,38$ с и $T^{100}=1,17$ с. Таким образом, результаты сравнения расчетных и нормативных значений времени реверберации указывают на правильный выбор формы зала, материалов отделки интерьера и технологического оборудования сцены и зрительного зала.

4.7. Проверка разборчивости речи

На слышимость речи и музыки большое влияние оказывает начальная часть реверберационного процесса или полезной составляющей звукового воздействия на слушателя. Она включает энергию прямого звука и начальный этап приблизительно в 20 мс прихода первых отражений. Поздняя часть остаточного звучания представляет реверберирующий отклик помещения, который является бесполезным, слабым по мощности, оказывающим маскирующий эффект на прямой звук. Это явление наблюдается на слушательских местах, расположенных в глубине зрительного зала.

Если это соотношение энергии назвать коэффициентом разборчивости речи [8], то расчетная формула для определения звуковой разборчивости может быть представлена в следующем виде:

$$K_p = (E_n + E_{50})/E_c,$$

где E_n – плотность энергии прямого звука $E_n = P/(4\pi \cdot C \cdot r_0^2)$;

E_{50} – плотность отраженной звуковой энергии от поверхностей потолка и стен, поступившей в расчетную точку в первые 20 мс:

$$E_{50} = \frac{P(1 - \alpha_n)}{4\pi C} \left[\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} + \dots + \frac{1}{r_n^2} \right];$$

E_c – суммарная плотность звуковой энергии в расчетной точке
 $E_c = 4P(1 - \alpha_{cp})/\alpha_{cp} \cdot S \cdot C$.

Тогда значение коэффициента разборчивости речи может быть определено по формуле

$$K_p = \frac{A_{\text{общ}}}{16\pi(1 - \alpha_{cp})^2} \left[\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} + \dots + \frac{1}{r_n^2} \right],$$

где α_n – коэффициент звукопоглощения n -й поверхности (отражателей) на потолке и стенах;
 α_{cp} – средний коэффициент звукопоглощения помещения;
 $A_{\text{общ}}$ – эквивалентная площадь звукопоглощения $A_{\text{общ}} = \alpha_{cp} S_{\text{общ}}$;
 r_0 – расстояние между источником звука и рассматриваемой точкой;

r_1, r_2, r_3, r_n – длина пути пробега первых отражений от источника звука до расчетной точки, пришедших в первые 20 мс;
 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots \alpha_n$ – коэффициенты звукопоглощения поверхностей, от которых пришли первые полезные отражения.

Расчет коэффициента разборчивости речи производится в трех расчетных точках по глубине зрительного зала в направлении центральной продольной оси на частоте 500 Гц при 70 % заполнения его слушателями (рис. 49 и 50).

Коэффициент разборчивости речи в точке №1, расположенной в 7 ряду, определяется следующим выражением:

$$K_p = [283,63/16 \times 3,14 \times (1-0,25)^2] \times [1/9,89^2 + (1-0,06)/15,74^2 + (1-0,8)/36,72^2 + 2 \times (1-0,02)/16,14^2] = 0,22.$$

Коэффициент разборчивости речи в точке №2, расположенной в 11 ряду, определяется следующим выражением:

$$K_p = [283,63/16 \times 3,14 \times (1-0,25)^2] \times [1/14,34^2 + (1-0,06)/19,68^2 + (1-0,06)/19,62^2 + 2 \times (1-0,02)/19,33^2 + (1-0,8)/32,36^2] = 0,15.$$

Коэффициент разборчивости речи в точке №3, расположенной в 20 ряду, определяется следующим выражением:

$$K_p = [283,63/16 \times 3,14 \times (1-0,25)^2] \times [1/23,18^2 + (1-0,06)/26,73^2 + (1-0,8)/23,84^2 + (1-0,06) \times 25,99^2 + 2 \times (1-0,02)/27,29^2 + 2 \times (1-0,02)/26,6^2] = 0,104.$$

Минимальной величиной коэффициента разборчивости речи считается $K_p = 0,20$, что соответствует 80 % звуковой артикуляции.

Вывод по расчету

1. Предложенный вариант архитектурного решения подвесной конструкции потолка и стен обеспечивает удовлетворительную звуковую артикуляцию для первой половины слушательских мест.

2. Как видно из геометрии построения отражений на плане (рис.50), необходима дополнительная разрезка стен на отдельные выпуклые сегменты, которые позволили бы создать более плотную структуру ранних отражений для второй половины зального помещения.

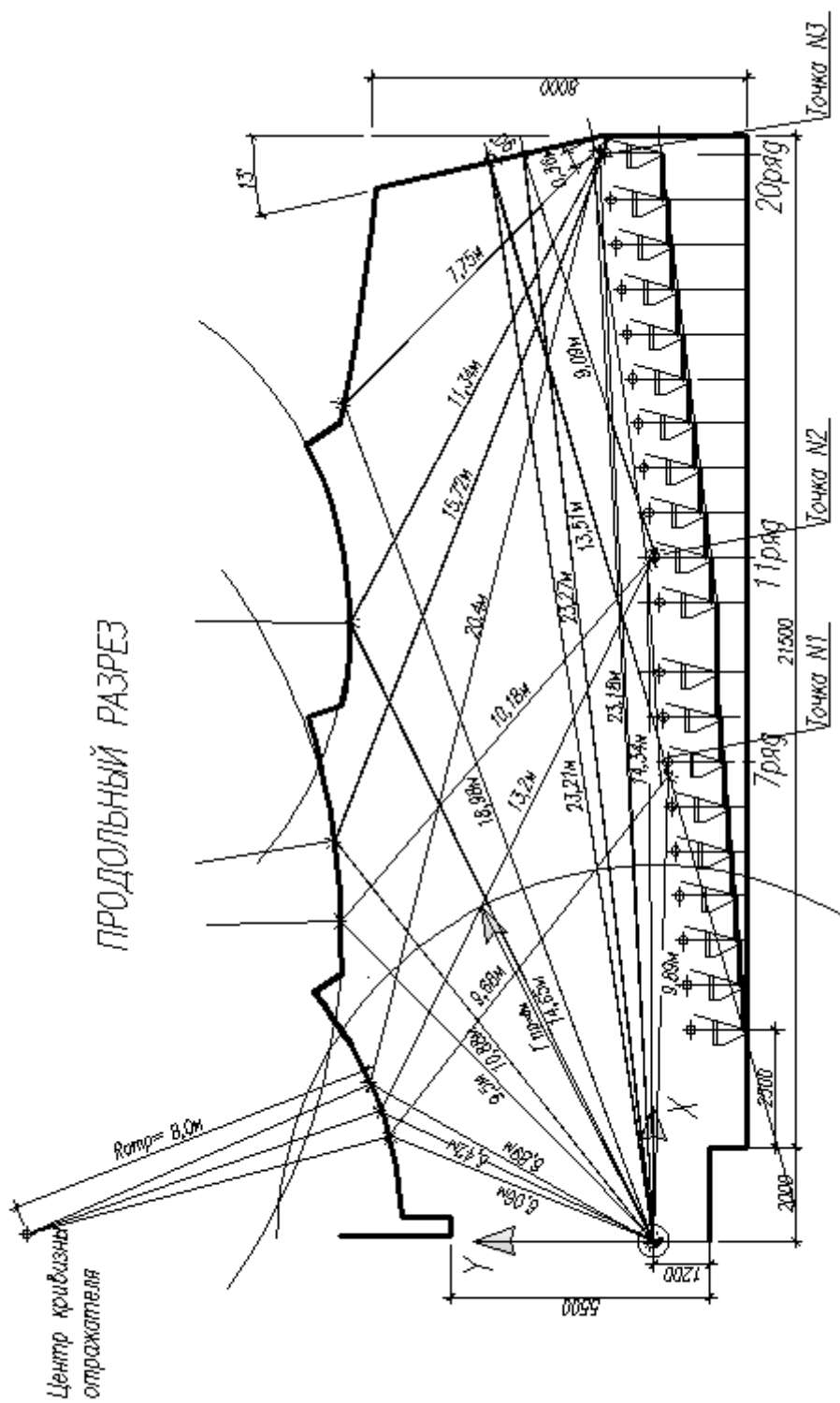


Рис. 49. Построение отражений от выпуклых поверхностей потолка и плоскости задней стены зрительного зала для определения истинных длин пробега падающих и отраженных лучей в каждую из точек расчета коэффициента разборчивости речи

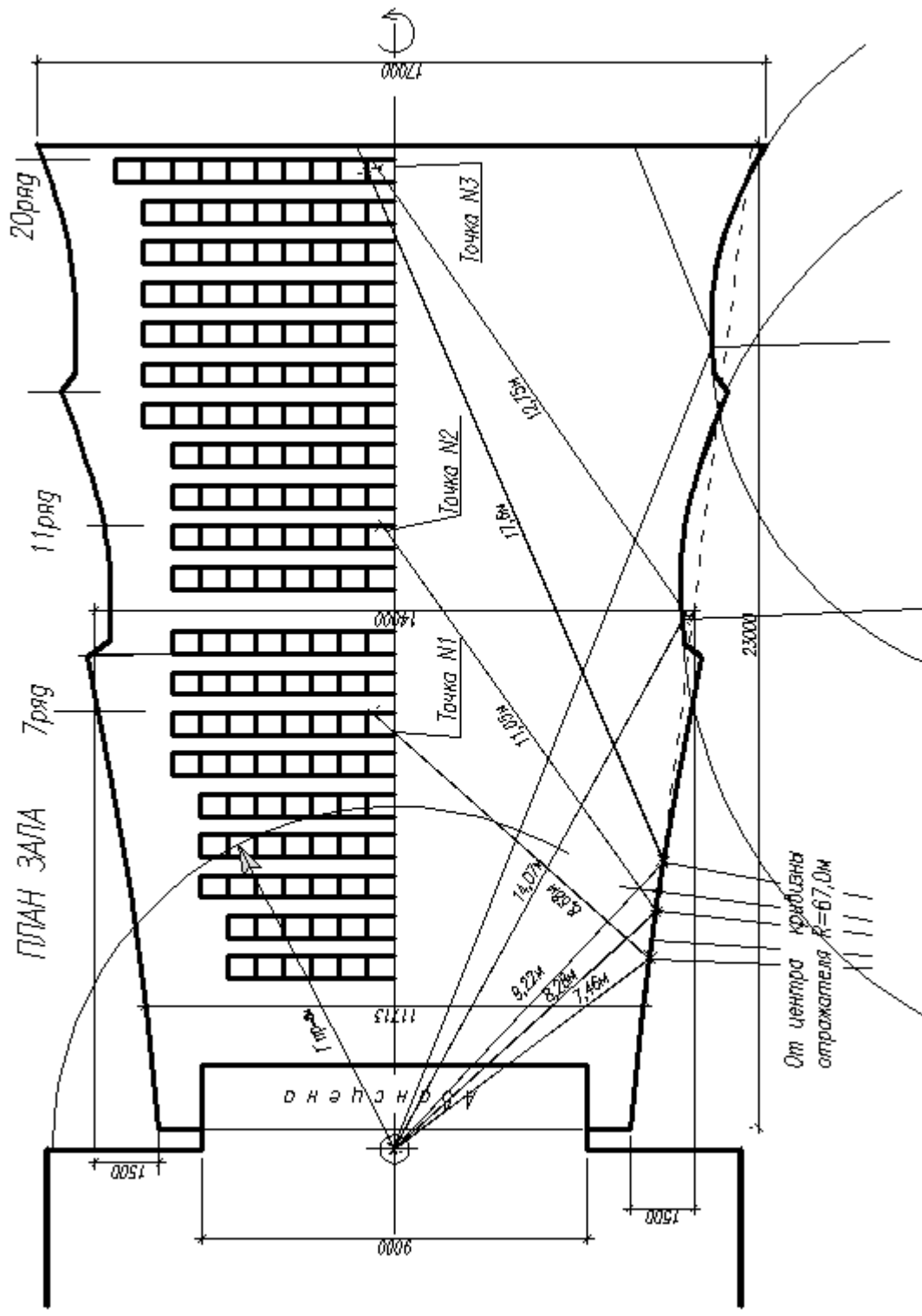


Рис. 50. Построение отражений от выпуклых поверхностей боковых стен зрительного зала для определения истинных длин пробега падающих и отраженных лучей в каждую из точек расчета коэффициента разборчивости речи

5. ПРИМЕР РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ЭВАКУАЦИИ ИЗ ЗРИТЕЛЬНОГО ЗАЛА КЛУБА ВМЕСТИМОСТЬЮ $N=300$ МЕСТ

На основании методики (разд. 1) расчет времени эвакуации проводится в несколько этапов.

5.1. Определение базовых параметров зрительного зала и здания

Здание второй степени огнестойкости, объем зала 1000 м^3 . План зала и фойе-вестибюля представлены на рис.51. В зале $m=15$ рядов, в ряду $n=20$ мест, расстояние между спинками кресел в рядах зрительских мест – $0,9 \text{ м}$. Размеры кресел $0,4 \times 0,5$. Главный собирающий проход имеет ширину $1,5 \text{ м}$, проход перед сценой – $1,5 \text{ м}$. Все дверные проёмы ведущие из зала, имеют ширину $1,4 \text{ м}$. Дверные проёмы, ведущие из фойе-вестибюля наружу – $1,8 \text{ м}$.

5.2. Выбор схемы эвакуации из зрительного зала

Задача решается делением зрительных мест на блоки, в соответствии с тремя основными схемами (рис. 27). Намечаются пути эвакуации зрителей из блоков. Схема эвакуации зрителей из зала с указанием отдельных участков пути дана на рис.51. Зал разделён на два 2 блока, в одном из которых $0,4m=6$ рядов, примыкающих к задней стене зала, в другом – $0,6m=9$ рядов, примыкающих к сцене.

Эвакуация из блока 1 производится в один этап: по участку 1 – по проходу между рядами кресел, участку 2 – главному собирающему проходу, участку 3 – дверному проёму в задней стене зала, участку 4 – тамбуру и участку 5 – дверному проёму, ведущему наружу здания.

Эвакуация из блока 2 производится в два этапа:

1 этап – эвакуация из зрительского зала в фойе-вестибюль или на улицу.

2 этап – эвакуация из фойе-вестибюля на улицу.

Рассматривается 1 этап. Эвакуация начинается с участка 1 – прохода между рядами кресел, участка 2 – главного собирающего прохода до т.А. В точке А возможно разделение потока: часть потока может пойти через дверной проём, ведущий в фойе-вестибюль, другая – через проход вдоль сцены к двери наружу здания. Определим величину каждой части потока, пользуясь графиком на рис.28. Расстояние до ближайшей двери $l_1=1,0 \text{ м}$, до двери, ведущей наружу, – $l_2=10 \text{ м}$; $l_1/l_2=0,1$. При отношении l_1/l_2 все 100% людей второго блока N_2 пойдут через дверь, ведущую в фойе-вестибюль (участок 3).

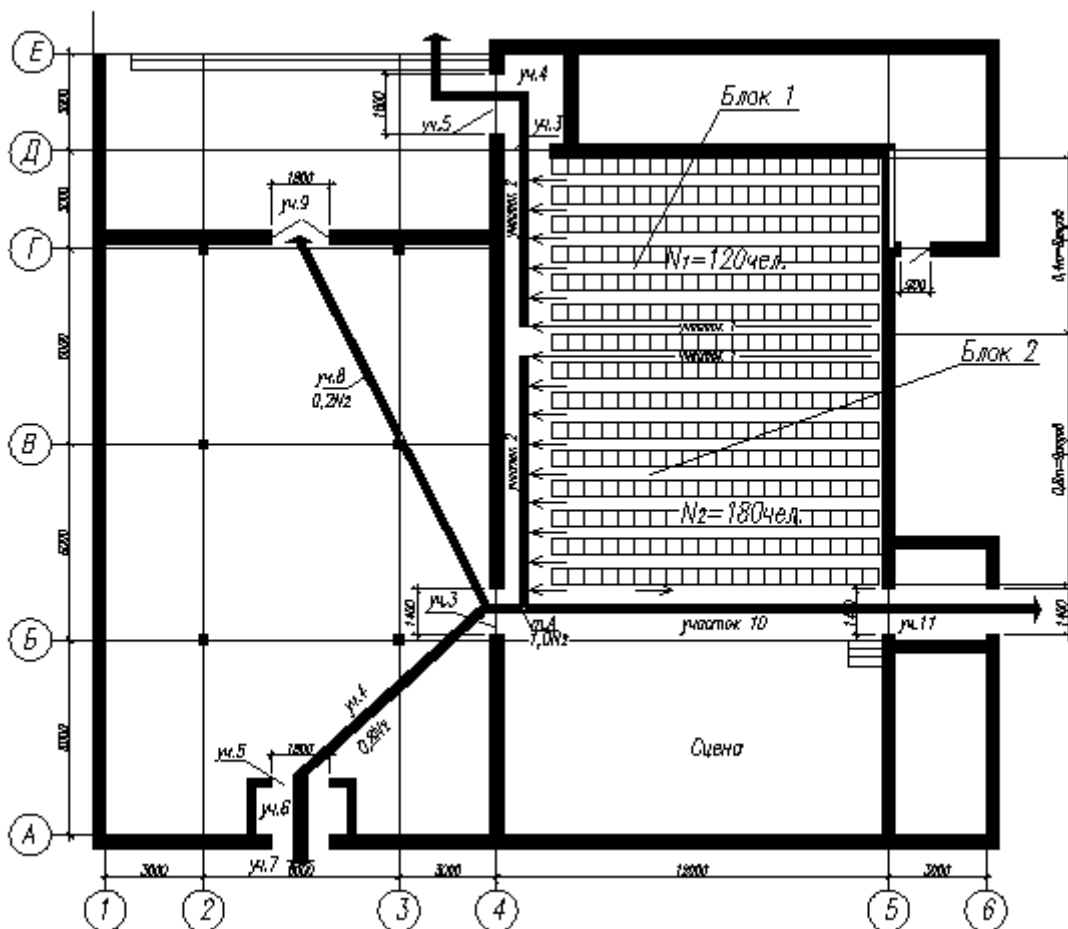


Рис. 51. План здание и схема эвакуации из зрительного зала

Рассматривается 2 этап. После выхода из проёма (участок 3) в фойе-вестибюль вновь возможно деление потока на две части, ведущие к разным эвакуационным выходам по участку 4 и по участку 8. Длина участка 4 составляет $l_1=8,0\text{ м}$, а длина участка 8 соответственно $l_2=12,6\text{ м}$; $l_1/l_2=0,635$, по графику на рис.28 находим, что по кратчайшему участку 4 пойдёт $0,8N_2$, что составляет 144 чел., а по участку 8 – $0,2N_2$, что составляет 36 чел.

Большая часть потока после участка 4 попадает в дверной проём – участок 5, тамбур – участок 6 и дверной проём, ведущий наружу, – участок 6.

Меньшая часть потока из фойе-вестибюля (участок 8) попадает в участок 9 – дверной проём, ведущий на улицу.

Расчётное время эвакуации из зала и из здания в целом определяется для каждого блока. С необходимым временем эвакуации $t_{нб}$ сравнивается максимальное из полученных t_p .

Подготовка расчетных значений производится в следующей последовательности.

Шаг 1. С плана находятся значения длины l_i и ширины δ_i каждого участка по схеме эвакуации.

Для 1-го блока: $l_1=10,0$ м, $\delta_1=0,5$ м; $l_2=5,4$ м, $\delta_2=1,5$ м; $l_3=0$ м, $\delta_3=1,4$ м; $l_4=1,5$ м, $\delta_4=1,5$ м; $l_5=0$ м, $\delta_5=1,4$ м.

Для 2-го блока: $l_1=10,0$ м, $\delta_1=0,5$ м; $l_2=9,5$ м, $\delta_2=1,5$ м; $l_3=0$ м, $\delta_3=1,4$ м; $l_4=8,0$ м, $\delta_4=11,5$ м; $l_5=0$ м, $\delta_5=1,8$ м; $l_6=2,0$ м, $\delta_6=3,0$ м; $l_7=0$ м, $\delta_7=1,8$ м; $l_8=12,6$ м, $\delta_8=11,5$ м; $l_9=0$ м, $\delta_9=1,8$ м.

Шаг 2. Определяем время эвакуации t_p из первого блока. При ширине кресла 0,5 м плотность потоков на участках их формирования будет равна

$$D_1=(1 \times 0,1)/(0,5 \times 0,5)=0,4 \text{ м}^2/\text{м}^2.$$

По таблице прил. 3 определяется интенсивность движения $q_1=16$ м/мин. Время движения по участку 1 равно:

$$t_1 = \frac{l_1}{V_1} = \frac{10,0}{40} = 0,25 \text{ мин.}$$

По формуле (2) определяем интенсивность потока на участке 2, учитывая, что на нём сливаются 6 элементарных потоков из рядов мест.

$$q_2 = \frac{6 \cdot q_1 \cdot \delta_1}{\delta_2} = \frac{6 \cdot 16 \cdot 0,5}{1,5} = 32 \text{ м/мин;}$$

$$q_2 > q_{\max} = 16,5 \text{ м/мин.}$$

Это неравенство свидетельствует о возникновении в собирающем проходе максимальной плотности.

$$D_2 \geq 0,9 \text{ м}^2/\text{м}^2.$$

По таблице прил. 3 определяются параметры движения при $D_2 \geq 0,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $V_2=15$ м/мин, $q_2=13,5$ м/мин

$$t_2 = \frac{l_2}{V_2} = \frac{5,4}{15} = 0,36 \text{ м/мин.}$$

Определяется интенсивность движения в дверном проёме на участке 3:

$$q_3 = \frac{q_2 \cdot \delta_2}{\delta_3} = \frac{13,5 \cdot 1,5}{1,4} = 14,5, \text{ м/мин;}$$

$q_3 < q_{\max} = 19,6$, м/мин. Задержки в проёме нет, $t_3=0$.

Рассчитываются параметры движения на участке 4:

$$q_4 = \frac{q_3 \cdot \delta_3}{\delta_4} = \frac{14,5 \cdot 1,4}{1,5} = 13,5 \text{ м/мин; } q_4 < q_{\max} = 16,5 \text{ м/мин.}$$

Скопления людей в тамбуре нет. По таблице прил. 3 значение скорости движения составит $V_4=53,5$ м/мин, а плотность и время движения

$$D_4=0,25 \text{ м}^2/\text{м}^2 \quad t_4 = \frac{l_4}{V_4} = \frac{1,5}{53} = 0,03 \text{ мин}$$

В проёме на участке 5:

$$q_5 = \frac{q_4 \cdot \delta_4}{\delta_5} = \frac{13,5 \cdot 1,5}{1,4} = 14,5 \text{ м/мин}; \quad q_5 < q_{\max} = 19,6 \text{ м/мин.}$$

Задержки в проёме нет, $t_5=0$.

Расчётное время эвакуации из зала для блока 1 равно:

$$t_p^3 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 = 0,25 + 0,36 + 0 + 0,03 + 0 = 0,64 \text{ мин.}$$

Шаг 3. Определяем время эвакуации t_p^3 для второго блока.

Первый этап эвакуации.

Плотность на участке 1 $D_1 \geq 0,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Тогда по таблице прил. 3 или графикам прил. 4 такому значению плотности движения соответствует скорость $V_1=10$ м/мин и интенсивность $q_1=19,6$ м/мин. Время движения по участку 1 равно:

$$t_1 = \frac{l_1}{V_1} = \frac{10,0}{40} = 0,25 \text{ мин.}$$

По формуле (2) интенсивность потока на участке 2 определяется с учетом сливания 9 элементарных потоков:

$$q_2 = \frac{9 \cdot q_1 \cdot \delta_1}{\delta_2} = \frac{9 \cdot 16 \cdot 0,5}{1,5} = 48 \text{ м/мин}; \quad q_2 > q_{\max} = 16,5 \text{ м/мин.}$$

Сравнение расчетной интенсивности движения с максимально возможным значением для горизонтального участка свидетельствует о возникновении в собирательном проходе максимальной плотности $D_2 \geq 0,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$. По таблице прил. 3 находятся параметры движения $q_2=13,5$ м/мин и $V_2=15$ м/мин. Время движения на участке 2 равно:

$$t_2 = \frac{l_2}{V_2} = \frac{9,5}{15} = 0,63 \text{ м/мин.}$$

Интенсивность потока на участке 3, в проёме:

$$q_3 = \frac{q_2 \cdot \delta_2}{\delta_3} = \frac{13,5 \cdot 1,5}{1,4} = 14,5 \text{ м/мин}; \quad q_3 < q_{\max} = 19,6 \text{ м/мин.}$$

Задержки в проёме нет. Время движения потока через проём $t_3=0$.

Расчётное время эвакуации из зала t_p^3 равно:

$$t_p^3 = t_1 + t_2 + t_3 = 0,25 + 0,63 + 0 = 0,88 \text{ мин.}$$

Первый этап эвакуации завершился за 0,88 мин.

Второй этап эвакуации.

Поток выходит в фойе-вестибюль. Расчёт ведется по двум направлениям движения с плотностью разуплотнения $D_4 = D_в = 0,15 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $V_4 = V_в = 70 \text{ м/мин}$, $q_4 = q_в = 10 \text{ м/мин}$. Ширина потока, идущего через фойе-вестибюль, с плотностью разуплотнения равна:

$$\delta_4 = \frac{q_3 \cdot \delta_3}{q_4} = \frac{14,5 \cdot 1,4}{10} = 2,0 \text{ м.}$$

Такую ширину 2,0 м имеет и поток на участке 8.

Это свидетельствует о том, что потоки будут занимать не весь вестибюль.

Определим расчётное время эвакуации $t_p^{\text{фойе}}$ в направлении максимального потока $0,8N_2$:

$$t_4 = \frac{l_4}{V_4} = \frac{0,8}{70} = 0,11 \text{ мин.}$$

Интенсивность в проёме на участке 5:

$$q_5 = \frac{q_4 \cdot \delta_4}{\delta_5} = \frac{10 \cdot 2,0}{1,8} = 11,1 \text{ м/мин}; \quad q_5 < q_{\text{max}} = 19,6 \text{ м/мин.}$$

Задержки в проёме нет, $t_5 = 0$.

Интенсивность движения в тамбуре:

$$q_6 = \frac{q_5 \cdot \delta_5}{\delta_6} = \frac{11,1 \cdot 1,8}{3,0} = 6,67 \text{ м/мин.}$$

В тамбуре $D_6 = 0,075 \text{ м}^2/\text{м}^2$; $V_6 = 90 \text{ м/мин}$;

$$t_6 = \frac{2,0}{90} = 0,02 \text{ мин.}$$

В проёме участка 7:

$$q_7 = \frac{q_6 \cdot \delta_6}{\delta_7} = \frac{6,67 \cdot 3,0}{1,8} = 11,1 \text{ м/мин};$$

$$q_7 < q_{\text{max}} = 19,6 \text{ м/мин.}$$

Задержки в проёме нет, $t_7 = 0$.

Расчётное время эвакуации на втором этапе по направлению движения максимального потока $0,8N_2$:

$$t_p^{\text{фойе}} = t_4 + t_5 + t_6 + t_7 = 0,11 + 0 + 0,2 + 0 = 0,13 \text{ мин.}$$

Общее время эвакуации из здания:

$$t_p^{\text{зд}} = t_p^3 + t_p^{\text{фойе}} = 0,86 + 0,13 = 1,01 \text{ мин.}$$

В направлении меньшего потока $0,2N_2$:

$$t_8 = \frac{l_8}{V_8} = \frac{12,6}{70} = 0,18 \text{ мин.}$$

Интенсивность в проёме на участке 9:

$$q_9 = \frac{q_8 \cdot \delta_8}{\delta_9} = \frac{10 \cdot 2,0}{1,8} = 11,1 \text{ м/мин;}$$

$$q_9 < q_{\max} = 19,6 \text{ м/мин}$$

Задержки в проёме нет, $t_9=0$.

$$t_p^{\text{фойе}} = t_8 + t_9 = 0,18 + 0 = 0,18 \text{ мин.}$$

Общее время эвакуации из здания по второму направлению:

$$t_p^{\text{зд}} = t_p^3 + t_p^{\text{фойе}} = 0,88 + 0,18 = 1,06 \text{ мин.}$$

Максимальное расчётное время эвакуации из зала $t_p^3 = 0,88$ мин.

Максимальное расчётное время эвакуации из здания $t_p^{\text{зд}} = 1,06$ мин.

Шаг 4. Нахождение необходимого времени эвакуации.

В соответствии с табл.6 данных указаний необходимое время эвакуации из зала с колосниковой сценой и объёмом до 5000 м^3 составляет 1,5 мин, и из здания в целом – 6 мин.

$$t_p^3 = 0,88 \text{ мин} < t_{\text{НБ}}^3 = 1,5 \text{ мин;}$$

$$t_p^{\text{зд}} = 1,06 \text{ мин} < t_{\text{НД}}^{\text{зд}} = 6,0 \text{ мин.}$$

Вывод: данная планировка зала и фойе-вестибюля удовлетворяет требованиям безопасной эвакуации.

6. РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Приступая к выполнению проекта общественного здания, студенту необходимо ознакомиться с заданием, настоящим пособием, литературными источниками из числа рекомендуемых в библиографическом списке, чтобы выяснить следующее:

- функциональное назначение помещений здания и их взаимосвязь между собой;
- требования к зданию и его отдельным помещениям;
- предполагаемое конструктивное решение здания и его отдельных частей.

Проект следует выполнять по этапам. **На первом этапе** студенту необходимо выполнить эскизную проработку нескольких вариантов по выбору оптимальной формы зала и здания в целом при условии выполнения функциональных требований. Рекомендуется ознакомиться с вопросами проектирования технологических элементов зала и сделать выбор эстрады или сцены, формы и размеров балконов или лож для зрителей, назначить ограничения по вертикальным и горизонтальным углам обзора с крайних мест первого ряда и балкона. Задавшись условиями видимости (ограниченная, частично ограниченная, беспрепятственная), построить профиль зала и разместить зрителей по рядам в шахматном порядке, либо в затылок. Окончательный выбор должен отвечать условиям нормальной видимости и обеспечению безопасной эвакуации из зального помещения наружу или в лестничные клетки.

Одновременно анализируется форма потолка и стен по времени запаздывания первых отражений от них как минимум в трёх точках в партере и на балконе. Первая точка выбирается на центральной продольной оси зрительного зала сразу же за 8-метровой зоной от месторасположения условного источника звука; третья – на самом удаленном месте партера или на последнем ряду на балконе. Затем выполняется расчет времени реверберации на основных частотах (125, 250, 500, 1000, 2000 и 4000 Гц) при 50, 70 и 100 % заполнения зала с иллюстрацией соответствующими рисунками и графиками.

При использовании естественного источника звука в зале большого объема (более 1000 м³), кроме прямой звуковой энергии, требуется необходимое количество отраженной (от боковых стен, потолка), чтобы обеспечивалось равногромкое восприятие как в середине зала, так и на дальних местах. С другой стороны, в кинозалах, где электроакустическая система лишена ограничения по мощности, необходимо сильное заглушение посредством эффективного звукопоглощения для обеспечения разборчивости речи. Вследствие этого лишается объемности и мелодичности музыка, изменяется тембр звука. Для исключения такого

эффекта предлагается заглушать лишь площадки первых отражений на потолке и стенах. Такое компромиссное решение позволяет сохранить звуковое поле равномерным по всей площади зала и объемным по восприятию.

На втором этапе оформляется расчетная часть проекта на листах писчей бумаги в рукописной или печатной форме с использованием текстового редактора Word, чертежи, схемы и графики рекомендуется выполнять на миллиметровке в карандаше при выполнении эскизов, а на этапе окончательного оформления – в графическом редакторе AutoCAD. Объем пояснительной записки должен составлять 12-16 листов. Выполнение чертежей, схем и графиков должно соответствовать требованиям ЕСКД.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архитектурная физика [Текст] /под ред. В.К. Лицкевич. – М.: Архитектура-С, 2007. – 448 с.
2. СНиП 23-03-2003. Защита от шума [Текст]. – М.: Госстрой России, 2004. – С.32.
3. Ковригин, С.Д. Архитектурно-строительная акустика. [Текст] / С.Д. Ковригин, С.И. Крышов – М.: Высшая школа, 1986. – С.237-242.
4. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений [Текст]. – М.: Минстрой России, 1998. – 22 с.
5. Архитектура гражданских и промышленных зданий. Гражданские здания [Текст] / под ред. А.В. Захарова. – М.: Стройиздат, 1993. – С.178–181.
6. ТСН 31-317-99. Культурно-зрелищные сооружения. Нормы проектирования [Текст]. – М.: Госгражданстрой, 2000. – 60 с.
7. Архитектура гражданских и промышленных зданий. Т. II. Основы проектирования [Текст] / под ред. В.М. Предтеченского. – М.: Стройиздат, 1976. – 215 с.
8. Климухин, А.А. Проектирование залов и расчет основных акустических характеристик зрительных залов: времени реверберации и разборчивости речи [Текст] / А.А. Климухин, Е.Г. Киселева. – М.: МАрхИ, 2009. – 56 с.
9. Соловьев, А.К. Физика среды [Текст] / А.К. Соловьев. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 342 с.
10. Руководство по акустическому проектированию залов многоцелевого назначения средней вместимости [Текст] / НИИ Стройфизики Госстроя СССР. – 2 изд., исправ. и доп. – М.: Стройиздат, 1981. – 47 с.
11. СНиП 31-06-2009.СНиП 2.08.02-89*. Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.08.02-89*.[Текст]. – М.: МИНРЕГИОН России, 2009. – С.15-20.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Коэффициенты звукопоглощения строительных материалов и конструкций

№ п/п		Коэффициент звукопоглощения на частотах, Гц							
		125	250	500	1000	2000	4000		
1	2	3	4	5	6	7	8		
1	Кирпичная кладка без расшивки швов	0,15	0,19	0,29	0,28	0,38	0,46		
2	То же, с расшивкой швов	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06		
3	Стены оштукатуренные, окрашенные клеевой краской	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04		
4	То же, окрашенные масляной краской	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02		
5	Штукатурка по металлической сетке с воздушной полостью позади	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06		
6	Бетон с железнением поверхности	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02		
7	Мрамор, гранит и другие каменные породы шлифованные	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02		
8	Травертин	0,02	0,03	0,03	0,03	0,035	0,04		
9	Метлахская плитка	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03		
10	Панель деревянная толщиной 10-15 мм с воздушной прослойкой 50-100 мм позади плит	0,3	0,15	0,06	0,05	0,04	0,04		

Продолжение прил. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
11	Плиты древесно-стружечные неокрашенные толщиной 20 мм с воздушной прослойкой 50-150 мм	0,1	0,08	0,05	0,05	0,08	0,1
12	Плиты твердые древесно-волокнистые толщиной 4 мм, плотностью 1000 кг/м ³ , с воздушной прослойкой 50–150 мм	0,3	0,16	0,08	0,05	0,04	0,08
13	Штукатурка гипсовая сухая толщиной 10 мм с воздушной прослойкой 50–150 мм	0,3	0,25	0,1	0,08	0,05	0,04
14	Плиты гладкие декоративные с пористым наполнителем без воздушной прослойки	0,05	0,4	0,4	0,4	0,2	0,1
15	То же, с воздушной прослойкой 50 мм	0,15	0,4	0,4	0,4	0,2	0,1
16	То же, с воздушной прослойкой 100 мм	0,25	0,4	0,4	0,4	0,4	0,1
17	Плиты ПА/С с набрызгом без воздушной прослойки	0,05	0,15	0,6	0,8	0,85	0,8
18	То же, с воздушной прослойкой 50 мм	0,1	0,3	0,8	0,85	0,8	0,7
19	То же, с воздушной прослойкой 100 мм	0,15	0,5	0,85	0,8	0,8	0,7
20	Перфорированные минипластины, лист 0,6×1,3 м со стеклотканью с отверстиями диаметром 8 мм, шагом 3 мм с воздушным зазором 100 мм	0,33	0,59	0,67	0,63	0,44	0,42
21	То же, с воздушным зазором 150 мм	0,45	0,65	0,67	0,52	0,5	0,47
22	Фанера толщиной 6 мм и слоем минеральной ваты толщиной 100 мм	0,6	0,23	0,14	0,09	0,08	0,02
23	Переплеты оконные застекленные	0,3	0,2	0,145	0,1	0,06	0,04
24	Светопрозрачные ограждения из стеклоблоков	0,01	0,02	0,02	0,06	0,06	0,06

Продолжение прил. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
25	Пол паркетный	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
26	Пол дощатый по лагам	0,1	0,1	0,1	0,08	0,08	0,09
27	Линолеум на твердой основе	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
28	Ковер шерстяной толщиной 9 мм по бетону	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37
29	То же, на войлочной подкладке толщиной 3 мм	0,11	0,14	0,37	0,43	0,27	0,37
30	Портъеры хлопчатобумажные на подкладке со складками, поверхностная плотность ткани 0,5 кг/м ²	0,05	0,3	0,45	0,7	0,65	0,5
31	Портъеры плюшевые со складками, поверхностная плотность ткани 0,65 кг/м ²	0,15	0,35	0,55	0,7	0,7	0,65
32	Фибролит толщиной 50 мм с воздушной прослойкой 50–100 мм	0,2	0,45	0,45	0,5	0,6	0,65
33	Вентиляционные решетки	0,3	0,42	0,5	0,5	0,5	0,51
34	Вода в ванне бассейна	0,01	0,01	0,013	0,015	0,02	0,025
35	Проем сцены, оборудованный декорациями	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
36	Киноэкран	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
<i>Покрытия полов спортивных залов</i>							
37	«Гарафлекс. Спорт М»	0,02	0,03	0,03	0,08	0,06	0,03
38	Искусственная трава фирмы «Полиграс»	0,07	0,07	0,075	0,1	0,39	0,52
39	«Астрогурф»	0,1	0,15	0,3	0,5	0,7	0,5
40	«Пуластик»	0,05	0,12	0,2	0,2	0,15	0,1

Продолжение прил. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
41	«Спортан» пористый	0,05	0,06	0,7	0,1	0,3	0,5
42	«Спортан»	0,04	0,05	0,08	0,18	0,2	0,3
43	«Риздор»	0,02	0,03	0,04	0,18	0,25	0,17
44	«Гартан»	0,02	0,03	0,06	0,1	0,18	0,17
<i>Специальные звукопоглощающие материалы и конструкции</i>							
45	Плиты гипсовые перфорированные с пористым заполнителем размером 810×810×26 мм – без воздушной прослойки – с воздушной прослойкой, мм 50 100 200	0,05	0,15	0,5	0,65	0,65	0,7
46	Плиты «Силакпор» – без воздушной прослойки – с воздушной прослойкой 100 мм	0,2 0,5	0,5 0,7	0,65 0,6	0,6 0,55	0,6 0,55	0,6 0,6
47	Минские плиты А-1 – без воздушной прослойки – с воздушной прослойкой 200 мм	0,1 0,4	0,3 0,65	0,6 0,65	0,7 0,7	0,8 0,75	0,8 0,75
48	Плиты «Москва» – без воздушной прослойки – с воздушной прослойкой 100 мм	0,1 0,2	0,25 0,6	0,8 0,6	0,6 0,5	0,5 0,35	0,35 0,3

Окончание прил. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
49	Плиты «Мелодия» – без воздушной прослойки – с воздушной прослойкой 100 мм	0,15 0,25	0,25 0,5	0,8 0,6	0,4 0,45	0,2 0,3	0,2 0,3
50	Слой пористого звукопоглотителя толщиной не менее 100 мм, покрытый стеклотканью или мешковиной и деревянными рейками шириной 20–25 мм, толщиной 10–12 мм и расстоянием между ними 15–20 мм						
51	То же, вместо реек гипсовые плиты размером 400×400×10 и 500×500×10 мм с отверстиями диаметром 10 мм и шагом 24 мм	0,4	0,7	0,8	0,8	0,75	0,65
		0,4	0,7	0,75	0,6	0,45	0,3

Приложение 2

Эквивалентная площадь звукопоглощения, м², зрителями и креслами

№ п/п	Зрители и кресла	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц.							
		125	250	500	1000	2000	4000		
1	Зрители на мягком кресле	0,25	0,30	0,40	0,45	0,45	0,40	0,40	0,40
2	То же, на жестком кресле	0,20	0,25	0,30	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
3	Кресло деревянное жесткое	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
4	Кресло с обшивкой сиденья искусственной кожей	0,08	0,10	0,12	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08
5	Полумягкое кресло, обитое тканью	0,08	0,10	0,15	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20
6	Мягкое кресло, обитое тканью с пористым наполнителем сиденья и спинки	0,15	0,20	0,20	0,25	0,30	0,30	0,30	0,30

Приложение 3

Значения функции $-\ln(1 - \alpha_{\text{ср}})$ в зависимости от величины
среднего коэффициента звукопоглощения $\alpha_{\text{ср}}$

$\alpha_{\text{ср}}$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,1	0,1	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19	0,2	0,21
0,2	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,29	0,3	0,32	0,33	0,34
0,3	0,36	0,37	0,39	0,4	0,42	0,43	0,45	0,46	0,48	0,49
0,4	0,51	0,53	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64	0,65	0,67
0,5	0,69	0,71	0,73	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84	0,87	0,89
0,6	0,92	0,94	0,97	0,99	1,02	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17

Приложение 4

Параметры движения людского потока в нормальных условиях

Плотность потока D_1	Горизонтальный путь		Дверной проём	Лестница вниз		Лестница вверх	
	Скорость V , м/мин	Интенсивность q , м/мин	Интенсивность q , м/мин	Скорость V , м/мин	Интенсивность q , м/мин	Скорость V , м/мин	Интенсивность q , м/мин
0,01	100	1	1	100	1	60	0,6
0,05	100	5	5	100	5	60	3
0,1	80	8	8,7	95	9,5	53	5,3
0,2	60	12	13,4	68	13,6	40	8
0,3	47	14,1	16,5	52	15,6	32	9,6
0,4	40	16	18,4	40	16	26	10,4
0,5	33	16,5	19,6	31	15,5	22	11
0,6	27	16,2	19	24	14,4	18	10,8
0,7	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,8	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
0,9 и более	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

Примечание: табличное значение интенсивности движения в дверном проёме при плотности потока 0,9 и более, равное 8,5 м/мин, установлено для дверного проёма шириной 1,6 м и более, а при дверном проёме меньшей ширины δ интенсивность движения следует определять по формуле $q=2,5+3,75\delta$.

Приложение 5

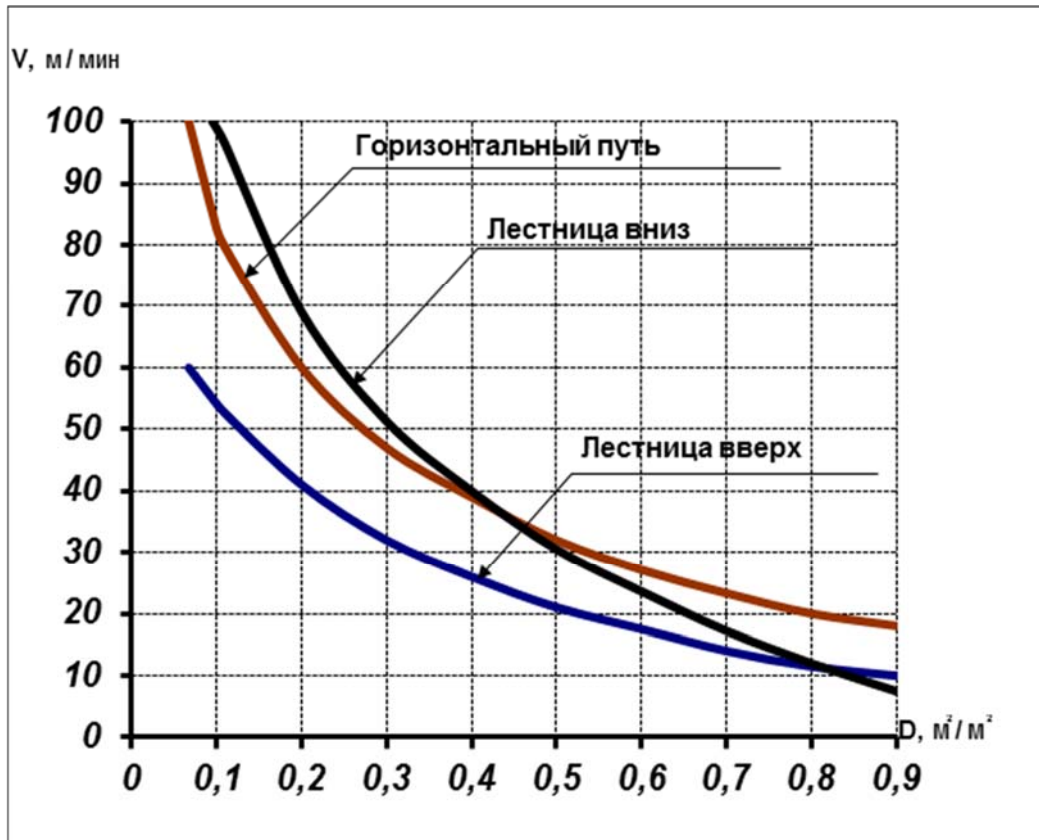


График зависимости скорости движения людского потока от его плотности в нормальных условиях

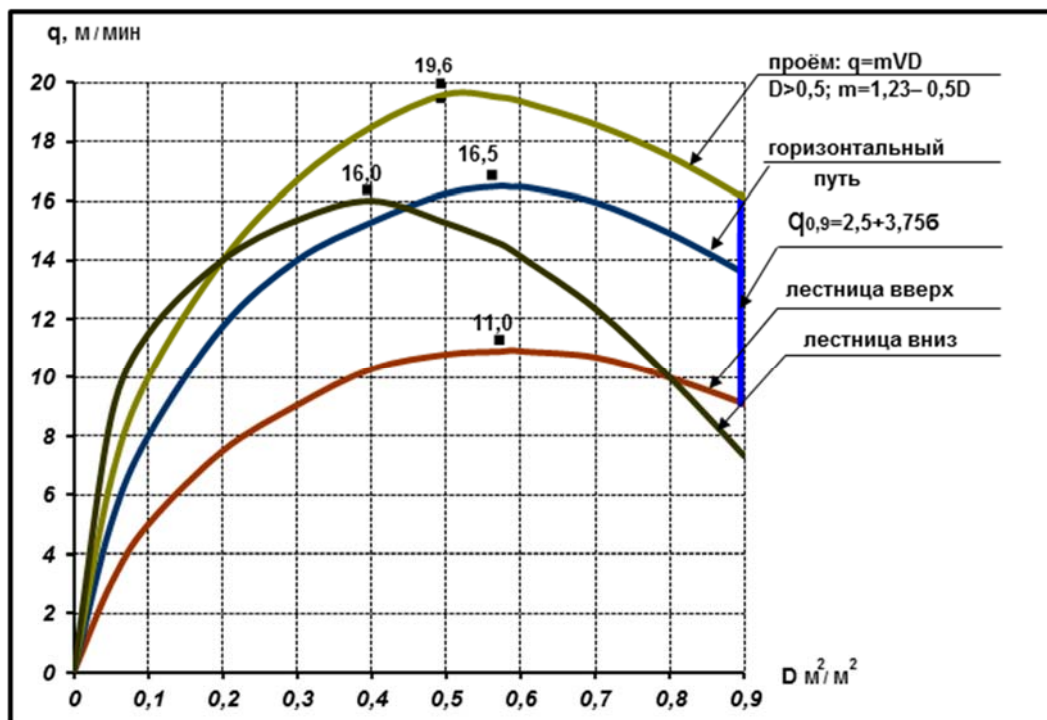


График зависимости интенсивности движения людского потока от его плотности в нормальных условиях

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА О СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТЕАТРАЛЬНЫХ ЗАЛОВ	6
1. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗРИТЕЛЬНОГО ЗАЛА	25
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРЬЕРА ЗАЛА С ЕСТЕСТВЕННОЙ АКУСТИКОЙ	50
3. РАЗРАБОТКА ЦВЕТОВОГО РЕШЕНИЯ ИНТЕРЬЕРА ЗРИТЕЛЬНОГО ЗАЛА	68
4. ПРИМЕР АКУСТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КОНЦЕРТНОГО ЗАЛА ВМЕСТИМОСТЬЮ $N=325$ МЕСТ	70
4.1. Определение базовых размеров зала	70
4.2. Задача построения профиля размещения зрительских мест	70
4.3. Проверка допустимости применения геометрических отражений для построения лучевых эскизов	74
4.4. Оценка структуры ранних отражений	75
4.5. Подсчет площадей внутренних поверхностей зала	80
4.6. Расчет времени реверберации	80
4.7. Проверка разборчивости речи	84
5. ПРИМЕР РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ЭВАКУАЦИИ ИЗ ЗРИТЕЛЬНОГО ЗАЛА КЛУБА ВМЕСТИМОСТЬЮ $N=300$ МЕСТ	88
5.1. Определение базовых параметров зрительного зала и здания	88
5.2. Выбор схемы эвакуации из зрительного зала	88
6. РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	94
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	96
ПРИЛОЖЕНИЯ	97
Приложение 1 Коэффициенты звукопоглощения строительных материалов и конструкций	98
Приложение 2 Эквивалентная площадь звукопоглощения, m^2 , зрителями и креслами	103
Приложение 3 Значения функции $-\ln(1 - \alpha_{cp})$ в зависимости от величины среднего коэффициента звукопоглощения α_{cp}	104
Приложение 4 Параметры движения людского потока в нормальных условиях	105
Приложение 5	106

Учебное издание

Разживин Владимир Михайлович
Викторова Ольга Леонидовна
Петрянина Любовь Николаевна

АРХИТЕКТУРА ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ.
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗРИТЕЛЬНЫХ
ЗАЛОВ С ЕСТЕСТВЕННОЙ АКУСТИКОЙ
Учебное пособие
по курсовому проектированию

Редактор В.С. Кулакова
Верстка Н.В. Кучина

Подписано в печать 14.09.2015. Формат 60x84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл.печ.л. 6,28. Уч.-изд.л. 6,75. Тираж 100 экз.
Заказ № 329.

Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.

