

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**
Строительный факультет

Кафедра архитектуры и урбанистики

А.Н. Шихов, Т.Ю. Запольских, Курякова Н.Б.

РАСЧЕТ БЕСПРЕПЯТСТВЕННОЙ ВИДИМОСТИ

В ЗРИТЕЛЬНЫХ ЗАЛАХ

Учебно-методическое пособие

Пермь

ФГОУ ВПО ПНИПУ

2017год

2 УДК 628.921/928

Рецензент: заместитель заведующей кафедрой архитектуры и урбанистики, канд. технических наук, доцент **Л.В. Сосновских**

Курякова Н.Б. Расчет беспрепятственной видимости в зрительных залах: учебно-методическое пособие / А.Н. Шихов, Т.Ю. Запольских, Н.Б. Курякова, ФГОУ ВПО ПНИПУ – Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО ПНИПУ, 2017.- 18 с.

Учебно-методическое пособие разработано в соответствии с типовой программой дисциплины «Архитектурная физика» для специальностей: 08.04.01 «Промышленное и гражданское строительство». В пособии излагаются теоретические и практические методики расчета беспрепятственной видимости в зрительных залах. Приведены примеры расчета. Учебно-методическое пособие разработано для самостоятельной работы магистров строительной специальности 08.04.01 «Промышленное и гражданское строительство» очной формы обучения для выполнения практических заданий.

Содержание

Общие положения.....	
1. Геометрические факторы беспрепятственной видимости в зрительных залах....	
2. Обеспечение беспрепятственной видимости и приемы расположения зрительных мест на горизонтальной плоскости.....	
3. Способы построения и расчета линии подъема зрительских мест.....	
Библиографический список.....	
Примеры расчета.....	

Общие положения

Во многих видах общественных зданий, особенно в спортивных и зрелищных зданиях, где размещается большое число людей, одной из важнейших задач является обеспечение благоприятных условий видимости и зрительного восприятия объектов наблюдения. Это может быть киноэкран, театральная сцена, спортивная арена, концертная эстрада, меловая доска и т.п.

Видимость – это возможность полного или частичного наблюдения объекта, т.е. такое взаимное расположение объекта и наблюдателя, при котором лучи зрения от глаза наблюдателя проходят ко всем или к части точек наблюдаемого объекта.

Под **зрительным восприятием** понимается возможность воспринять органами зрения с той или иной степенью четкости наблюдаемый объект. Это зависит от многих условий: удаления, величины объекта; состояния атмосферы; яркости объекта, которая зависит от его освещенности; цвета и фона объекта, на котором он воспринимается; угла зрения, под которым наблюдатель видит объект, и т.д. Зрительное восприятие и видимость определяются физиологическими особенностями глаза, непосредственно связанными с мозговой деятельностью человека.

Для обеспечения беспрепятственного и неискаженного зрительного восприятия такие помещения должны отвечать следующим требованиям:

- в помещениях не должно быть внутренних опор, расположенных между зрителями и объектами восприятия. Для исключения внутренних опор помещения перекрываются большепролетными балками, фермами, пространственными конструкциями;

- зрительские места должны располагаться таким образом, чтобы впереди сидящие зрители не загораживали собой объект восприятия. Для этого уровень пола, где располагаются зрительские места, постепенно поднимается по мере удаления от объекта восприятия.

Видимость со всех зрительных мест является важнейшей задачей, решаемой при проектировании помещений и зданий массового пользования.

В зависимости от специфики зрелищных сооружений массового пользования теория и метод расчета видимости при построении зрительных мест не меняются. Однако принципы, которыми руководствуются при проектировании зрительного пространства, а также нормативы видимости для различных зрительных залов (театр, кинотеатр или стадион) значительно отличаются друг от друга.

К числу факторов, от которых зависит видимость в зрительных залах, относятся: объемно-пространственная структура интерьера сооружения и его частей (сцена и зал, арена и трибуны); условия освещенности (естественное или искусственное), а также физиологические законы зрения.

Обеспечение видимости объекта наблюдения зависит от взаимного расположения в пространстве самого объекта, наблюдателя и сидящих впереди него

зрителей. **Беспрепятственная видимость** – когда в поле зрения каждого зрителя находится полностью весь объект наблюдения. При **ограниченной видимости** в поле зрения находится только часть объекта наблюдения, а остальная часть заслонена впереди сидящими людьми. **Минимально ограниченная видимость** – когда видимая часть объекта минимальна, но имеется возможность видимости этой заслоненной части объекта при отклонении зрителя в сторону в пределах 0,4 ширины места.

1. Геометрические факторы беспрепятственной видимости в зрительных залах

Благоприятная для зрителей видимость достигается соблюдением следующих факторов:

- размеры помещения должны быть ограничены возможностью различать существенные детали объекта восприятия;
- зрительное удаление от объекта наблюдения;
- горизонтальный и вертикальный зрительные углы, определяющие положение зрителя по отношению к наблюдаемому зрелищу;
- отсутствие преград на пути зрительного луча от наблюдаемой точки к глазу зрителя.

Размеры помещения должны быть ограничены возможностью различать существенные детали объекта восприятия. Так, в аудитории существенной деталью может быть штрих мела на доске, на хоккейной площадке — шайба, на театральной сцене — черты лица актера. Данные о предельных размерах залов содержатся в СП. Для кинотеатров предельная длина зала не должна быть более 42 м, так как при большем размере нарушается синхронное восприятие зрителем звука и изображения на экране - звук запаздывает.

Зрительное удаление влияет на расположение зрительных мест в плане и зависит от функционального назначения зрительных залов. Для драматических и оперных театров удаление последних рядов от рампы сцены обычно колеблется в пределах от 24 м (для залов на 600 чел.) до 35 м (для залов более 1200 чел.). Это связано с тем, что для 5 драматического театра необходимо, чтобы зритель воспринимал мимику артиста, а для оперного театра мимике отводится меньшая роль, поэтому удаление зрителя от сцены может иметь большие размеры, чем в драматическом театре. Для стадионов с обширной ареной этот фактор вообще не имеет значения. Однако зритель должен иметь возможность детально воспринимать весь ход игры и отчетливо видеть перемещение мяча или шайбы.

Предельное удаление зрителя обычно измеряется как в абсолютных размерах (в метрах), так и в угловых величинах (в градусах).

Для театров и кинотеатров помимо максимального удаления большое значение имеет вопрос о минимально допустимом расстоянии зрителя от предмета наблюдения. Это связано с тем, что зритель, находящийся на местах слишком близко от сцены (порядка 2-3 м) не в состоянии окинуть одним взглядом, без поворота головы, всю картину театрального представления. Причина этого факта заключается в ограниченности величины поля ясного видения зрителя, охватывающего при зрении двумя глазами только около 400 в горизонтальной плоскости и 200 в вертикальной плоскости. Вследствие этого наблюдаемое действие на сцене фиксируется глазами в виде отдельных фрагментов и общая композиция утрачивает целостность. В условиях открытых пространств стадионов с обширной ареной этот вопрос не имеет значения.

Кроме предельного удаления на качество зрительного восприятия значительное воздействие оказывает также тот факт - под каким горизонтальным и вертикальным углом зритель воспринимает действие на сцене, эстраде или арене. Например, зритель, который смотрит кинофильм с нормального удаления от сцены, но видящий его под значительным углом сбоку или сверху, воспринимает изображение в искаженном виде. В связи с этим при проектировании сооружений массового пользования размещение зрительных мест необходимо осуществлять с учетом этого фактора.

При рассмотрении плоских объектов на экранах, плакатах, меловых досках и др. предельные горизонтальные и вертикальные углы зрения (угол между лучом зрения и нормалью к поверхности в крайних точках рассматриваемого поля) не должны превышать 45° . Соблюдение этого правила позволяет избежать чрезмерного искажения пропорций рассматриваемого объекта.

Система расположения зрительных мест обычно зависит от характера демонстрируемых зрелищ или объектов. Так, при проектировании круглой цирковой арены или эстрады места целесообразно располагать по дугам концентрических окружностей с центром, совмещенным с центром арены (эстрады). В театрах и в кинотеатрах зрительные места можно размещать как параллельными рядами, так и концентрическими дугами с большим радиусом кривизны.

Границы зон с местами оптимальной видимости могут быть получены графически отрезками прямых, проведенных через крайние точки задних декораций и через грань сцены. При этом построении получается горизонтальный угол, называемый оптическим углом зала. За пределами зрительных лучей размещать зрительные места не рекомендуется, так как видимость в этих зонах будет ограничена только частью сцены (рис.1).

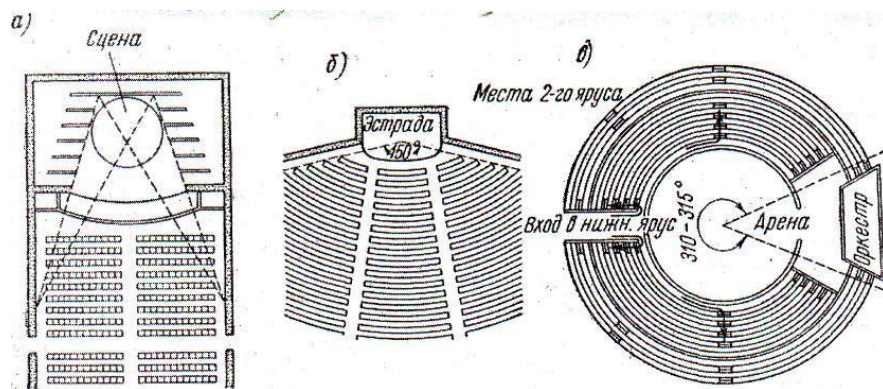


Рис.1. Схемы построения горизонтальных углов видимости в зрительных залах: а - оперных и драматических; б - с эстрадой; в — цирков

В залах для исполнения эстрадных номеров оптический угол может достигать до 150 градусов, что позволяет уменьшить длину (глубину) зала за счёт увеличения его ширины (рис. 1, б).

Для цирков оптический угол может достигать 310 -315 градусов с расположением зрительных мест почти по полным окружностям (рис. 1, в).

Вертикальный угол на точку в середине красной линии сцены на высоте 1,5 м от пола не должен превышать для средних мест зала 25 градусов, а для боковых - 35 градусов.

2. Обеспечение беспрепятственной видимости и приемы расположения зрительных мест на горизонтальной плоскости

Наряду с вопросами предельного удаления и границами зрительных лучей большое значение имеет обеспечение беспрепятственной видимости в зрительных залах. Нормальная видимость зависит от расположения в пространстве зала объекта наблюдения и зрителя, а также от сидящих впереди него зрителей.

Нормальная видимость объекта различения зависит от расположения в пространстве зрительного зала объекта наблюдения и зрителя, а также от сидящих впереди него зрителей.

В плане зрительские места могут располагаться линейно (в затылок) или в шахматном порядке.

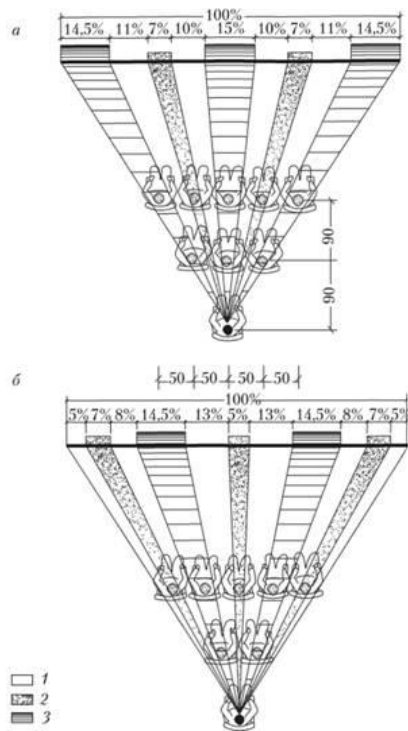


Рис. 2 Линейное (а) и шахматное (б) расположение зрительских мест

1 – зона I, беспрепятственная видимость, 2 – зона II, луч проходит над головой сидящего через ряд, 3 – зона III, луч проходит над головой сидящего в предыдущем ряду

Из двух способов расположения мест шахматный обеспечивает относительно лучшую видимость, однако его применение сопровождается неэкономичным использованием площади зрительного зала, поэтому за основной прием расположения зрительских мест в залах обычно принимают линейную схему.

Видимость со всех зрительных мест является важнейшей задачей, решаемой при проектировании помещений и зданий массового пользования.

Для достижения беспрепятственной видимости существуют следующие приёмы:

- расположение зрительных мест на горизонтальной плоскости;
- постепенный подъём рядов зрительных мест по мере их удаления от объекта наблюдения;
- повышение уровня сцены (эстрады).

Критерием для оценки условий видимости является величина C , характеризующая вертикальное расстояние от уровня глаза зрителя до верха головы (без головного убора) впереди сидящего человека и называемая превышением зрительного луча.

Величина превышения луча C принимается равной 0,12 м, если в помещении предусматривается нахождение зрителей без головных уборов, и 0,15 — в головных уборах (рис.3).

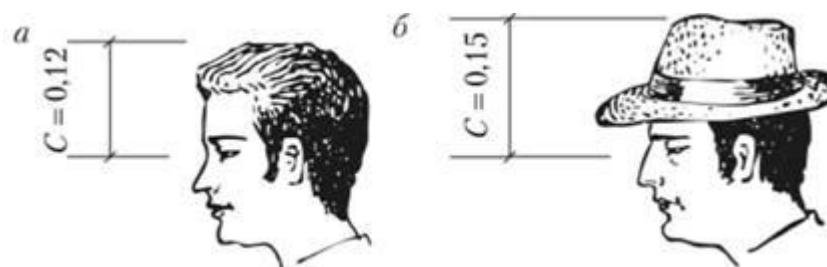


Рис. 3. Величина превышения луча зрения:

a – для зрителей, находящихся в закрытых помещениях; *б* – для зрителей, сидящих на открытых трибунах

Для беспрепятственной видимости объекта наблюдения (выбранной точки) необходимо обеспечить условие, при котором зрительный луч (отрезок прямой, проведённый к нему от глаза зрителя), проходил на высоте 10-12 см над уровнем глаза впереди сидящего зрителя. При этом превышение луча зрения для спортзалов, кинотеатров и стадионов составляет 12 см, а для театров - 6 см. В концертных залах для уменьшения подъема рядов мест может применяться ограниченная видимость с превышением луча зрения $C = 0,06 : 0,08$ м.

Параметры, принимаемые за расчётную точку видимости (фокус S) в таблице 1.

Рекомендуемые положения расчетной точки видимости

Таблица 1

Назначение зрительного зала	Месторасположение расчетной точки видимости
Кинотеатры	Центр нижней границы экрана
Драматические театры	Уровень пола сцены по ее центральной оси на красной линии сцены
Концертные и оперные театры	Уровень пола сцены по ее центральной оси на красной линии сцены по ее центральной оси на расстоянии 1 м от края сцены
Спортивные залы и стадионы	Ближний видимый край арены действия
Бассейны	Ось ближайшей дорожки для плавания
Легкоатлетические манежи	Ось ближайшей к трибуне беговой дорожки
Школьный класс, лекционный зал, конференц-зал	Центр нижней грани меловой доски
Цирк	Ближайший к зрителю край барьера

Для правильного расположения зрительных мест по вертикали строится профиль мест, для построения которого в зависимости от функционального назначения сооружения выбирается исходная точка видимости (фокус S) и превышение луча зрения C. Затем уровень глаза зрителя, сидящего в первом ряду, соединяют с фокусом, а все лучи зрения зрителей последующих рядов с соответствующим превышением луча зрения, как это показано на рис. 4 на примере зрительного зала кинотеатра.

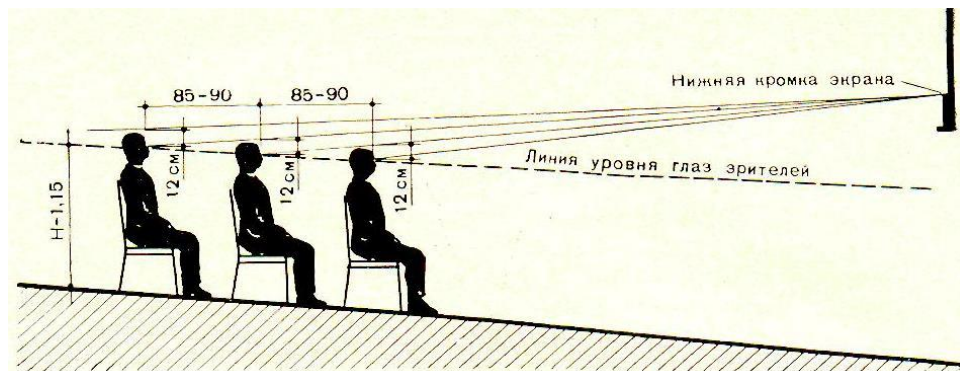


Рис. 4. Схема построения превышения зрительных мест из условия беспрепятственной видимости

Беспрепятственная видимость достигается при размещении зрительных мест по следующим видам поверхностей:

а) по криволинейной поверхности, создающей наименьший подъём при сохранении постоянного превышения зрительного луча (С). Однако высота ступеней (г) в этом случае будет переменной, увеличиваясь от первого ряда до последнего, что нарушает унификацию размеров (рис.5а);

б) по прямолинейной наклонной поверхности (рис.5б). В этом случае высота ступеней (г) для всех рядов зрительных мест будет одинаковой, а превышение зрительного луча (С) - переменным, увеличиваясь от последнего ряда к первому, создавая значительный высотный перепад мест в зрительном зале;

в) по ломаной поверхности, когда профиль поверхности зала делится на несколько крупных групп зрительных мест, в пределах каждой из которых места размещаются на прямой наклонной плоскости. Такое решение позволяет устранить недостатки вышеперечисленных способов размещения зрительных мест (рис.5,в).

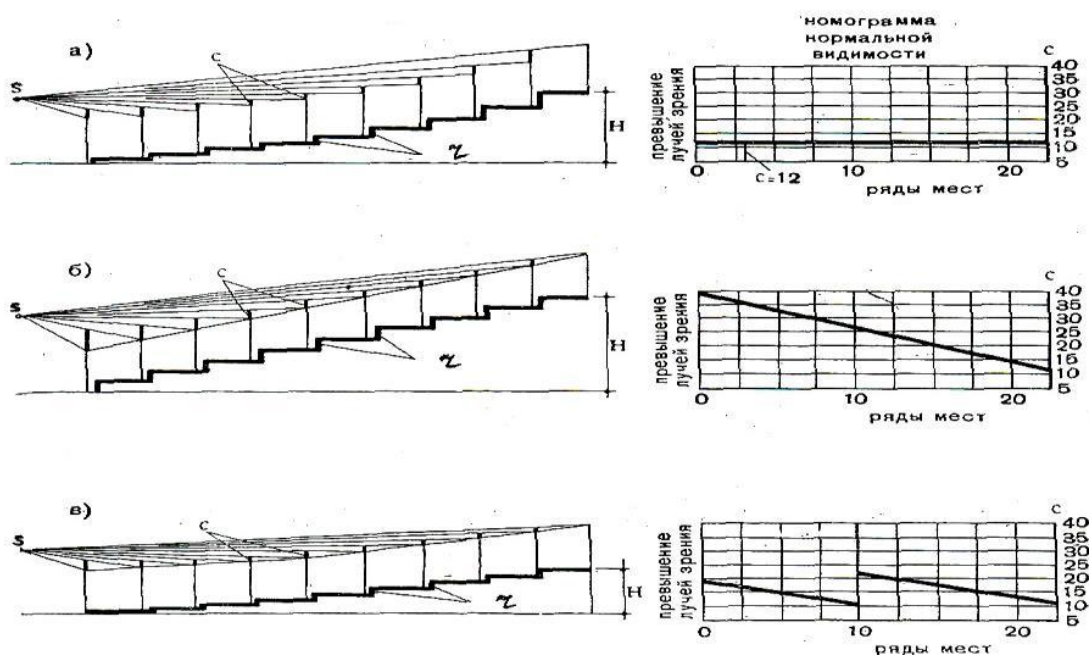


Рис.5. Схема расположения зрительных мест в залах:

- а) по криволинейной поверхности;
- б) по прямолинейной наклонной поверхности;
- в) по ломанной наклонной поверхности.

В крупных зрительных залах (вместимостью более 1000 мест) возможно устройство балкона, частично перекрывающего партер, что создает возможность приблизить значительную часть зрителей к сцене и создать для них беспрепятственную видимость (рис. 6).

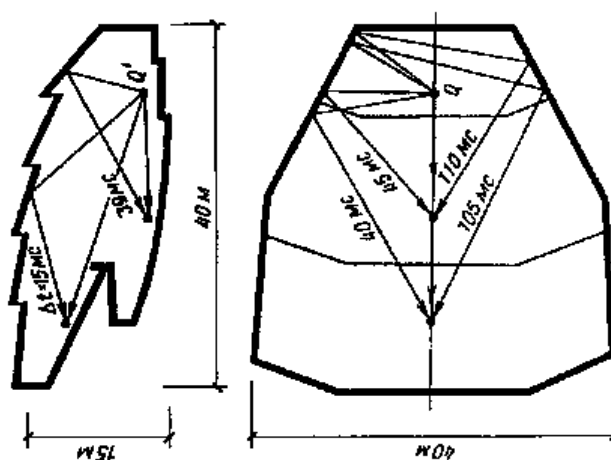


Рис. 6. Типичная форма современного концертного зала большой вместимости (продольный разрез и план)

Количество мест на балконе обычно составляет около 25-30 % от общей вместимости зала. Однако устройство балкона усложняет конструкцию зала и пути эвакуации зрителей. В связи с этим, необходимость устройства балконов во всех случаях следует обосновывать. Кроме того, наличие балкона снижает качественное восприятие звука для зрителей подбалконного пространства.

3. Способы построения и расчета линии подъема зрительских мест

Имеются аналитические и графические способы построения линии подъема зрительских мест. Подъем рядов в залах зрелищно-массовых сооружений можно определить также с помощью светотехнической модели.

Исходными данными для определения подъема зрительных рядов в зале являются:

– координаты глаз относительно точки наблюдения X_0 – по горизонтали и Y_0 – по вертикали; ордината Y_0 принимается положительной, если уровень глаз зрителя первого ряда находится выше точки наблюдения, и отрицательной, если ниже этой точки.

- превышение C - луча зрения каждого зрителя, направленного на наблюдаемую точку над глазом впереди сидящего зрителя;

- расстояние между рядами кресел - d ;

- число кресел – n .

При расчёте беспрепятственной видимости зрительных мест принят ряд допущений:

- расстояние от наблюдаемой точки до рядов мест выражается количеством рядов, а не в метрах;

- высота сидящего человека принята равной 1,15 м;

- плоскость, проходящая через глаза сидящего человека, совпадает с вертикальной плоскостью спинки кресла; - ширина ряда зрительных мест принимается равной 0,9 м.

Профиль пола при подъеме рядов мест по «идеальной» кривой является основным приемом расположения зрительских мест в зрительных залах большой вместимости.

При расположении зрительских мест по кривой линии наименьшего подъема превышение луча зрения (c) имеет постоянную величину. За счет этого подъем пола образует криволинейную поверхность.

Для построения линии подъема зрительских мест графическим способом необходимо в определенном масштабе вычертить поперечный разрез зрительного зала с указанием расположения первого ряда зрителей - X_0 (рис.7).

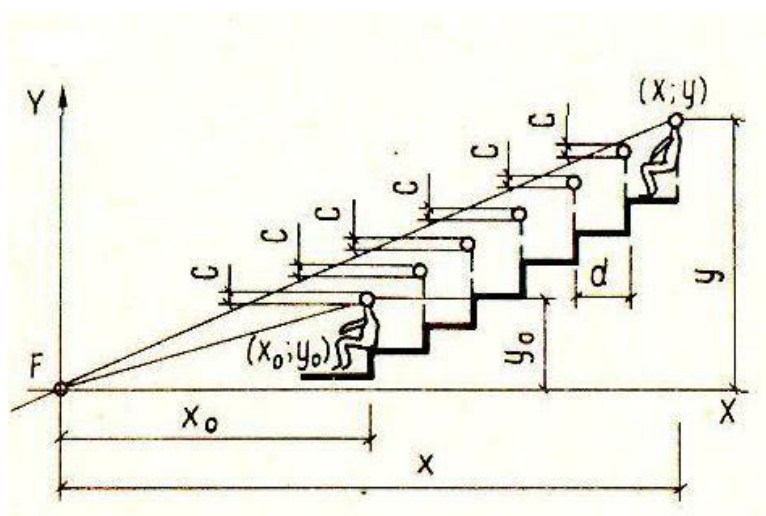


Рис. 7. Схема графического способа построения линии подъема зрительских мест по криволинейной поверхности

Оставшуюся длину зала следует разбить на расстояния между спинками кресел $d = 0.9$ м. Определить точку наблюдения в зависимости от функционального назначения зала и нанести ее на разрез зрительного зала (точка F).

Далее на вертикальной линии спинки первого ряда нанести точку уровня глаз зрителя первого ряда, которая располагается на высоте 1,15 м от поверхности пола. Затем соединить уровень глаза зрителя первого ряда с точкой наблюдения (F). Установив расчетное превышение луча зрения для рассматриваемого зала (6 или 12 см в зависимости от назначения зала), откладываем это превышение от уровня глаз зрителя первого ряда. Через полученную точку проводим прямую, соединяющую ее с выбранной точкой наблюдения (F) и вертикальной линией спинки второго ряда.

Полученная точка пересечения прямой с вертикальной линией спинки второго ряда является уровнем глаза зрителя второго ряда.

От уровня глаза зрителя второго ряда откладываем превышение луча зрения и соединяем новую полученную точку с выбранной точкой наблюдения (F). Прямую, соединяющую точку наблюдения с полученной новой точкой превышения луча зрения зрителя второго ряда, доводим до вертикальной линии спинки третьего ряда. Полученная точка пересечения является уровнем глаза зрителя третьего ряда, через которую проводим прямую до пересечения ее с точкой наблюдения (F). Аналогичную работу выполняем для всех зрительных рядов.

Через полученные уровни глаз зрителей первого и последнего рядов проводим линию уровня глаз зрителей всех рядов. Откладываем от линии уровня глаз зрителей первого и последнего рядов принятую высоту сидящего человека, равную 1,15 м и получаем общую высоту подъема зрительных мест (рис. 7).

Определение предельного удаления зрителей выполняется следующим способом.

При расположении мест для зрителей на горизонтальной плоскости необходимо установить взаимозависимость их предельного удаления и уровня расположения объектов наблюдения над этой горизонтальной плоскостью (рис.8)

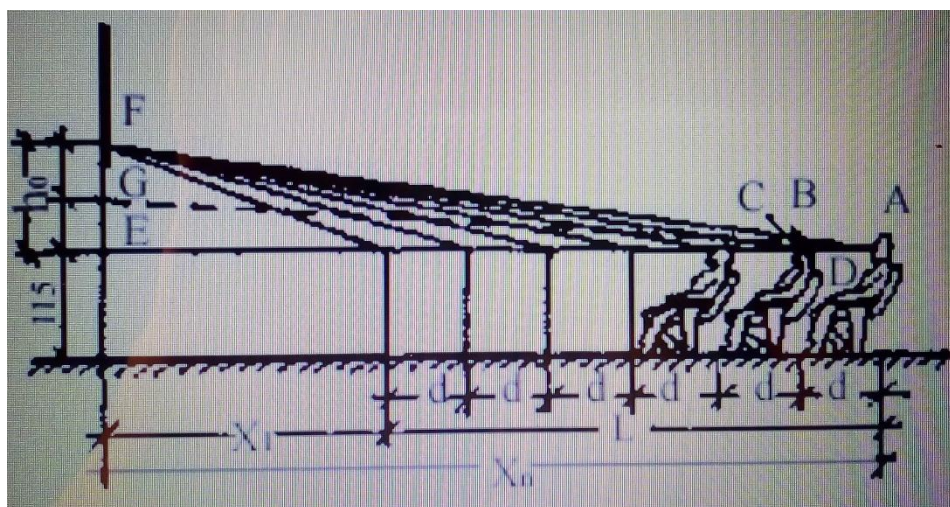


Рис.8 Схема к расчету предельного удаления зрителей от объекта наблюдения в залах с горизонтальным полом

Обозначим положение расчетной точки видимости через F. Из подобия треугольников ABD и AFE имеем $BD/FE=AD/AE$,

где $AD=d$ – ширина ряда;

$AE=x_n$ – удаление зрителя n-го ряда от объекта наблюдения;

$BD=C$ – превышение луча зрения над уровнем глаз впереди сидящего зрителя;

$FE=ho$ – искомая высота уровня расположения объекта наблюдения над уровнем глаз зрителей (при прохождении луча зрения над головой зрителя следующего ряда).

Следовательно из подобия треугольников ABD и AFE получаем $C/ho=d/x_n$

Откуда $ho=C \cdot x_n/d$

Отсюда следует что при большом количестве рядов потребуется значительный подъем объекта наблюдения над уровнем пола. Для многих объектов большой подъем недопустим. Например сцена-эстрада может иметь высоту не более 1,1 м то есть ниже уровня глаз сидящего зрителя, так как в противном случае создаются неблагоприятные условия зрительного восприятия с отрицательными углами к горизонту и часть сцены закрывается проекцией ее края; низ меловой доски в аудитории по условиям удобного пользования может быть расположен на 0,9-1 м от пола аудитории или кафедры.

Таким образом подъем объекта наблюдения над уровнем пола ограничен. Поэтому формула чаще используется для решения обратной задачи - определения предельного удаления зрителей x_n при заданном уровне расположения нижней точки объекта наблюдения ho :

$$X_n=ho \cdot d/C$$

Такие задачи решаются при проектировании относительно небольших помещений, в которых желательно иметь горизонтальный пол.

В зрительных залах и сооружениях большой вместимости обеспечение условий беспрепятственной или минимально ограниченной видимости объектов наблюдения достигается последовательным подъемом рядов мест.

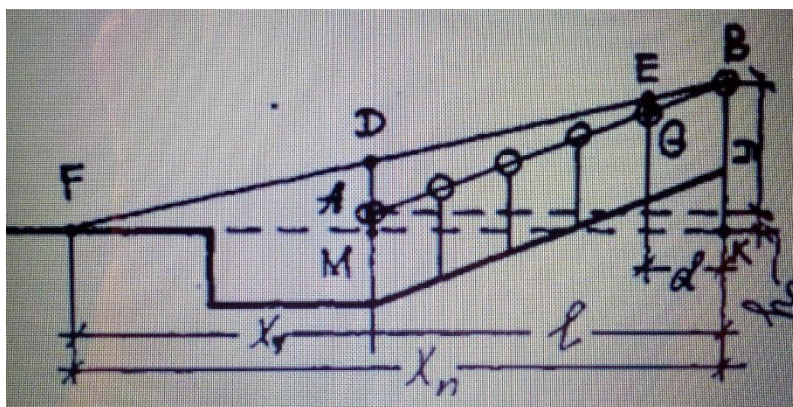


Рис.9 Расчетная схема профиля подъема рядов по наклонной прямой

При расположении рядов мест по наклонной прямой ступени подъема рядов мест будут одинаковыми.

Из подобия треугольников ABD и GBE (рис. 9) получим:

$$AD/GE = AB/GB$$

Из подобия треугольников FMD и FKB (см.рис. 9) следует:

$$BK/DM = FK/FM,$$

где FM = x_1 – удаление первого ряда зрителей от расчетной точки видимости F;

FK = x_n – удаление последнего ряда зрителей от точки F;

MA = h_0 – превышение уровня глаз зрителя первого ряда над точкой F;

l – общее протяжение одной группы рядов;

y – превышение уровня глаз зрителя последнего ряда над уровнем глаз зрителя первого ряда;

d – ширина ряда.

Следовательно, из подобия треугольников GBE и ABD, FMD и FKB получаем

$$AD/GE = l/d, \text{ но } GE = C, \text{ то есть } AD = l \cdot C/d$$

$$BK/DM = FK/FM \text{ или } (y+h_0)/(h_0+AD) = (x_1+l)/x_1$$

$$Y = (h_0+AD) \cdot (x_1+l)/x_1 - h_0 = l \cdot h_0/x_1 + AD \cdot (x_1+l)/d \cdot x_1$$

но $AD = l \cdot C/d$, следовательно

$$y = l \cdot h_0/x_1 + C \cdot l \cdot x_n/d \cdot x_1$$

Если уровень глаз зрителя первого ряда находится на одном уровне с точкой F, то $h_0=0$, тогда $y = C \cdot l \cdot x_n/d \cdot x_1$

Если обеспечить нормативное превышение луча зрения C для зрителей самого верхнего ряда, то от ряда к ряду к низу эти превышения возрастают и достигают наибольшей величины во втором ряду. Так на участке в семь рядов мест величина C возросла во втором ряду в 2,5 раза.

При большом количестве рядов возрастание величины C в нижних рядах может значительно превысить требуемую, следовательно, общий подъем рядов будет также завышен, поэтому такое решение будет не экономично, так как потребуются излишняя высота помещения или трибун. Таким образом, расположение рядов мест по наклонной прямой целесообразно только при ограниченном числе рядов, находящихся в значительном удалении от источника звука, например, на балконах и ярусах.

При криволинейной поверхности расположений зрительских мест высота ступеней в каждом ряду кресел изменяется, увеличиваясь к последнему ряду, что создает

значительные неудобства при строительстве. На основе учета проектного опыта установлено, что наиболее рациональным видом размещения зрительных мест является ломанная поверхность, когда длину зрительного зала делят на 3 – 4 группы различным количеством рядов. Экономически оправданным считается размещение в первой группе 5-7 рядов мест, во второй - 7-10, в третьей - 10- 14 и т.д.

При графическом способе построения линии подъема зрительских мест по ломанной поверхности выполняем аналогично, как и для криволинейной поверхности, вычерчиваем в определенном масштабе поперечный разрез зрительного зала с указанием расположения первого ряда зрителей - X_0 (рис.10).

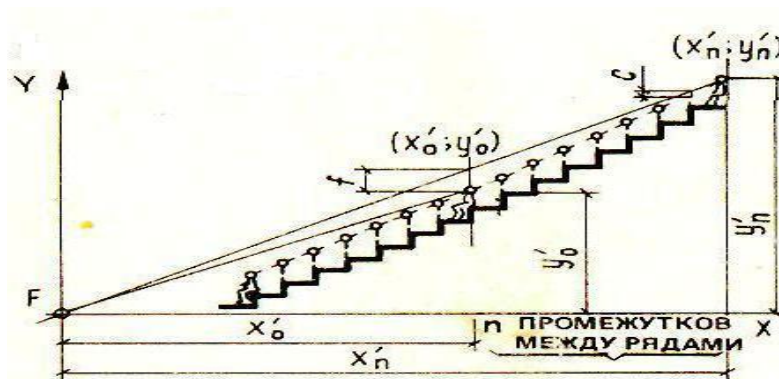


Рис. 10 Схема графического способа построения линии подъема зрительских мест по ломаной линии

Затем оставшуюся длину зрительного зала делим на отдельные группы с различным количеством рядов с указанием проходов между группами рядов. Затем для каждой группы рядов определяем превышение n -го ряда зрителей над точкой наблюдения, просуммировав численные значения превышений, устанавливаем общий подъем зрительских мест в зале.

Наряду с графическим способом построения линии подъема зрительских мест в зрительных залах, эту же задачу можно выполнить *аналитическим методом*.

Превышение n -го ряда зрителей над точкой наблюдения при криволинейной поверхности (рис. 6) можно определить по формуле

$$Y_n = X_n \left(\frac{Y_0}{X_0} + 2,4 \frac{c}{d} \lg \frac{X_n}{X_0} \right), \quad (1)$$

где Y_n - превышение n -го ряда зрителей над точкой наблюдения;

Y_0 - превышение 1-го ряда зрителей над точкой наблюдения;

X_0 - расстояние от точки наблюдения до спинки 1-го ряда зрителей;

c – величина превышения луча зрения;

d – расстояние между спинками кресел;

X_n - расстояние от точки наблюдения до спинки n -го ряда зрителей, определяемое по формуле

$$X_n = X_0 + d(n - 1), \quad (2)$$

где n - порядковый номер n -го ряда зрителей;

X_n , X_0 , и d - то же, что и в формуле (1).

Формула (1) справедлива, когда количество рядов составляет не менее семи.

В случае расположения зрительских мест в зале в виде отдельных отрезков (рис. 7), величину подъема последнего ряда в каждом отрезке можно определить по формуле

$$Y_n = \frac{X_n}{X_0} [c(n - 1) + Y_0], \quad (3)$$

где X_0 и Y_0 – координаты глаз зрителя в первом ряду рассматриваемого отрезка;

X_n и Y_n – в последнем (n') ряду того же отрезка;

n – количество рядов в пределах группы мест.

Высоту ступени (r) в пределах группы зрительных мест рассчитывают по формуле

$$r = \pm h + c \cdot n/m, \quad (4)$$

где h - разница в уровнях точки наблюдения (фокуса F) и головы зрителя, сидящего в первом ряду данной группы мест. Знак «плюс» принимается в случае, когда точка наблюдения расположена ниже уровня головы зрителя, а знак «минус» - когда точка наблюдения расположена выше уровня головы зрителя;

c - расчетное превышение луча зрения;

n - расстояние от точки наблюдения до спинки кресла первого ряда данной группы мест, выраженное в количестве рядов;

m - расстояние от точки наблюдения до спинки кресла последнего ряда данной группы мест, выраженное в количестве зрительных рядов.

Если между группами мест нет прохода, то (m) измеряют до спинки кресла первого ряда следующей группы мест.

Общую высоту подъема зрительных рядов в пределах данной группы мест (H) можно вычислить по формуле

$$H = r \cdot (m - n), \quad (5)$$

где r , m и n - те же значения, что и в формуле (4).

В зрительных залах большой вместимости более экономичным является сочетание профиля пола по наклонной прямой с горизонтальным полом для размещения передних рядов мест (рис.11). Возможность такого сочетания появляется при расположении точки видимости F выше уровня глаз зрителей первого ряда.

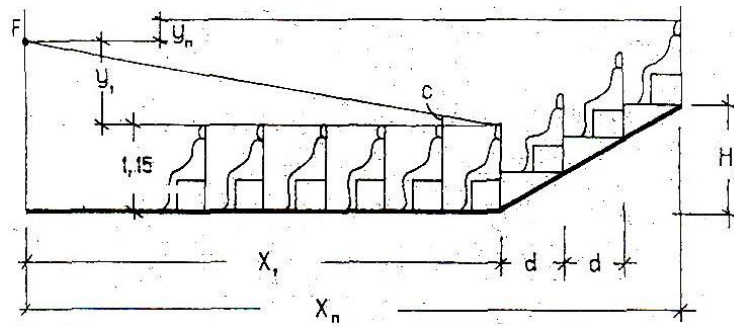


Рис.11 Расчетная схема для определения профиля пола наклонной прямой с горизонтальным полом для размещения передних рядов мест

Расчет профиля пола в этом случае осуществляется в два этапа: на первом этапе определяют расстояние от точки наблюдения (F) до глаза зрителей первого ряда мест перед подъемом профиля пола X_1 , а на втором – разницу уровней между точкой наблюдения (F) и глазом зрителя последнего ряда наклонной прямой Y_n и превышение уровня горизонтального пола и последнего ряда мест наклонного участка.

Расстояние от точки наблюдения (F) до глаза зрителей первого ряда мест перед подъемом профиля пола X_1 определяют по формуле

$$X_1 = d \cdot Y_1 / c, \quad (6)$$

Разницу уровней y_n и превышение H_n рассчитывают по формулам

$$\text{при } Y_1 > 0 \quad Y_n = \frac{X_n}{X} \cdot (c \cdot M + Y_1), \quad (7)$$

$$H_n = Y_n - Y_1, \quad (8)$$

$$\text{при } Y_1 < 0 \quad Y_n = \frac{X_n}{X} \cdot (c \cdot M - Y_1), \quad (9)$$

$$H_n = Y_n + Y_1, \quad (10)$$

где d - расстояние между рядами мест, м;

Y_1 - разница между точкой наблюдения (F) и уровнем глаз зрителей первого ряда;

c - расчётное превышение луча зрения к точке наблюдения (F) над уровнем глаз зрителей предыдущего ряда мест;

Y_n - разница уровней между точкой наблюдения (F) и глазом зрителя последнего ряда наклонных мест;

X_n - расстояние по горизонтали от точки наблюдения (F) до глаза зрителя последнего ряда наклонных мест;

X_1 - то же, от точки наблюдения (F) до глаз зрителей первого ряда мест, расположенного на горизонтальной плоскости пола;

M - число рядов мест в пределах профиля пола по наклонной прямой;

H_n - превышение уровня пола последнего ряда мест над уровнем пола первого ряда мест.

В тех случаях, когда точка видимости (F) расположена выше уровня глаз зрителей первого ряда, беспрепятственная видимость может быть обеспечена при горизонтальном профиле пола без подъема рядов (рис. 12). Длина горизонтального пола в таких помещениях может быть определена по формуле:

$$X_1 = d \cdot h / c, \quad (11)$$

где X_1 - расстояние по горизонтали от точки видимости до глаз зрителей последнего ряда мест;

d - расстояние между рядами мест, измеряемое между спинками сидений;

h - разница уровней между точкой видимости и уровнем глаз зрителей первого ряда мест;

c - превышение луча зрения к точке видимости над уровнем глаз зрителя предыдущего ряда мест.

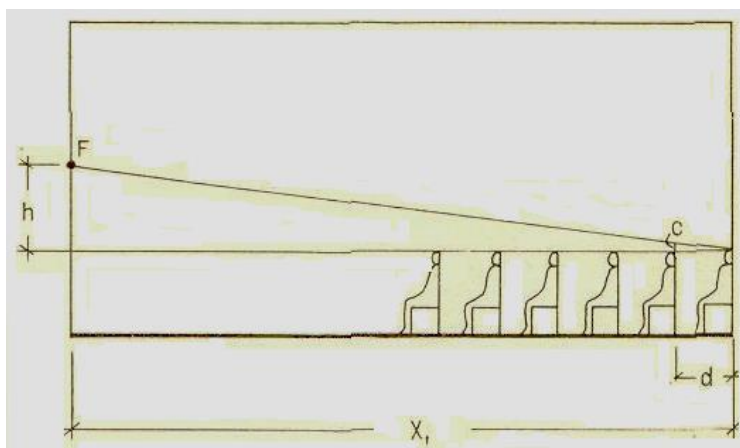


Рис. 12. Расчетная схема для определения зрительских мест при горизонтальном поле. Длина горизонтального пола в этих случаях весьма ограничена и зависит от превышения точки F над уровнем глаз зрителей, поэтому применяется для относительно небольших аудиторий и зрительных залов.

Наряду с графическими методами определения беспрепятственной видимости в зрительных залах существует метод определения подъема рядов мест с помощью плоской светотехнической модели. При использовании данного метода точку наблюдения (F), расположенную на сцене, арене или экране, заменяют направленным источником света, который дает резко очерченные тени. Вместо зрителей на макете рядов зала устанавливают пластинки, которые можно перемещать по вертикали. Принимая освещенную часть каждой пластинки равной необходимому превышению зрительного луча, на модели получают требуемую кривую подъема мест зала (рис. 13).

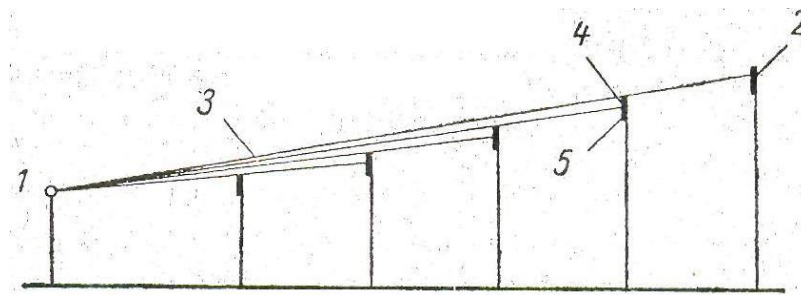


Рис.13 Схема действия плоской светотехнической модели

1-источник света; 2-пластинка; 3- световой луч; 4- освещенная часть пластинки; 5-то же, затененная

Библиографический список

1. Архитектурная физика: Учеб. для вузов: Спец. "Архитектура"/ В.К.Лицкевич, Л.И.Макриненко, И.В. Мигалина и др.; Под ред.Н.В.Оболенского.-- М.: Стройиздат,2003.- 448 с.
2. Архитектура гражданских и промышленных зданий: Гражданские здания / Под ред.А.В.Захарова. - М.: Стройиздат, 1993.- 638 с.
3. Физико – техническое проектирование ограждающих конструкций зданий : учеб. Пособие / А.И. Маковецкий, А.Н. Шихов. – Пермь : Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007, - 356 с. ил.

4. Городские многоцелевые залы. Гнедовсий Ю.П., Рябышева И.Д., Обзор ЦНТИ., -М., 1977

Примеры расчета

Пример 1.

Определить уровень подъема 20-го ряда зрительских мест при криволинейной поверхности пола при следующих величинах исходных данных:

- расстояние от фокуса до спинки сидения зрителя 1-го ряда $X_0=5$ м;
- расстояние от глаз зрителя 1-го ряда до фокуса $Y_0=0,05$ м;
- превышение луча зрения $c=0,12$ м.

Решение

Для решения задачи вычерчиваем в масштабе разрез зала с использованием исходных данных (рис. к примерам 1 и 2).

Далее определяем расстояние от точки наблюдения (фокуса) до спинки кресла зрителя 20-го ряда по формуле (2)

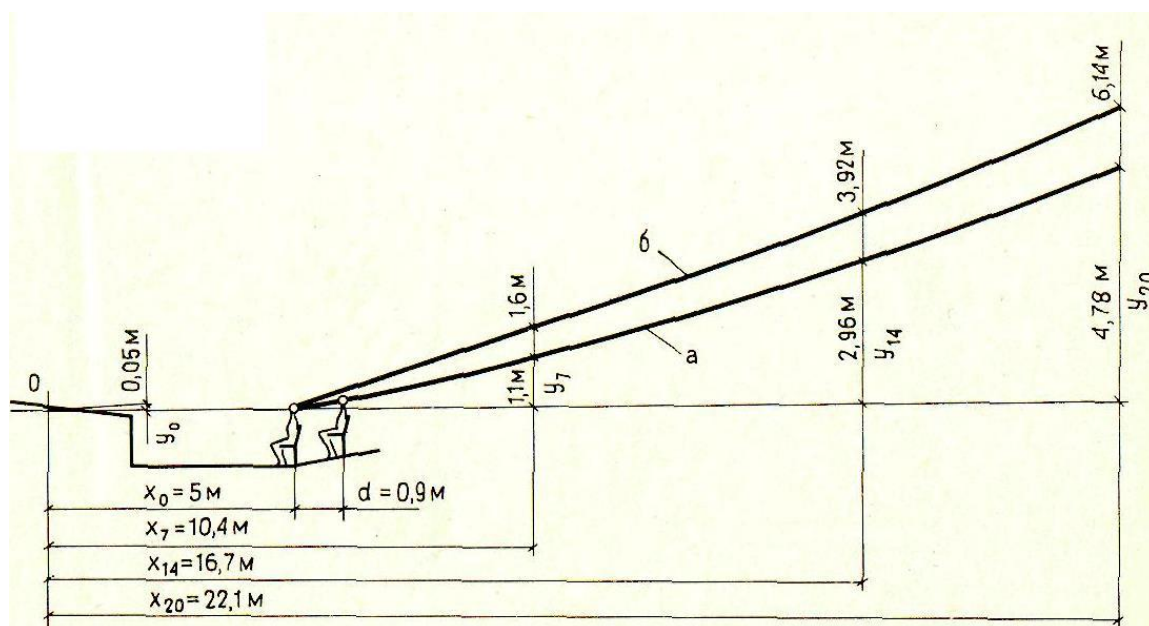
$$X_{20} = X_0 + d(n - 1) = 5 + 0,9(20 - 1) = 22,1 \text{ м}$$

Вычисляем величину подъема 20-го ряда зрительских мест по формуле (1)

$$Y_n = Y_n = X_n \left(\frac{Y_0}{X_0} + 2,4 \frac{c}{d} \lg \frac{X_n}{X_0} \right) = 22,1 \left(0,05/5 + 2,4 (0,12/0,9) \lg 22,1/5 \right) = 4,78 \text{ м.}$$

Вывод:

При расположении зрительских мест по кривой расстояние от точки наблюдения (фокуса) до спинки кресла зрителя 20-го ряда составляет 22,1 м, а величина подъема 20-го ряда зрительских мест – 4,78 м.



Пример 2.

Определить уровень подъема зрительских мест при их расположении по ломанной линии и высоту ступеней каждого наклонного участка, состоящего из трех отрезков в 7 + 7 + 6 рядов при следующих величинах исходных данных:

- расстояние от фокуса до спинки сидения зрителя 1-го ряда $X_0=5$ м;
- расстояние от глаз зрителя 1-го ряда до фокуса $Y_0=0,05$ м;
- превышение луча зрения $c=0,12$ м;

Решение

Для решения примера 2 используем приведенный ранее рисунок к примеру 1.

1. Определяем расстояние от точки наблюдения (фокуса) до спинок кресел соответственно 7-го, 14-го и 20-го рядов зрителей, используя формулу (2)

$$X_n = X_0 + d(n - 1):$$

$$X_7 = 5 + 0,9(7 - 1) = 10,4 \text{ м};$$

$$X_{14} = 5 + 0,9(14 - 1) = 16,7 \text{ м};$$

$$X_{20} = 5 + 0,9(20 - 1) = 22,1 \text{ м}^2.$$

2. Вычисляем величину подъема 7-го, 14-го и 20-го рядов зрительских мест, используя формулу (3)

$$Y_n = \frac{X_n}{X_0} [c(n - 1) + Y_0]$$

$$Y_7 = 10,4/5 [0,12(7-1)+0,05] = 1,6 \text{ м};$$

$$Y_{14} = 16,7/10,4 [0,12(7-1)+3,92] = 6,14 \text{ м}.$$

3. Общая высота подъема зрительских мест при расположении их по наклонной линии, состоящей из трех отрезков, составляет:

$$Y_7 + Y_{14} + Y_{20} = 1,6 + 3,92 + 6,14 = 11,66 \text{ м}.$$

4. Вычисляем высоту ступенек в каждой группе зрительских мест, используя формулу (4)

$$r = h + c \cdot n/m$$

- для первой группы мест из 7 рядов

$$r_1 = 0,05 + 0,12 \cdot 5,5/11,5 = 0,06 \text{ м}$$

- для второй группы мест из 7 рядов

$$r_2 = 1,6 + 0,12 \cdot 11,5/18,5 = 0,132 \text{ м}$$

- для третьей группы мест из 6 рядов

$$r_3 = 3,92 + 0,12 \cdot 18,5/24,5 = 0,194 \text{ м}$$

Вывод:

При расположении зрительских мест по ломаной линии, состоящей из трех участков в 7; 7 и 6 рядов кресел, расстояние от точки наблюдения я (F) до спинок кресел 7; 14 и 20 рядов зрителей составляет соответственно 10,4; 16,7 и 22,1 м, а величина подъема - 1,6; 3,92 и 6,14 м, а общая высота подъема зрительских мест - 11,66 м. Высота ступеней 1-го участка рядов равна 100 мм, 2-го - 150 мм и 3-го - 200 мм. Как показывает рисунок к примерам 1 и 2, ломаная линия имеет более крутой подъем зрительских мест по сравнению с кривой линией. Поэтому, если необходимо уменьшить подъем зрительских мест, следует брать более короткие отрезки прямых, 17 например, в 3-4 ряда.

Пример 3.

Для зрительного зала большой вместимости, имеющего сочетание профиля пола по наклонной прямой с горизонтальным полом для размещения передних рядов мест (рис. 10), определить длину горизонтального участка пола и разницу уровней между точкой наблюдения (F) и глазом зрителя последнего ряда наклонной прямой (y_n), а также превышение уровня горизонтального пола и последнего ряда мест наклонного участка (H_n) при следующих величинах исходных данных:

- расстояние между рядами мест, измеряемое между спинками сидений $d=0,9$ м;
- разница между точкой наблюдения (F) и уровнем глаз зрителей первого ряда $y_1 = 1,5$ м;
- превышение луча зрения $c = 0,12$ м;
- расстояние по горизонтали от точки наблюдения (F) до глаза зрителя последнего ряда наклонных мест $x = 25$ м;
- число рядов мест в пределах профиля пола по наклонной прямой $M = 7$.

Решение

Поставленную задачу решаем в два приема: сначала определяем длину горизонтального участка пола (X_1), а затем устанавливаем численные значения (y_n) и (H_n). 1.

Для определения длины горизонтального участка используем формулу (6):

$$X_1 = 0,9 \cdot 1,5 / 0,12 = 11,25 \text{ м}$$

Устанавливаем разницу уровней между точкой наблюдения (F) и глазом зрителя последнего ряда наклонной прямой (y_n) по формуле (7):

$$y_n = \frac{x_n}{x} \cdot (c \cdot M + y_1) = (25/11,25) \cdot (0,12 \cdot 7 + 1,5) = 5,2 \text{ м}$$

3. Рассчитываем превышение уровня горизонтального пола и последнего ряда мест наклонного участка (H_n) по формуле (8):

$$H_n = y_n - y_1 = 5,2 - 1,5 = 3,7 \text{ м.}$$

Вывод:

Для поставленной задачи установлено, что горизонтальная часть пола от точки фокуса до последнего зрительного ряда составляет 11,25 м; превышение между точкой наблюдения (F) и глазом зрителя последнего ряда наклонной прямой $y_n = 5,2$ м и превышение уровня горизонтального пола и последнего ряда мест наклонного участка $H_n = 3,7$ м.

Пример 4.

Определить длину зала при горизонтальном профиле пола без подъема рядов (рис. 11) при следующих величинах исходных данных:

- расстояние между рядами мест, измеряемое между спинками сидений $d=0,9$ м;
- разница уровней между точкой видимости и уровнем глаз зрителей первого ряда мест $h = 2,5$ м;
- превышение луча зрения $c = 0,12$ м.

Решение

Для решения примера используем формулу (6), в которую подставляем исходные данные и определяем длину зала: $X_1 = 0,9 \cdot 2,5 / 0,12 = 18,75$ м

Вывод:

При горизонтальном расположении зрительских мест и разницей уровней между точкой видимости и уровнем глаз зрителей первого ряда мест $h = 2,5$ м длина зала должна составлять 18,75.

Учебное издание

А.Н. Шихов, Т.Ю. Запольских, Н.Б. Курякова

**РАСЧЕТ БЕСПРЕЯТСТВЕННОЙ ВИДИМОСТИ В
ЗРИТЕЛЬНЫХ ЗАЛАХ**

Учебно-методическое пособие

ПНИПУ

Кафедра архитектуры и урбанистики