

Практическое занятие №1

Строительная климатология

Содержание практического занятия №1

1. Анализ и оценка внешних климатических условий для архитектурного проектирования.
2. Анализ климатических параметров места строительства.
3. Составление климатического паспорта здания.

Задачами практического занятия №1 являются:

1. Выполнение практического занятия по разделу 1, представленного в содержании практического занятия.

1.1. Теоретическая часть

Климатический анализ позволяет дать оценку преобладающей погоды в районе строительства и на основе этого дать рекомендации по архитектурно-планировочным, конструктивным и инженерно-техническим решениям здания.

По величине климатических характеристик погода делится на 7 классов. Классы погоды:

- Суровая (С),
- Холодная (Х),
- Прохладная (П),
- Комфортная (К),
- Теплая (Т),
- Сухая жаркая или засушливая (З),
- Жаркая с нормальной и повышенной влажностью (Ж).

Типу погоды должен соответствовать режим эксплуатации зданий. Установлены 4 режима:

- открытый,

- полуоткрытый,
- закрытый,
- изолированный.

Связь между погодой и режимом эксплуатации зданий представлена в таблице 1. Также в таблице приводятся рекомендации по архитектурно-техническим средствам регулирования микроклимата в зданиях и наружной среде в зависимости от режима эксплуатации зданий и типа погоды.

Таблица 1

Архитектурно-технические средства регулирования микроклимата в зданиях и наружной среде

Режим эксплуатации и тип погоды	Архитектурно-планировочные решения	Конструктивные решения	Инженерно-технические решения
Открытый, комфортная	Открытые помещения, лоджии, веранды. Бытовые процессы на воздухе	Трансформация ограждений	Не используются
Полуоткрытый, прохладная	Ориентация на солнце. Защита территории от ветра зелёными посадками, использование интермии	Одинарное остекление, трансформация ограждений	Отопление малой мощности, не регулярное. Вентиляция естественная, вытяжная с притоком через щели окон
Закрытый, холодная	Компактные решения, уменьшение теплопотерь, тёплые лестницы, тамбура, шкафы для верхней одежды в квартирах, ориентация на	Ограждения необходимых теплозащитных качеств и воздухо-непроницаемости. Двойное остекление	Центральное отопление средней мощности. Вентиляция естественная, вытяжная с притоком через щели окон

Режим эксплуатации и тип погоды	Архитектурно-планировочные решения	Конструктивные решения	Инженерно-технические решения
	солнечные стороны, защита территорий от ветра зданиями и посадками хвойных пород		
Изолированный, суровая	Максимальная компактность, минимальные теплопотери, тёплые лестницы, двойные тамбуры, вентилируемые шкафы для верхней одежды в квартирах, гардеробные комнаты в общественных зданиях. Защита территорий от ветра зданиями. Тёплые переходы между зданиями, крытые улицы и центры, утеплённые остановки общественного транспорта	Высокие воздухо- непроницаемость и теплозащитные качества ограждений. Тройное и четвёрное остекление. Фундаменты с учётом вечной мерзлоты	Центральное отопление большой мощности. Механическая приточно-вытяжная вентиляция с подогревом и увлажнением воздуха
Полуоткрытый, тёплая	Сквозное, угловое, проветривание, солнцезащита, открытые помещения, лоджии, веранды. Лестницы полуоткрытые, без	Трансформация ограждений, солнцезащита	Механические вентиляторы – фены. При инсоляции требуется искусственное охлаждение

Режим эксплуатации и тип погоды	Архитектурно-планировочные решения	Конструктивные решения	Инженерно-технические решения
	тамбуров. Ориентация на юг и север. Затенение и аэрация территорий, использование ночных прохладных ветров		
Закрытый, жаркая, сухая	Компактные решения, уменьшение теплоступлений. Солнцезащита. Затенение и обводнение территорий. Защита от пыльных ветров, использование ночных прохладных ветров	Ограждение необходимых теплозащитных качеств и воздухо- непроницаемости. Солнцезащита окон и стен. Остекление двойное или одинарное	Искусственное охлаждение воздуха без снижения влагосодержания, механические вентиляторы, фены
Изолированный, жаркая с нормальной и повышенной влажностью	Компактные решения, минимальные теплоступления. Солнцезащита. Затенение пешеходных путей зданиями, максимальная аэрация территории	Высокие воздухо- непроницаемость и теплозащитные качества. Солнцезащита. Остекление двойное или одинарное, с противомоскитным и сетками	Полное кондиционирование, побудительная вентиляция вытяжная вентиляторы - фены

Результаты анализа общих и местных климатических условий района строительства удобно представлять в виде строительно-климатического паспорта.

Строительно-климатический паспорт – это свод метеорологических и геофизических данных, используемых в градостроительной практике. Исходными данными для его составления являются общие и комплексные характеристики или показатели по элементам климата.

К общим характеристикам относятся: солнечная радиация (приход на горизонтальную и вертикальные поверхности, продолжительность облучения, ультрафиолетовая радиация); температуры воздуха (средняя, экстремальная, зимнего, летнего и отопительного периодов); ветер (направление, скорость, повторяемость); влажность воздуха (относительная, абсолютная); осадки (суммы, средние, экстремальные, снежный покров, гололед); промерзание грунтов (глубина, ход нулевой изотермы в зимнее время).

Комплексные характеристики включают: климатическое районирование; радиационный и тепловлажностный режимы; погодные условия (суровость климата, термическая роза ветров); световой климат; снегоперенос; пылеперенос; косые дожди.

Общие и комплексные характеристики используются на первых стадиях градостроительного проектирования при технико-экономическом обосновании генерального плана города. На последующих стадиях используется местная или микроклиматическая ситуация в городе, которая характеризуется показателями, получаемыми при экспериментальных наблюдениях или расчетом в условиях сложившейся застройки.

1.2. Практическая часть

Для выявления преобладающего типа погоды составляется таблица. Для каждого месяца в ночные (7 ч) и дневные (13 ч) часы устанавливается с помощью графика (рисунок 1) тип погоды и отмечается каким-нибудь условным обозначением в соответствующей клеточке таблицы.

температура в градусах цельсия		относительная влажность воздуха в %			
		0-24	25-49	50-74	75-100
верхний предел	нижний предел				
47,9	44,0			1	
43,9	40,0				
35,9	36,0	2			
35,9	32,0				
31,9	28,0				
27,9	24,0				3
23,9	20,0				
19,9	16,0		4		
15,9	12,0				
11,9	8,0			5	
7,9	4,0				
3,9	0,0				
-0,1	-3,9				
		скорость ветра в м/сек			
		0-1,9	2-4,9	5-4,9	10 и более
-4,0	-11,9				
-12,0	-19,9			6	
-20,0	-27,9				
-26,0	-35,9				7
-36,0	-47,7				
-48,0	-59,9				
-60	-71,9				

Классификация погодных условий:

1 – жаркая (Ж);

2 – сухая жаркая или засушливая (З);

3 – теплая (Т);

4 – комфортная (К);

5 – прохладная (П);

6 – холодная (Х);

7 – суровая (С).

Рис. 1. Классификация погодных условий для определения типа погоды

Делается вывод о преобладающем типе погоды. Преобладающих типов погоды может быть несколько, например, два: для зимы и лета. При континентальном климате в летние и переходные месяцы следует обратить внимание отдельно на погоду ночную (утреннюю) и дневную. Преобладающие типы погоды определяют режим эксплуатации здания, типологические требования к нему, а также организацию жилой среды в городе. На основе оценки погоды данной местности составляются архитектурно-планировочные и инженерно-технические требования.

Выполним анализ климатических параметров места строительства на примере города Уральск:

1. Для анализа погоды района строительства необходимы данные по дневной (13 часов) и ночной (7 часов) температуре воздуха, соответствующей им влажности и скорости ветра для каждого месяца (таблица 2).

Таблица 2

Климатические данные для города Уральска

		Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VII I	IX	X	XI	XII
Температура, °C	7 ч.	-17,8	-17,7	-11,0	+ 0,7	+ 8,9	+ 13,9	+ 16,2	+ 14,0	+7,9	+1,2	-6,2	-14,4
	13 ч.	-11,7	-10,1	-3,3	+ 10,0	+ 20,6	+ 25,8	+ 28,7	+ 26,6	+ 19,7	+ 18,5	-0,7	-8,8
Относительная влажность, %	7 ч.	84	83	83	75	63	62	60	65	73	81	84	86
	13 ч.	79	73	72	51	40	39	39	39	43	52	72	79
Скорость ветра, м/с		4,6	5,3	5,2	5,8	5,9	5,5	5,3	5,5	5,8	5,4	5,2	4,8

2. По рисунку 1 на пересечении температуры (в диапазоне от -3,9 °C до +47,9) и влажности или температуры (в диапазоне от -4,0 °C до -71,9) и скорости ветра определяется характерный для данного месяца и времени суток тип погоды и записывается соответствующей буквой в Таблицу 3.

Например, определим тип погоды для дневных часов в июне (VI), для которых характерна температура +25,8°C. Поскольку данная температура больше -3,9°C, то также определяем соответствующую влажность, равную 39%. По рис 1. Определяем, что данная температура относится к диапазону от +27,9°C до +24,0°C, а влажность к диапазону от 25% до 49%. На пересечении соответствующей строки и столбца определяем тип погоды. Аналогично поступаем для всех месяцев.

Заполненная таблица оценки погодных характеристик для города Уральска

	Месяцы											
Время	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Дневные часы (13 ч.)	X	X	X	X	П	К	К	К	П	X	X	X
Ночные часы (7ч.)	X	X	X	П	К	К	Т	К	К	К	X	X

3. Подсчитываем буквы и записываем их в виде формулы. В данном случае получаем:

12X 3П 8К 1Т

4. Определяем преобладающие типы погоды. Преобладающих типов погоды может быть несколько, например, два: для холодного и теплого периодов года. В данном случае в холодный период преобладает холодный (X) тип погоды, а в теплый – комфортный (К). Даем следующие рекомендации:

Для холодного периода года рекомендуются следующие архитектурно-технические средства регулирования микроклимата в зданиях и наружной среде:

1. Архитектурно-планировочные: компактные решения, уменьшение теплопотерь, тёплые лестницы, тамбура, шкафы для верхней одежды в квартирах, ориентация на солнечные стороны, защита территорий от ветра зданиями и посадками хвойных пород.

2. Конструктивные: ограждения необходимых теплозащитных качеств и воздухопроницаемости. Двойное остекление.

3. Инженерно-технические: центральное отопление средней мощности. Вентиляция естественная, вытяжная с притоком через щели окон.

Для теплого периода года рекомендуются следующие архитектурно-технические средства регулирования микроклимата в зданиях и наружной среде:

1. Архитектурно-планировочные: открытые помещения, лоджии, веранды. Осуществление бытовых процессов на воздухе.
2. Конструктивные: трансформируемые ограждения.

Задание для самостоятельной проработки:

Выполнить анализ климатических параметров места строительства и дать рекомендации по применению архитектурно-технических средств регулирования микроклимата в зданиях и наружной среде для г. Иркутск согласно нижеприведенным данным:

		Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VII I	IX	X	XI	XII
Температура, °C	7 ч.	-23.7	-22.8	-15.2	-2.5	-5.3	+11.8	+14.6	+11.8	+4.3	-3.2	-13.5	-20.8
	13 ч.	-17.3	-13.0	+4.1	+5.7	+13.5	+20.2	+22.7	+20.1	+13.5	+5.5	-7.0	-15.7
Относительная влажность, %	7 ч.	81	79	80	70	66	76	83	88	90	88	86	86
	13 ч.	78	65	54	41	39	50	58	60	57	56	73	84
Скорость ветра, м/с		1.9	2.2	2.7	3.0	3.1	2.5	2.1	2.1	2.2	2.2	2.1	1.5

Практическое занятие №2

Системы естественного освещения. Расчет естественного освещения в зданиях

Содержание практического занятия №2

4. Проектирование систем бокового, верхнего и совмещенного освещения в помещении.
5. Расчет нормированного значения КЕО.
6. Расчет коэффициента естественной освещенности (К.Е.О.) одной из систем освещения.

Задачами практического занятия №2 являются:

1. Выполнение практического занятия по разделу 2, представленного в содержании практического занятия.

1.1. Теоретическая часть

Общие положения

Естественное освещение осуществляется через проемы в ограждающих конструкциях зданий и может быть боковым (через окна), верхним (через фонари) и комбинированным (через окна и фонари одновременно).

Наибольшее значение в практике проектирования и экспериментальных исследований светового режима помещений имеют величины освещенности и коэффициента естественной освещенности.

Освещенность измеряется в абсолютных единицах – люксах (Лк).

Формула для общего расчета E , лк:

$$E = \Phi/S,$$

где Φ — световой поток, лм; S — площадь, м².

Освещенность в 1 лк создается световым потоком в 1 лм на площади 1 м². Однако в строительной светотехнике используется относительная величина — коэффициент естественной освещенности (КЕО), е % - отношение естественной

освещенности в лк ($E_{\text{вн}}$), создаваемой в какой-либо точке М заданной плоскости внутри помещения светом неба (непосредственно или после отражений), к одновременной наружной горизонтальной освещенности ($E_{\text{нар}}$), создаваемой светом полностью открытого небосвода:

$$e = \frac{E_{\text{вн}}}{E_{\text{нар}}} \cdot 100\%$$

Основное допущение при расчетах К.Е.О. по стандартной (нормативной) методике – это предположение о том, что небо – полностью облачное (низкая сплошная облачность в 10 баллов), которое обеспечивает наружное диффузное освещение с распределением яркости по небосводу по закону Муна-Спенсер.

Методика расчета

Определение нормированного значения КЕО

Нормированные значения КЕО для зданий определяются по формуле:

$$e_N = e_H \cdot m_N$$

где e_H – значение нормируемого КЕО, зависящего от типа помещения по таблице 1;

N – номер группы обеспеченности естественным светом по таблице 2;

m_N – коэффициент светового климата по таблице 3.

Таблица 1

Нормированные значения КЕО в помещениях жилых и общественных зданий

пп	Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО*, м	КЕО e_H , %	
			при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении

пп	Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО*, м	КЕО e_H , %	
			при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
Помещения жилых зданий				
	Жилые комнаты, гостиные, спальни	Г - 0,0	2	0,5
	Жилые комнаты общежитий	Г - 0,0	2	0,5
	Кухни, кухни- столовые	Г - 0,0	2	0,5
	Детские	Г - 0,0	2,5	0,7
	Кабинеты, библиотеки	Г - 0,0	3	1
	Бассейн	Г - 0,0 Г - поверхность воды	2	0,5
Административные здания (министерства, ведомства, комитеты, префектуры, муниципалитеты управления, конструкторские и проектные организации, научно-исследовательские учреждения и т. п.)				
	Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представительства	Г - 0,8	3	1
	Проектные залы и комнаты конструкторские, чертежные бюро	Г - 0,8	4	1,5
	Читальные залы	Г - 0,8	3,5	1,2

пп	Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО*, м	КЕО e_H , %	
			при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
0	Помещения для работы с дисплеями и видеотерминалами, залы ЭВМ	Г - 0,8	3,5	1,2
		Г - 0,8	-	-
1	Лаборатории научно- технические (кроме медицинских учреждений)	Г - 0,8	3,5	1,2
<i>Банковские и страховые учреждения</i>				
2	Операционный зал, кредитная группа, кассовый зал, помещения пересчета денег	Г - 0,8	3,5	1,2
<i>Учреждения общего образования, начального, среднего высшего специального образования</i>				
3	Классные комнаты, кабинеты, аудитории общеобразовательных школ, школ интернатов, среднеспециальных и профессионально- технических	Г - 0,8 (рабочие столы и парты)	4	1,5
		В - 1,5 (середина доски)	-	-

пп	Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО*, м	КЕО e_H , %	
			при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
	учреждений, лаборатории, учебные кабинеты физики, химии, биологии и пр.			
4	Аудитории, учебные кабинеты, лаборатории в техникумах и высших учебных заведениях	Г - 0,8	3,5	1,2
5	Кабинеты информатики и вычислительной техники	Г - 0,8	3,5	1,2
		В - 1	-	-
6	Учебные кабинеты технического черчения	Г - 0,8	4	1,5
7	Лаборантские при учебных кабинетах	Г - 0,8	3,5	1,2
8	Крытые бассейны	Г - поверхность воды	2	0,5
9	Кабинеты и комнаты преподавателей	Г - 0,8	3	1
	Рекреации	Г - 0,0	2	0,5

пп	Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО*, м	КЕО e_H , %	
			при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
0				
Учреждения досугового назначения				
1	Выставочные залы	Г - 0,8	2,5	0,7
2	Комнаты кружков и музыкальные классы	Г - 0,8	3	1
Детские дошкольные учреждения (ДДУ)				
3	Раздевальные	Г - 0,0	2,5	0,7
4	Групповые, игровые, столовые, комнаты музыкальных и гимнастических занятий	Г - 0,0	4	1,5
5	Спальные	Г - 0,0	2	0,5
6	Изоляторы, комнаты для заболевших детей	Г - 0,0	2	0,5
Санатории, дома отдыха, гостиницы				
7	Палаты, спальные комнаты, номера	Г - 0,0	2	0,5
Физкультурно-оздоровительные учреждения				
8	Залы спортивных игр	Г - 0,0	3	1
		В - 2,0	-	-

пп	Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО*, м	КЕО e_H , %	
			при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
9	Залы аэробики, гимнастики, борьбы	Г - 0,0	2,5	0,7
0	Зал бассейна	Г - поверхность воды	2	0,5
Учреждения здравоохранения				
Кабинеты врачей				
1	Кабинеты хирургов, акушеров, гинекологов, травматологов, педиатров, инфекционистов, дерматологов, аллергологов, стоматологов; смотровые, приемно- смотровые боксы	Г - 0,8	4	1,5
2	Кабинеты врачей в амбулаторно- поликлинических учреждениях, не приведенные выше	Г - 0,8	3	1
Палаты				
	Палаты: детских	Г - 0,0	3	1

пп	Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО*, м	КЕО e_H , %	
			при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
3	отделений, для новорожденных; интенсивной терапии, послеоперационные, палаты матери и ребенка			
4	Прочие палаты и спальни	Г - 0,0	2	0,5

* Г - горизонтальная, В - вертикальная

Таблица 2

Группы административных районов по ресурсам светового климата

Номер группы N	Административный район
1	Московская, Смоленская, Владимирская, Калужская, Тульская, Рязанская, Нижегородская, Свердловская, Пермская, Челябинская, Курганская, Новосибирская, Кемеровской области, Республика Мордовия, Красноярский край (севернее 63 с.ш.), Республика Башкортостан, Республика Татарстан, Удмурдская Республика, Чувашская Республика, Республика Саха (Якутия) (севернее 63 с.ш.), Чукотский автономный округ, Хабаровский край (севернее 55 с.ш.).
2	Брянская, Курская, Орловская, Белгородская, Липецкая, Тамбовская, Пензенская, Самарская, Ульяновская,

	Оренбургская, Саратовская, Волгоградская области, Республика Коми, Кабардино-Балкарская Республика, Республика Северная Осетия-Алания, Чеченская Республика, Республика Ингушетия, Ханты-Мансийский автономный округ, Республика Алтай, Красноярский край (южнее 63 с.ш.), Республика Саха (Якутия) (южнее 63 с.ш.), Республика Тыва, Республика Бурятия, Читинская область, Хабаровский край, (южнее 55 с.ш.), Магаданская область, Сахалинская область.
3	Калининградская, Псковская, Новгородская, Тверская, Ярославская, Ивановская, Ленинградская, Вологодская, Костромская, Кировская области, Республика Карелия, Ямало-Ненецкий автономный округ, Ненецкий автономный округ
4	Архангельская, Мурманская области
5	Республика Калмыкия, Ростовская, Архангельская области, Ставропольский край, Республика Дагестан, Амурская область, Приморский край, Краснодарский край

Таблица 3

Коэффициенты светового климата

Световые проемы	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта	Коэффициент светового климата m				
		Номер группы административных районов				
		1	2	3	4	5
В наружных стенах зданий	С	1	1,11	0,91	0,83	1,25
	СВ-СЗ	1	1,11	0,91	0,83	1,25
	З-В	1	1,11	0,91	0,91	1,25
	ЮВ-ЮЗ	1	1,18	1,00	0,91	1,25

	Ю	1	1,18	1,00	0,91	1,33
В прямоугольных и трапецевидных фонарях	С-Ю	1	1,11	0,91	0,83	1,33
	СВ-ЮЗ ЮВ-СЗ	1	1,11	0,83	0,83	1,43
	В-З	1	1,11	0,91	0,83	1,43
В фонарях типа "шед"	С	1	1,11	0,83	0,83	1,43
В зенитных фонарях	-	1	1,11	0,83	0,83	1,33

Определение величины расчетного КЕО

Расчетное значение КЕО для бокового освещения определяется по следующей формуле:

$$e^p = (\varepsilon_{\text{нб}} \cdot q + \varepsilon_{\text{зд}} \cdot b_{\text{ф}} \cdot K_{\text{зд}}) \cdot \tau_0 \cdot r_0 \cdot MF$$

где $\varepsilon_{\text{нб}}$, $\varepsilon_{\text{зд}}$ - геометрические КЕО от неба и здания соответственно,
 q - коэффициент, учитывающий не равномерную яркость неба,
 $b_{\text{ф}}$ - коэффициент, учитывающий яркость фасада противостоящего здания,
 $K_{\text{зд}}$ - коэффициент, учитывающий изменения внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при наличии противостоящих зданий,
 τ_0 - общий коэффициент светопропускания,
 r_0 - коэффициент, учитывающий повышение КЕО, благодаря отражению от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию,
 MF - коэффициент эксплуатации.

Расчетное значение КЕО для верхнего освещения определяется по следующей формуле:

$$e^p = (\varepsilon_{\text{в}} \cdot q + \varepsilon_{\text{ср}} \cdot (r_2 \cdot K_{\text{ф}} - 1)) \cdot \tau_0 \cdot MF$$

где $\varepsilon_{\text{в}}$, $\varepsilon_{\text{ср}}$ - геометрический КЕО,
 q - коэффициент неравномерности яркости участка облачного неба МКО;
 $\varepsilon_{\text{ср}}$ - средний геометрический КЕО,
 γ_2 - коэффициент, учитывающий повышение КЕО при верхнем освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения,
 $K_{\text{ф}}$ - коэффициент, учитывающий тип фонаря,
 τ_0 - общий коэффициент светопропускания,
 MF - коэффициент эксплуатации.

1.2. Практическая часть

Рассмотрим расчет к.е.о. от боковой системы освещения (окна) в жилом помещении, расположенном на первом этаже здания в городе Москве. Помещение и световой проем имеют геометрические параметры, представленные на рис.1. Для жилых помещений расчетная точка (Р.Т.) располагается на полу на расстоянии 1м от стены наиболее удаленной от светового проема. Светопроем заполнен деревянным спаренным переплетом с двойным остеклением.

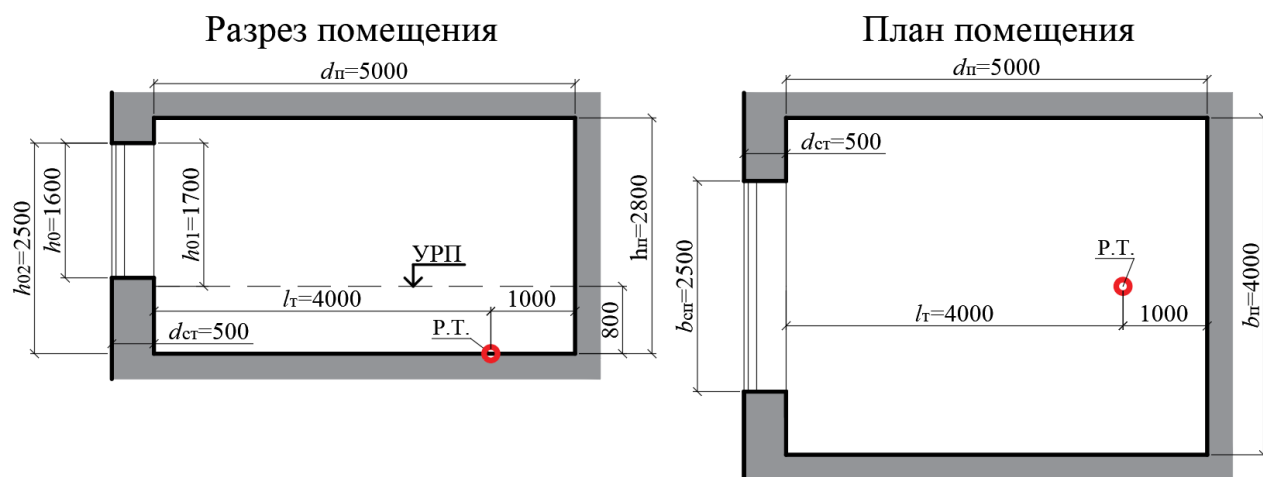


Рис. 1. План и разрез помещения: h_{02} – высота от расчетной точки до верха светового проема, $d_{\text{н}}$ – глубина расчетного помещения, $d_{\text{ст}}$ – толщина стены, содержащей световой проем, $b_{\text{ст}}$ – расстояние между крайними точками светового проема в плане, $h_{\text{н}}$ – высота помещения от пола до потолка, $b_{\text{н}}$ – длина помещения

Напротив располагается здание, перекрывающее своим фасадом половину вида из окна таким образом, что половина естественного света попадает в помещение от неба, а вторая половина отражается от фасада противостоящей застройки (рис.2.). Фасад противостоящего здания облицован белым силикатным кирпичом. Площадь остекления составляет 25% от общей площади поверхности фасада.

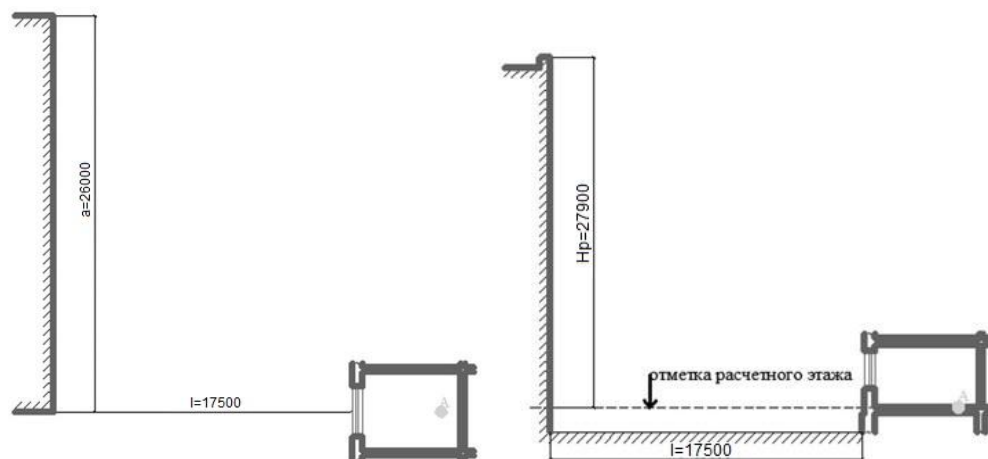


Рис. 2. Расположение противостоящей застройки относительно расчетной точки: l - расстояние между зданиями, a - длина противостоящего здания, H_p - высота противостоящего здания

Расчет нормированного значения КЕО

Для зданий жилого назначения, расположенных в городе Москве, $m_N = 1$ вне зависимости от ориентации светового проема:

$$e^{TP} = e_H \cdot m_N = 0,5 \cdot 1 = 0,5\%$$

Определение величины расчетного КЕО

Расчетное значение КЕО определяется по следующей формуле:

$$e^P = (\varepsilon_{H6} \cdot q + \varepsilon_{зд} \cdot b_{\phi} \cdot K_{зд}) \cdot \tau_0 \cdot r_0 \cdot MF$$

где ε_{H6} , $\varepsilon_{зд}$ - геометрические КЕО от неба и здания соответственно,

q – коэффициент неравномерности яркости участка облачного неба МКО,

b_{ϕ} – коэффициент, учитывающий яркость фасада противостоящего здания,
 $K_{зд}$ - коэффициент, учитывающий изменения внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при наличии противостоящих зданий,
 τ_o - общий коэффициент светопропускания,
 r_o - коэффициент, учитывающий повышение КЕО, благодаря отражению от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию,
 MF - коэффициент эксплуатации.

Геометрический коэффициент естественной освещенности определяется по формуле:

$$\varepsilon_{нб} = 0,01 \cdot (n_{нб1} \cdot n_{нб2})$$

$$\varepsilon_{зд} = 0,01 \cdot (n_{зд1} \cdot n_{зд2})$$

где $n_{нб1}$, $n_{нб2}$, $n_{зд1}$, $n_{зд2}$, - количество лучей, проходящих от неба и от фасада противостоящего здания через световой проем в расчетную точку по первому и второму графикам Данилюка соответственно.

Методика подсчета количества лучей

Накладываем первый график Данилюка на поперечный разрез помещения, совмещая нулевую точку графика с расчетной точкой на разрезе. Горизонталь графика совмещаем, в данном случае, с полом помещения (рис.3). Далее подсчитываем число лучей $n_{нб1}$ и $n_{зд1}$, по первому графику, проходящих через поперечный разрез светового проема. Получаем $n_{нб1} = 6$ и $n_{зд1} = 6$.

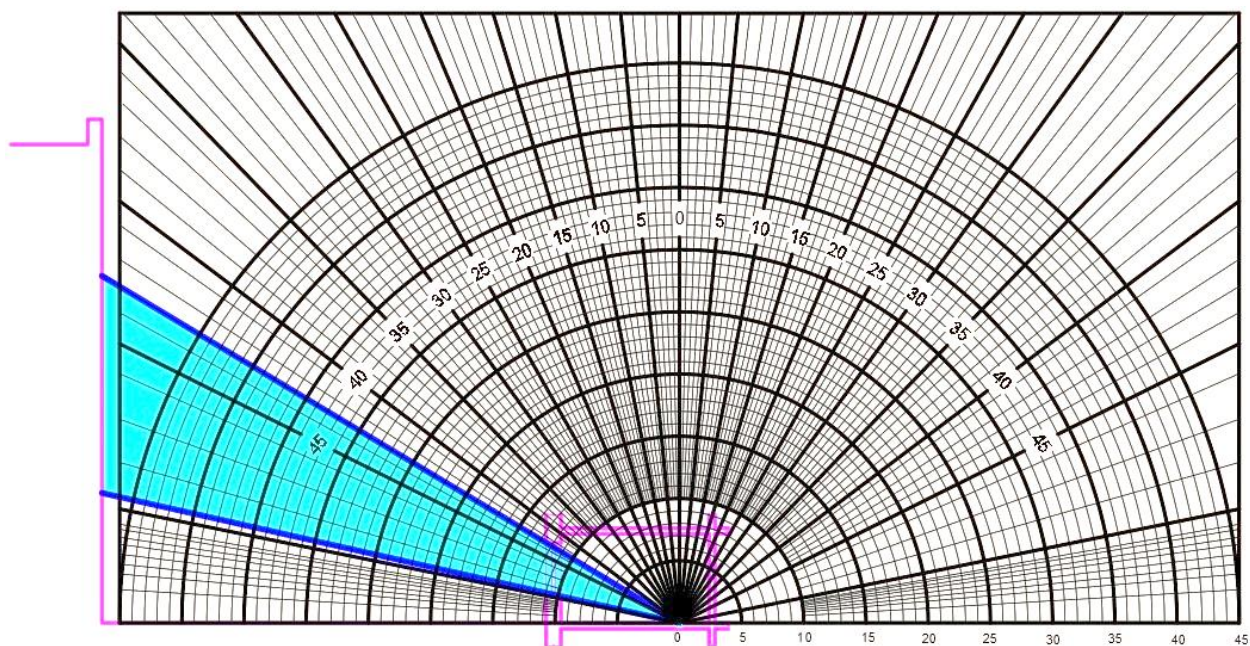


Рис. 3. Подсчет количества лучей по первому графику Данилюка

По первому графику определяем полуокружность C , которая, в данном примере, является наиболее близкой к геометрическому центру светового проема (рис. 4). Получаем $C = 11$.

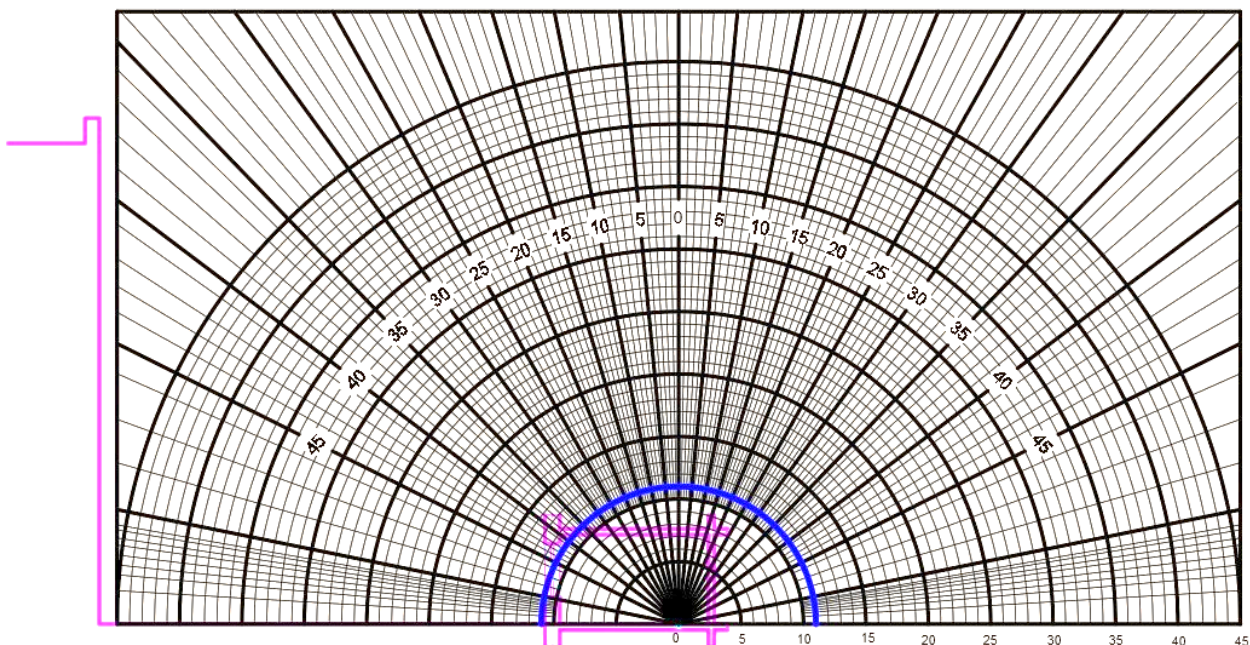


Рис. 4. Определение номера полуокружности и угла по первому графику Данилюка

Также на поперечном разрезе помещения определяем угол θ , соединяющий геометрический центр светового проема, расчетную точку и горизонталь пола помещения (рис.4.). Получаем $\theta = 22^\circ$.

Накладываем второй график Данилюка с планом помещения таким образом, чтобы полуокружность С (на втором графике полуокружности преобразовываются в горизонтали) проходили через центр светопроема, при этом точка 0 графика и расчетная точка не должны совпадать (рис.5).

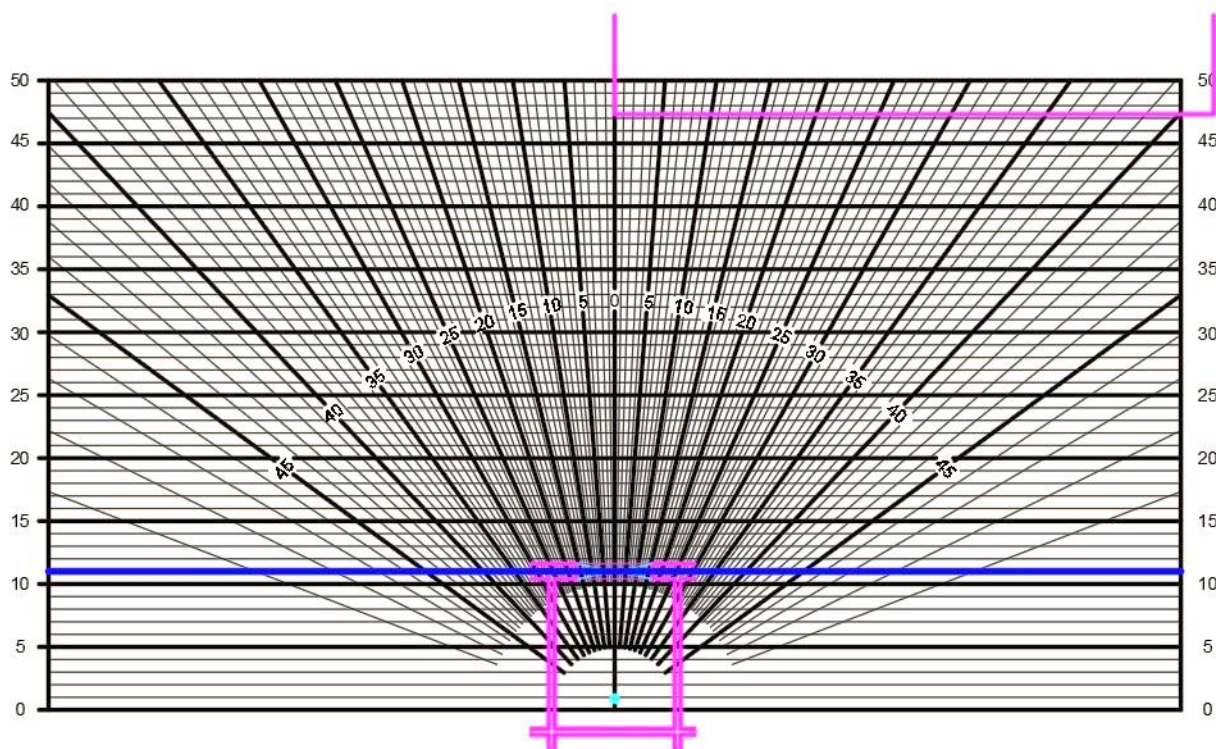


Рис. 5. Подсчет количества лучей по второму графику Данилюка

Подсчитываем число лучей от неба $n_{нб2}$, $n_{зд2}$, проходящих через плоскость светового проема (рис.6). Получаем $n_{нб1} = 16$ и $n_{зд1} = 16$.

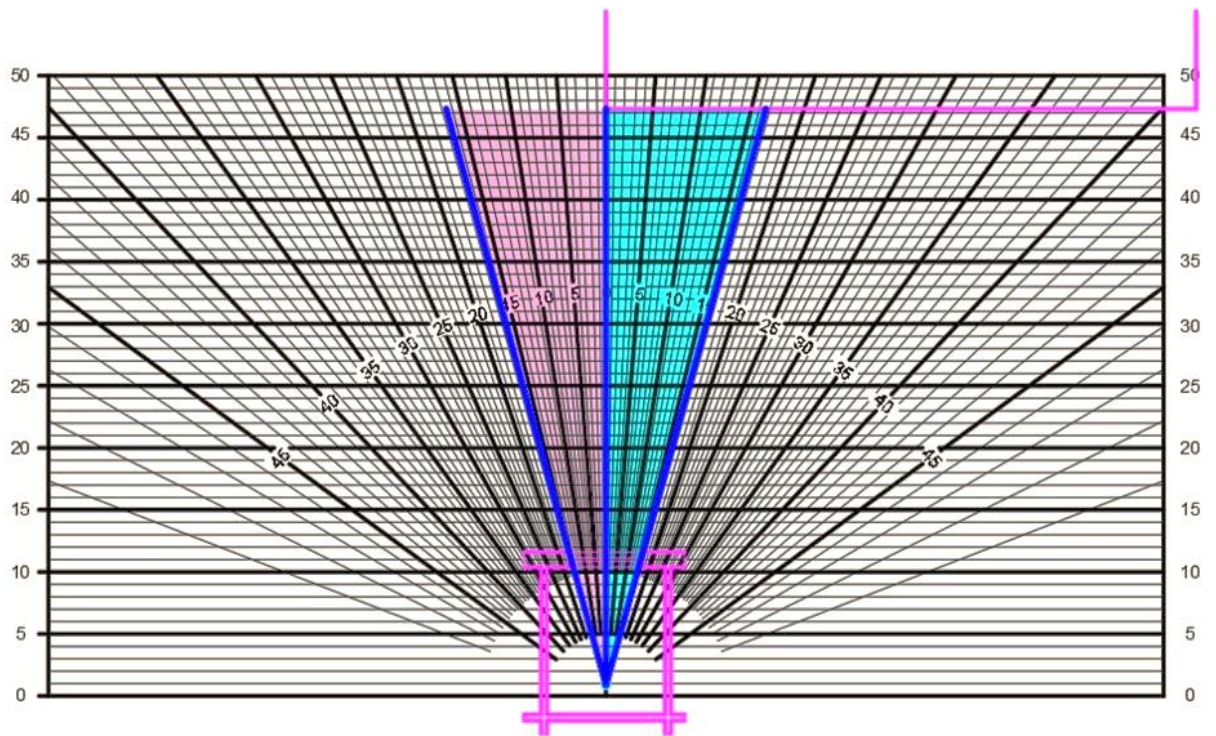


Рис. 6. Подсчет количества лучей по второму графику Данилюка

Рассчитываем геометрический коэффициент естественной освещенности:

$$\varepsilon_{нб} = 0,01 \cdot (n_{нб1} \cdot n_{нб2}) = 0,01 \cdot (6 \cdot 16) = 0,96;$$

$$\varepsilon_{зд} = 0,01 \cdot (n_{зд1} \cdot n_{зд2}) = 0,01 \cdot (6 \cdot 16) = 0,96;$$

Коэффициент q рассчитываем по формуле:

$$q = (1 + 2 \cdot \sin\theta) \cdot \frac{3}{7} (4)$$

$$q = (1 + 2 \cdot \sin 22^\circ) \cdot \frac{3}{7} = 0,75;$$

Перед определением b_{ϕ} находим определить величину средневзвешенного коэффициента отражения фасада ρ_{ϕ} , исходя из отражения материала фасада $\rho_{\text{м}}$ по Таблице 4, коэффициента отражения окон ($\rho_{\text{ок}} = 0,2$), площадей фасада без светопроемов $S_{\text{м}}$ и площадей светопроемов $S_{\text{ок}}$.

Расчетные характеристики отделочных материалов фасадов зданий

Материалы поверхности или цвет фасада	Коэффициент отражения материала поверхности
Белый: белые атмосферостойкие фасадные краски, белый керамогранит, белый мрамор и т.п.	0,7
Очень светлый: очень светлые фасадные краски, белый силикатный кирпич, светло-серый бетон, мрамор, белый камень (известняк, доломит, песчаник), бетон и декоративные штукатурки на белом цементе и светлых заполнителях, очень светлый керамогранит, керамическая плитка, ракушечник и т.п.	0,6
Светлый: светлые фасадные краски, мрамор, камень (туф, песчаник, известняк), бетон, светлые цветные штукатурки, керамический кирпич, светлый керамогранит, светлые породы мрамора, блоки, плитка, дерево (доски) и т.п.	0,5
Средне-светлый: серый офактуренный бетон, цветные фасадные краски, светлое дерево, серый силикатный кирпич, цветной керамогранит и т.п.	0,4
Темный: темные фасадные краски, мрамор, гранит, глиняный кирпич, силикатный кирпич, темный керамогранит, декоративные штукатурки и керамические плитки, потемневшее дерево, медь и т.п.	0,3
Очень темный: очень темные краски, мрамор, гранит, керамогранит и т.п.	0,2
Черный: черные краски, камень (мрамор, базальт, гранит),	0,15

чугун, платинированная бронза, декоративные штукатурки и т.п.	
---	--

Принимаем $\rho_m=0,6$.

По условиям задачи на площадь светопроемов приходится 25%, а на площадь фасада без светопроемов – 75% всей площади фасада соответственно.

Получаем:

$$S_m = (H_p \cdot a) \cdot 0,75 = (27,9 \cdot 26) \cdot 0,75 = 544(\text{м}^2);$$

$$S_{ок} = (H_p \cdot a) \cdot 0,25 = (27,9 \cdot 26) \cdot 0,25 = 181,4(\text{м}^2);$$

Средневзвешенный коэффициент отражения фасада рассчитываем по формуле:

$$\rho_{\phi} = \frac{\rho_m \cdot S_m + \rho_{ок} \cdot S_{ок}}{S_m + S_{ок}}$$

$$\rho_{\phi} = \frac{0,6 \cdot 544 + 0,2 \cdot 181,4}{544 + 181,4} = 0,5;$$

Коэффициент b_{ϕ} определяется по Таблице 5, предварительно определив следующие соотношения геометрических параметров помещения:

$$\frac{l}{a} = \frac{17,5}{26} = 0,67; \frac{a}{H_p} = \frac{26}{27,9} = 0,93;$$

Таблица 5

Относительная яркость фасада

Средне- взвешенный коэффициент отражения	Отношение расстояния между зданиями l к длине	Значения средней относительной яркости фасада противостоящего здания при отношении длины противостоящего здания a к его высоте H_p
---	--	---

фасада $\rho_{\text{ф}}$	противостоящего здания a	0,25 и менее	0,50	1,00	1,50	2,00	3,00	4,00 и более
0,6	2,00 и более	0,29	0,33	0,37	0,39	0,40	0,41	0,41
0,6	1,00	0,24	0,27	0,32	0,34	0,35	0,36	0,36
0,6	0,50	0,20	0,21	0,25	0,28	0,30	0,32	0,33
0,6	0,25 и менее	0,17	0,17	0,18	0,21	0,23	0,27	0,29
0,4	2,00 и более	0,19	0,22	0,24	0,26	0,26	0,27	0,27
0,4	1,00	0,15	0,17	0,20	0,22	0,23	0,23	0,24
0,4	0,50	0,11	0,12	0,15	0,17	0,19	0,20	0,21
0,4	0,25 и менее	0,09	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18
0,2	2,00 и более	0,09	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,14
0,2	1,00	0,07	0,08	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12
0,2	0,50	0,05	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10
0,2	0,25 и менее	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08

Методом интерполяции получаем $b_{\text{ф}}=0,23$

Коэффициент $K_{\text{зд}}$ рассчитываем по формуле:

$$K_{\text{зд}} = (1 + (K_{\text{зд}0} - 1) \varepsilon_{\text{зд}}) / (\varepsilon_{\text{нб}} + \varepsilon_{\text{зд}}); \quad (3.8)$$

где $K_{\text{зд}0}$ - коэффициент, учитывающий изменения к.е.о. в помещении при полном закрытии небосвода зданиями.

Расчетное значение средневзвешенного коэффициента отражения внутренних поверхностей помещения $\rho_{\text{ср}}$ следует принимать равным 0,50 в жилых и общественных помещениях и 0,40 в производственных помещениях.

Предварительно вычисляем коэффициенты z_1 и z_2 :

$$z_1 = \frac{(a \cdot (l_{\text{т}} + d_{\text{ст}}))}{((l + l_{\text{т}} + d_{\text{ст}}) \cdot b_{\text{сп}})} = \frac{(26 \cdot (4 + 0,5))}{((17,5 + 4 + 0,5) \cdot 2,5)} = 2,12;$$

$$z_2 = \frac{(H_p \cdot (l_T + d_{ст}))}{((l + l_T + d_{ст}) \cdot h_{o2})} = \frac{(27,9 \cdot (4 + 0,5))}{((17,5 + 4 + 0,5) \cdot 2,5)} = 2,28;$$

Определяем $K_{зд0}$ по Таблице 6.

Таблица 6

Коэффициент, учитывающий изменения к.е.о. в помещении при полном закрытии небосвода зданиями

Средневзвешенный коэффициент отражения		Индекс противостоящего здания в плане z_1	Значения коэффициента при значениях индекса противостоящего здания в разрезе z_2			
фасада экранирующего здания ρ_f	внутренней поверхности помещения $\rho_{ср}$		0,10 и менее	1,00	2,00	4,00 и более
0,60	0,50	1,0 и менее	1,00	1,34	1,16	1,22
0,60	0,50	2,0	1,00	1,32	1,15	1,21
0,60	0,50	4,0 и более	1,00	1,28	1,12	1,21
0,60	0,45	1,0 и менее	1,00	1,31	1,13	1,21
0,60	0,45	2,0	1,00	1,29	1,12	1,21
0,60	0,45	4,0 и более	1,00	1,25	1,09	1,20
0,60	0,35	1,0 и менее	1,00	1,23	1,08	1,20
0,60	0,35	2,0	1,00	1,22	1,06	1,19
0,60	0,35	4,0 и более	1,00	1,20	1,04	1,19
0,40	0,50	1,0 и менее	1,00	1,47	1,27	1,24
0,40	0,50	2,0	1,00	1,45	1,26	1,24
0,40	0,50	4,0 и более	1,00	1,40	1,23	1,23
0,40	0,45	1,0 и менее	1,00	1,43	1,24	1,24

0,40	0,45	2,0	1,00	1,41	1,23	1,23
0,40	0,45	4,0 и более	1,00	1,38	1,20	1,23
0,40	0,35	1,0 и менее	1,00	1,35	1,18	1,22
0,40	0,35	2,0	1,00	1,34	1,17	1,22
0,40	0,35	4,0 и более	1,00	1,32	1,14	1,21
0,20	0,50	1,0 и менее	1,00	1,59	1,38	1,27
0,20	0,50	2,0	1,00	1,57	1,36	1,27
0,20	0,50	4,0 и более	1,00	1,53	1,34	1,26
0,20	0,45	1,0 и менее	1,00	1,55	1,35	1,26
0,20	0,45	2,0	1,00	1,53	1,33	1,26
0,20	0,45	4,0 и более	1,00	1,50	1,31	1,25
0,20	0,35	1,0 и менее	1,00	1,47	1,29	1,25
0,20	0,35	2,0	1,00	1,46	1,28	1,25
0,20	0,35	4,0 и более	1,00	1,44	1,25	1,24

Методом интерполяции получаем $K_{зд0}=1,21$;

Подставляем полученное значение в формулу и определяем $K_{зд}$:

$$K_{зд} = (1 + (1,21 - 1) 0,8) / (0,8 + 0,8) = 0,73;$$

Общий коэффициент светопропускания τ_o , определяемый по формуле:

$$\tau_o = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5; \quad (3.9)$$

где τ_1 - коэффициент светопропускания материала,

τ_2 - коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема,

τ_3 - коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях покрытий (стропильных фермах и балках),

τ_4 - коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах,

τ_5 - коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями;

По Таблице 7 принимаем коэффициент $\tau_1 = 0,8$ для двойного остекления и $\tau_2 = 0,75$ для деревянных спаренных переплетов.

Таблица 7

Значения коэффициентов τ_1 и τ_2

Вид светопропускающего материала	Значения	Вид переплета	Значения
Стекло оконное листовое:		Переплеты для окон и фонарей промышленных зданий:	
одинарное	0,9	Деревянные:	
двойное	0,8		одинарные 0,75
тройное	0,75		спаренные 0,7
Стекло витринное толщиной 6-8 мм	0,8	двойные раздельные	0,6
Стекло листовое армированное	0,6	Стальные:	
Стекло листовое узорчатое	0,65		одинарные открывающиеся 0,75
			одинарные глухие 0,9
Стекло листовое со специальными свойствами:		двойные открывающиеся	0,6
солнцезащитное	0,65		
контрастное	0,75	двойные глухие	0,8
Органическое стекло:		Переплеты для окон жилых, общественных и вспомогательных зданий:	
		Деревянные:	

Прозрачное	0,9	одинарные	0,8
Молочное	0,6	спаренные	0,75
Пустотелые стеклянные блоки:		двойные раздельные	0,65
		с тройным остеклением	0,5
светорассеивающие	0,5	Металлические: одинарные спаренные двойные раздельные с тройным остеклением	
светопрозрачные	0,55		
стеклопакеты	0,8		
		Стекложелезобетонные панели с пустотелыми стеклянными блоками при толщине шва: 20 мм и менее более 20 мм	

Принимаем коэффициенты τ_3 и τ_5 равным 1 т.к. они применяются для помещений со световыми фонарями и не влияет на расчеты от системы бокового естественного освещения. Принимаем коэффициент τ_4 равным 1, т.к. солнцезащитные устройства в данной задаче не предусмотрены.

Рассчитываем τ_0 :

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5 = 0,8 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,6;$$

Для определения коэффициента r_0 , учитывающего повышение к.е.о., благодаря отражению от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию (Таблица 8), предварительно вычисляем следующие параметры:

$$\frac{d_{\Pi}}{h_{02}} = \frac{5}{2,5} = 2;$$

$$\frac{l_T}{d_{\Pi}} = \frac{4}{5} = 0,8;$$

$$\frac{b_{\Pi}}{d_{\Pi}} = \frac{4}{5} = 0,8$$

Таблица 8

Коэффициент r_0

Отношение глубины помещения d_{Π} к высоте от уровня условной рабочей поверхности до верха окна, h_{02}	Отношение расстояния расчетной точки от внутренней поверхности наружной стены $l_{\text{т}}$ к глубине помещения d_{Π}	Значение при боковом освещении								
		Средневзвешенного коэффициента отражения внутренних поверхностей помещения $\rho_{\text{ср}}$								
		0,50			0,45			0,35		
		Отношение длины помещения b_{Π} к его глубине d_{Π}								
		0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
1,00	0,10	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01
1,00	0,50	1,47	1,42	1,33	1,37	1,34	1,26	1,19	1,17	1,13
1,00	0,90	2,33	2,19	1,93	2,06	1,95	1,74	1,53	1,47	1,37
3,00	0,10	1,07	1,06	1,05	1,06	1,05	1,04	1,03	1,03	1,02
3,00	0,20	1,23	1,20	1,16	1,18	1,16	1,13	1,09	1,08	1,06
3,00	0,30	1,51	1,46	1,36	1,41	1,37	1,29	1,20	1,18	1,14
3,00	0,40	1,91	1,82	1,64	1,73	1,66	1,51	1,37	1,33	1,26
3,00	0,50	2,40	2,26	1,98	2,12	2,01	1,79	1,56	1,51	1,39
3,00	0,60	2,96	2,76	2,37	2,57	2,41	2,10	1,78	1,71	1,55
3,00	0,70	3,58	3,32	2,80	3,06	2,86	2,44	2,03	1,93	1,72

3,00	0,80	4,25	3,92	3,27	3,60	3,34	2,82	2,30	2,17	1,91
3,00	0,90	4,98	4,58	3,78	4,18	3,86	3,23	2,59	2,43	2,11
5,00	0,10	1,12	1,11	1,08	1,09	1,08	1,07	1,05	1,04	1,03
5,00	0,20	1,38	1,34	1,27	1,30	1,27	1,21	1,15	1,14	1,11
5,00	0,30	1,85	1,77	1,60	1,68	1,61	1,48	1,34	1,31	1,24
5,00	0,40	2,52	2,37	2,07	2,22	2,10	1,85	1,61	1,55	1,43
5,00	0,50	3,34	3,11	2,64	2,87	2,68	2,31	1,94	1,84	1,66
5,00	0,60	4,27	3,94	3,29	3,61	3,35	2,83	2,31	2,18	1,92
5,00	0,70	5,29	4,86	4,01	4,44	4,09	3,40	2,72	2,55	2,20
5,00	0,80	6,41	5,87	4,79	5,33	4,90	4,03	3,17	2,95	2,52
5,00	0,90	7,63	6,96	5,64	6,30	5,77	4,71	3,65	3,39	2,86

Методом интерполяции получаем $r_0 = 3,18$;

По Таблице 9 определяем коэффициент эксплуатации МЭ.

Таблица 9

Коэффициенты запаса для естественного освещения

Помещения	Примеры помещений	Коэффициент запаса K_z при угле наклона сетопропускающего материала к горизонту			
		0° - 15°	16° - 45°	46° - 75°	76° - 90°
Помещения общественных и жилых зданий:		0,5	0,56	0,59	0,63
Пыльные, жаркие и сырые	Горячие цехи предприятий общественного питания, охлаждаемые камеры, помещения для приготовления растворов в прачечных,				

	душевые и т.д.				
С нормальными условиями среды	Кабинеты и рабочие помещения, офисные помещения, жилые комнаты, учебные помещения, лаборатории, читальные залы, залы совещаний, торговые залы и т.д.	0,67	0,71	0,77	0,83
Примечания. Значения коэффициента запаса следует умножать: на 0,91 – при применении узорчатого стекла, стеклопластика, армированной пленки и матированного стекла, а также при использовании световых проемов для аэрации; на 1,11 - при применении органического стекла					

Для жилых помещений с окном, расположенном в вертикальной плоскости стены (90°) принимаем $MF = 0,83$.

Подставляем получившиеся значения в формулу расчетного значения к.е.о.:

$$\begin{aligned}
 e^p &= (\varepsilon_{\text{нб}} \cdot q + \varepsilon_{\text{зд}} \cdot b_{\text{ф}} \cdot K_{\text{зд}}) \cdot \tau_0 \cdot r_0 \cdot MF = \\
 &= (0,96 \cdot 0,75 + 0,96 \cdot 0,23 \cdot 0,73) \cdot 0,6 \cdot 3,18 \cdot 0,83 \\
 &= 1,40\%
 \end{aligned}$$

Полученные данные заносим в Таблицу 10:

Таблица 10

Расчетная таблица

№	n_1	C	n_2	ε	θ	q	$b_{\text{ф}}$	$K_{\text{зд}0}$	$K_{\text{зд}}$	τ_0	r_0	MF	$e^p, \%$
$e_{\text{нб}}$	6	23	16	0,96	22	0,75	-	-	-	0,6	3,18	0,83	1,40
$e_{\text{зд}}$	6		16	0,96	-	-	0,23	1,21	0,73				

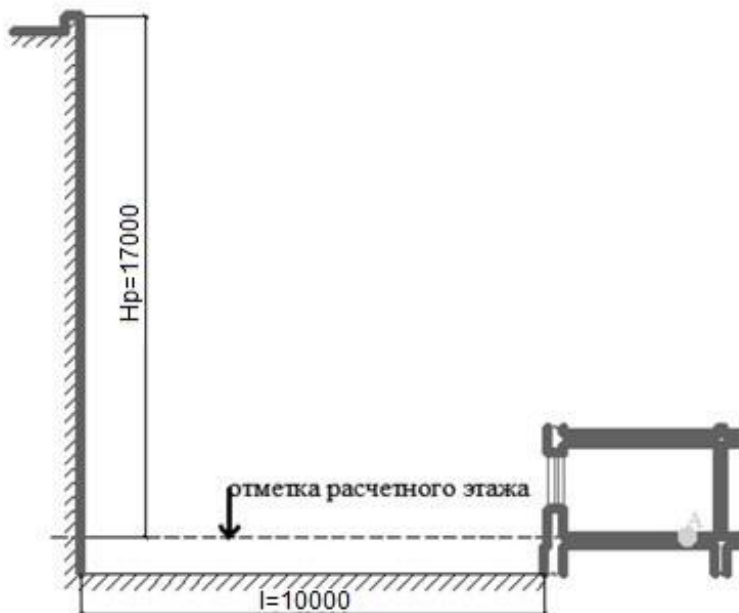
Сравниваем требуемое и расчетное значения к.е.о.:

$$1,40\% \geq 0,5\%;$$

Следовательно помещение удовлетворяет нормам по естественной освещенности. Рекомендации не требуются.

Задание для самостоятельной проработки:

Требуется провести расчет кео от системы бокового освещения (окна) для учебной аудитории расположенном на первом этаже здания в городе Орел. Геометрические параметры помещения оставить без изменения. Схема расположения противостоящей застройки относительно расчетной точки приведена на рисунке.



Практическое занятие №3

Определение продолжительности инсоляции помещения и территории

Содержание практического занятия №3

7. Анализ требований к обеспечению продолжительности инсоляции для помещений жилых и общественных зданий и территорий.
8. Определение времени инсоляции в помещении жилого здания в существующей застройке.

Задачами практического занятия №3 являются:

1. Выполнение практического занятия по разделу 3, представленного в содержании практического занятия.

1.1. Теоретическая часть

Общие положения

Расчет времени инсоляции ведется с использованием данных и положений СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», Раздел V. Физические факторы (за исключением ионизирующего излучения).

Инсоляционный расчет проводится для определения времени инсоляции в рассматриваемых помещениях и сравнения полученных значений с нормативными. По результатам расчета делаются соответствующие выводы и даются определенные рекомендации.

Продолжительность инсоляции (т.е. прямого солнечного облучения помещения) регламентируется для жилых зданий, детских учреждений, учебных и лечебных учреждений и учреждений социального обеспечения.

Нормативная продолжительность инсоляции устанавливается на отдельные календарные периоды с учетом географической широты местности.

Значения нормативной продолжительности инсоляции для помещений различного назначения приведены в Таблице 1.

Таблица 1

Нормируемая продолжительность непрерывной инсоляции

Нормируемые помещения	Географическая широта местности	Продолжительность инсоляции, не менее	Календарный период
для помещений жилых зданий			
1. Не менее чем в одной комнате 1-3-комнатных квартир;	Северная зона (севернее 58° с.ш.)	2,5 ч	с 22 апреля по 22 августа
2. Не менее чем в 2-х комнатах 4-х и более комнатных квартир;	Центральная зона (58° с.ш. - 48° с.ш.)	2 ч	
3. Не менее чем в 60% жилых комнат в зданиях общежитий	Южная зона (южнее 48° с.ш.)	1,5 ч	с 22 февраля по 22 октября
1. В 2-х и 3-х комнатных квартирах, где инсолируется не менее 2-х комнат;	Северная зона (севернее 58° с.ш.)	2 ч	с 22 апреля по 22 августа
2. В многокомнатных квартирах (4 и более комнаты), где инсолируется	Центральная зона (58° с.ш. - 48° с.ш.)	1,5 ч	

Нормируемые помещения	Географическая широта местности	Продолжительность инсоляции, не менее	Календарный период
не менее 3-х комнат; 3. При реконструкции жилой застройки, расположенной в центральной, исторической зонах городов, определенных их генеральными планами развития	Южная зона (южнее 48° с.ш.)	1,5 ч	с 22 февраля по 22 октября
для помещений общественных зданий			
Дошкольные образовательные организации - групповые, игровые; Образовательные организации (общеобразовательные, дополнительного и профессионального образования, школы-интернаты, детские дома и другие образовательные организации) - классы и учебные кабинеты; Лечебно-профилактические, санаторно-оздоровительные и курортные учреждения - палаты (не менее 60% общей численности); Организации социального	Северная зона (севернее 58° с.ш.)	2,5 ч	с 22 апреля по 22 августа
	Центральная зона (58° с.ш. - 48° с.ш.)	2 ч	
	Южная зона (южнее 48° с.ш.)	1,5 ч	с 22 февраля по 22 октября

Нормируемые помещения	Географическая широта местности	Продолжительность инсоляции, не менее	Календарный период
обслуживания (дома-интернаты для инвалидов и престарелых и другие организации социального обслуживания), хосписы - палаты, изоляторы.			

Значения нормативной продолжительности инсоляции на территориях жилой застройки приведены в таблице 2.

Таблица 2

Нормируемая совокупная продолжительность инсоляции на территории жилой застройки

Нормируемые территории	Географическая широта местности	Продолжительность инсоляции, не менее	Календарный период
Территории детских игровых площадок, спортивных площадок жилых домов, групповых площадок дошкольных организаций, спортивной зоны, зоны отдыха общеобразовательных школ и школ-интернатов, зоны отдыха ЛПО	Северная зона (севернее 58° с.ш.)	2,5 ч, в том числе не менее 1 часа для одного из периодов в случае прерывистой инсоляции	с 22 апреля по 22 августа

стационарного типа (на 50% площади участка независимо от географической широты)	Центральная зона (58° с.ш. - 48° с.ш.)	2,5 ч, в том числе не менее 1 часа для одного из периодов в случае прерывисто й инсоляции	
	Южная зона (южнее 48° с.ш.)	2,5 ч, в том числе не менее 1 часа для одного из периодов в случае прерывисто й инсоляции	с 22 февраля по 22 октября

Расчет времени инсоляции (теоретические основы)

Нормы инсоляции определяется в часах, в течение которых прямое солнечное облучение попадает в расчетную точку помещения, положение которой определяется согласно рисунку 1. На этом рисунке линии, пересечение которых определяет местоположение расчетной точки «М», образуют также вертикальный и горизонтальный «инсоляционные углы» окна.

При расчете продолжительности инсоляции участка территории принимается расчетная точка, которая расположена в центре инсолируемой половины участка территории.

Расчет продолжительности инсоляции основан на закономерностях движения Солнца по небосводу «инсоляционных графиков» (рисунок 2).

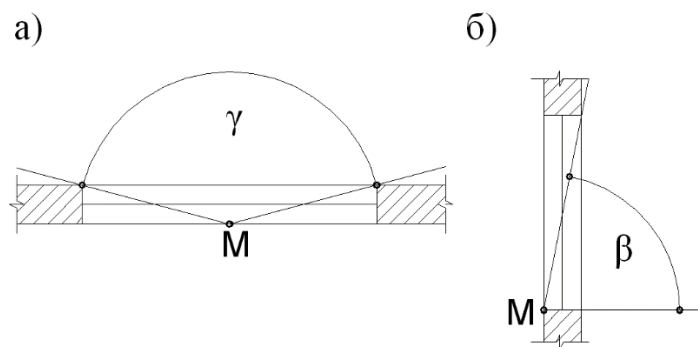


Рис. 1. Определение положения расчетной точки «М» для незатененного светопроема и его инсоляционных углов β и γ при горизонтальном (а) и вертикальном (б) разрезе по светопроему; М – расчетная инсоляционная точка: γ - горизонтальный инсоляционный угол окна; β - вертикальный инсоляционный угол окна

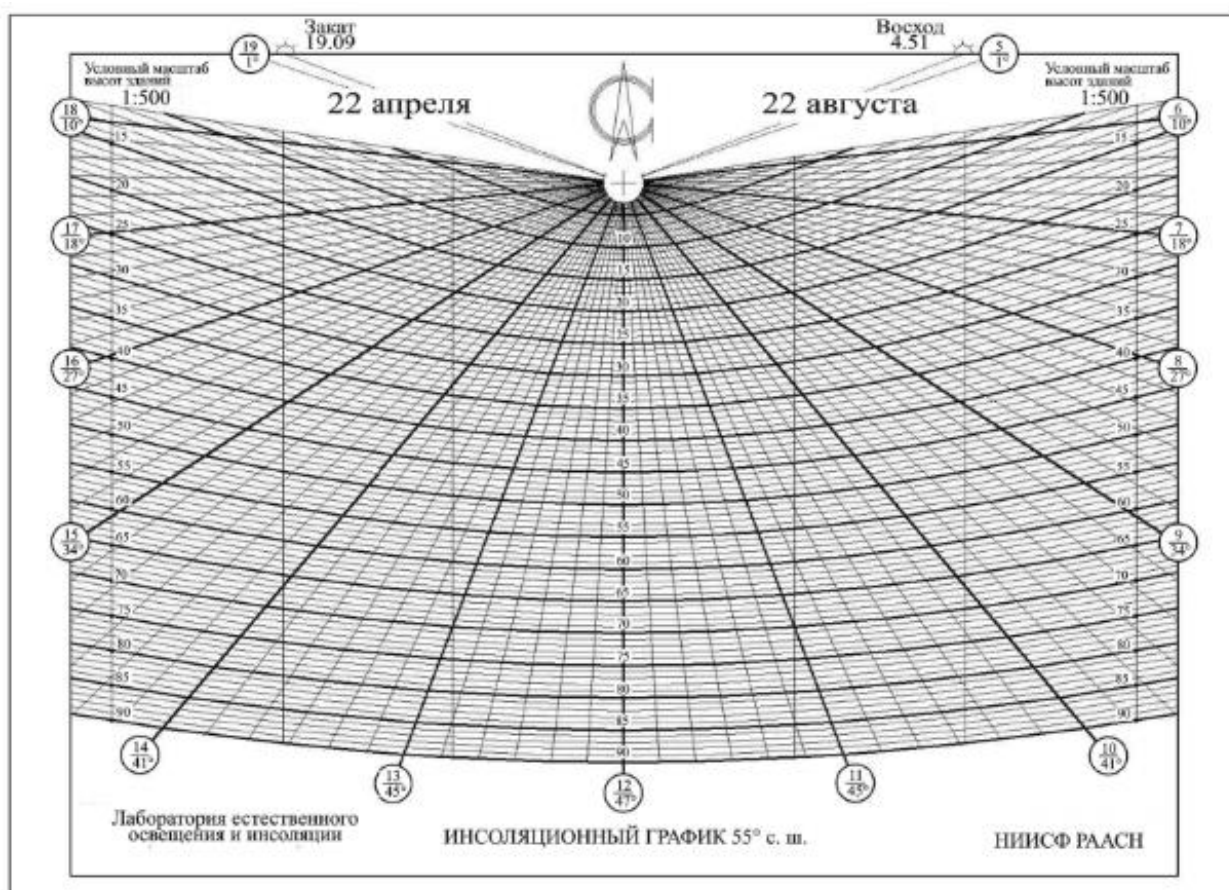


Рис. 2. Инсоляционный график для дней весеннего и осеннего равноденствия (22.04 и 22.08) и географической широты Москвы (55° с.ш.)

Инсографики строятся для определенной широты местности и для определенных расчетных периодов инсоляции и применяются совместно с генпланами, выполненными в масштабе 1:500.

Горизонтальные линии на инсо графике показывают превышение верха противостоящего здания над расчетной точкой в случае наличия затеняющих объектов, что будет детально рассмотрено ниже.

Методика расчета времени инсоляции

Расчетная точка «М» совмещается с центром (полюсом) инсоляционного графика, который накладывается на схему генплана в масштабе 1:500 и ориентируется по направлению Север - Юг, отмеченному на генплане.

В расчетной точке строится горизонтальный инсоляционный угол, центральная ось которого имеет направление, соответствующее реальной ориентации рассматриваемого светопроема.

Подсчитывается количество часовых лучей, соответствующих определенным часам светового дня, которые приходят к расчетной точке в пределах линий, обозначающих границы горизонтального инсоляционного угла.

Дополнительно определяется значение превышения противостоящих объектов над расчетной точкой, для чего строится характерный вертикальный разрез по объектам генплана также в масштабе 1:500. На генплане отмечается горизонталь, соответствующая превышению противостоящих объектов.

Пересечение этой линией массива противостоящих объектов (или расположение этих объектов в интервале от расчетной точки до линии превышения) дает зону затенения, в пределах которой инсоляция отсутствует. Время инсоляции в этом случае определяется как величиной горизонтального инсоляционного угла окна и ориентацией светопроема, так и положением в пределах этого угла начальной и конечной точек «контура затенения» противостоящего объекта. Основные расчетные схемы для случая затенения приведены на рисунке 3, а и б.

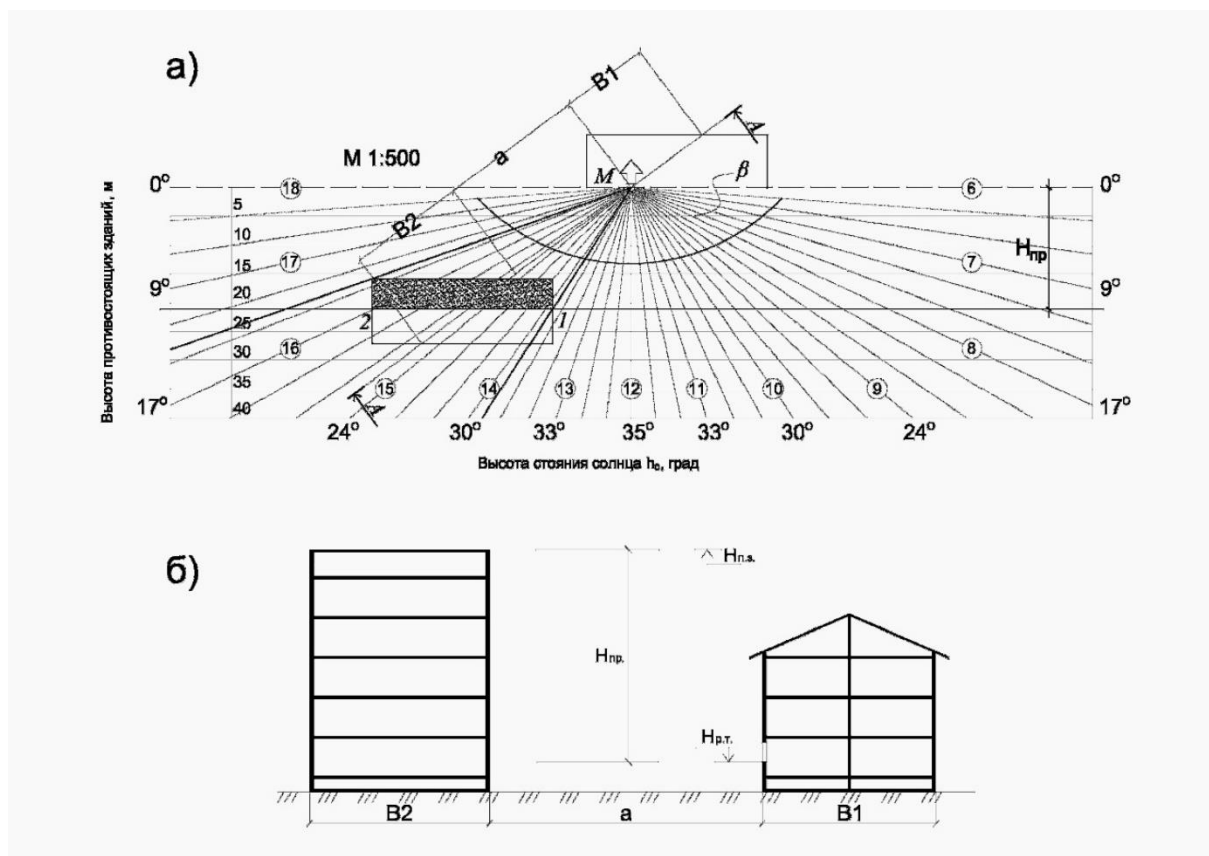


Рис. 3. Расчетные схемы для определения времени инсоляции рассматриваемого помещения при затенении (β): а) схема планов с наложенным инсоляционным графиком; б) схема разреза А-А 1,2 – расчетные точки начала и конца затенения. В1 – ширина расчетного здания, В2 – ширина противостоящего здания, а – расстояние между зданиями. Н_{р.т.}, Н_{п.з.}, Н_{п.р.} – соответственно высоты расчетной точки, противостоящего здания и превышения.

При этом во времени инсоляции не учитывается первый час светового дня после восхода солнца и последний час светового дня перед заходом солнца как инсоляционно малоэффективные.

1.2. Практическая часть

Требуется привести расчет времени инсоляции жилой комнаты, ориентированной на юго-восток. Горизонтальный инсоляционный угол окна равен 140° . Присутствует затеняющий объект в виде противостоящего здания. Превышение верха противостоящего здания над расчетной точкой составляет 20 м.

Проводим расчет времени инсоляции в рассматриваемом случае по методике, приведенной выше с использованием расчетной схемы, приведенной на рисунке 5. Размер противостоящего здания в плане составляет 15х30 м и оно располагается параллельно рассматриваемому зданию на расстоянии 25 м. Продольные оси рассматриваемого и противостоящего здания ориентированы по направлению с юго-запада на северо-восток. Последовательность расчета следующая:

1. На плане помещения определяют горизонтальный инсоляционный угол ABC светопроема (вычерчивается в масштабе 1:100) и расчетную точку В помещения в плане (рисунок 4).

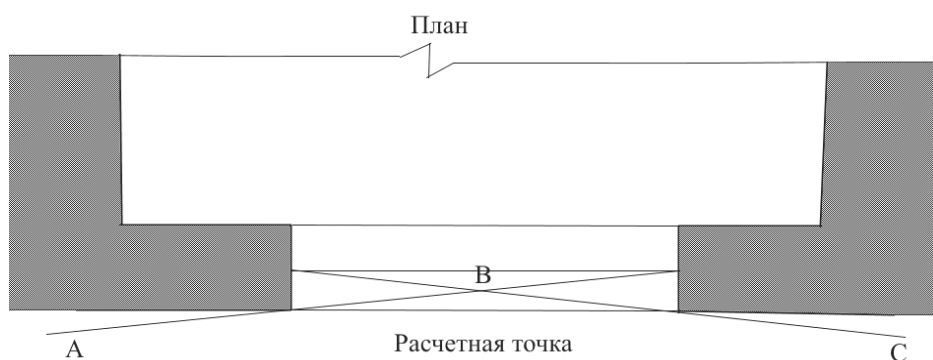


Рис. 4. Определение расчетной инсоляционной точки окна «М» (точка В)

2. Ориентируем рассматриваемое окно на юго-восток, затем в расчетной точка «М», совмещенной с полюсом инсоляционного графика, строим заданный горизонтальный инсоляционный угол $\gamma = 140^\circ$, для чего от оси ориентации окна влево и вправо откладываем по половине этого угла, т.е. $\gamma_{\text{л}} = 70^\circ$ и $\gamma_{\text{п}} = 70^\circ$.

3. Наносим на инсоляционный график фрагмент генплана с противостоящим зданием и соответствующей ориентацией продольной оси.

4. Определяем положение горизонтальной линии N 20, соответствующей превышению верха противостоящего здания над расчетной точкой.

5. Отмечаем точки 1 и 2, в которых эта линия пересекает план противостоящего здания. Часть здания между этими точками и расчетной точкой является затеняющей частью противостоящего здания.

6. Определяем время инсоляции расчетной точки по углам, маркированным часами светового дня, приходящими к этой точке в пределах между началом и концом солнечного облучения с учетом влияния «тела затенения».

От луча, маркированного 6 ч утра инсоляция продолжается до луча, проходящего к точке «М» через точку 1 противостоящего здания, после которой начинается затенения. Затем инсоляция начинается от точки 2, обозначающей окончание затеняющего действия противостоящего здания до линии γ_n , обозначающей правую границу горизонтального инсоляционного угла окна.

Первый период инсоляции продолжается 40 минут (с 6-00 до 7-40 утра и учитывается не полностью, так как приходится на первый час солнечного сияния после восхода солнца). Второй период продолжается с 9 ч 10 мин до 13 ч 40 мин, т.е. 4 ч 30 мин. Таким образом, приведенные выше требования СанПиН о необходимости обеспечения времени инсоляции при затенении расчетной точки в жилом помещении на 0,5 ч больше нормированного и о необходимости того, чтобы один из периодов инсоляции был более 1 ч, выполняются полностью, так как 5 ч 10 мин больше $2 \text{ ч} + 0,5 \text{ ч} = 2,5 \text{ ч}$.

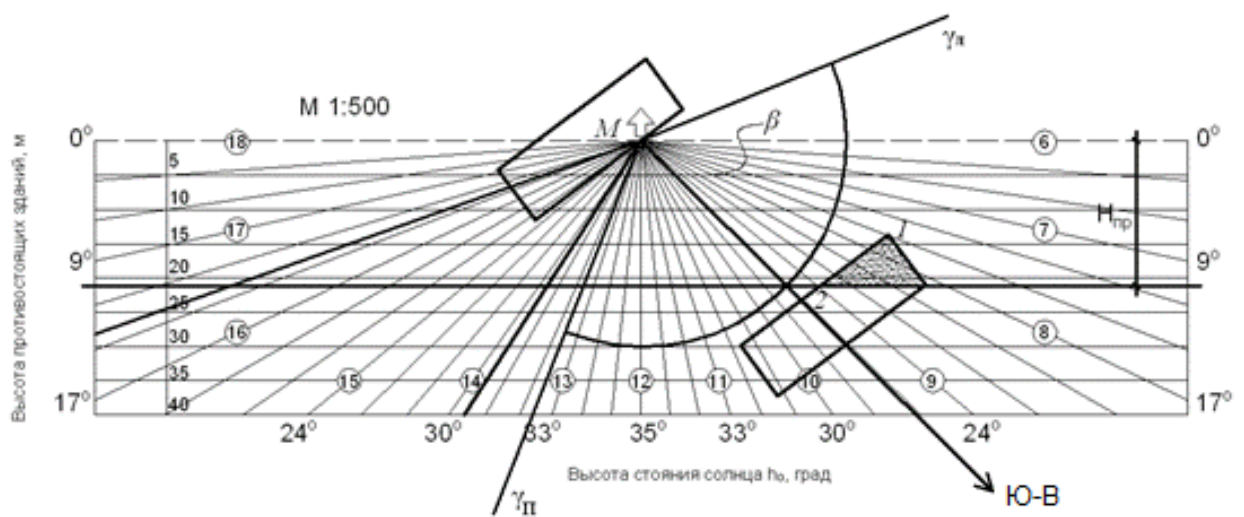


Рис. 5. Инсоляционный график и расчетная схема для определения времени инсоляции рассматриваемого помещения при наличии затенения: M - расчетная точка рассматриваемого окна;

C , $ЮВ$ - направление на север и на юго-восток; 1,2 - точки на плане здания, обозначающие начало и конец затенения

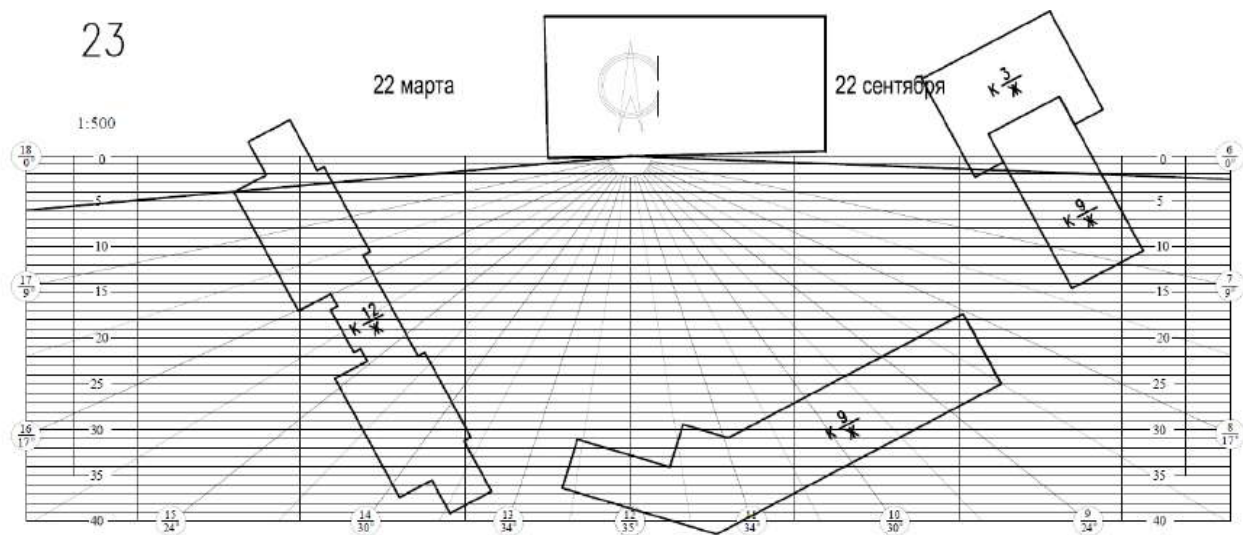
Задание для самостоятельной проработки:

Требуется привести расчет времени инсоляции жилой комнаты, согласно представленной схеме. Горизонтальный инсоляционный угол окна равен 120° . Присутствует затеняющие объекты в виде противостоящих зданий с превышением верха здания над расчетной точкой: К 3/Ж – 4,5 м; К 9/Ж – 23 м, К 12/Ж – 30 м.

23

22 марта

22 сентября



Практическое занятие №4

Акустика зала

Содержание практического занятия №4

Проектирование актового зала по заданию преподавателя. Определение оптимальных размеров и формы актового зала из условия обеспечения необходимых акустических характеристик

Задачами практического занятия №4 являются:

Выполнение практического занятия по разделу 1, представленным в содержании практического занятия.

1.1. Теоретическая часть

Проектирование актового зала. Определение оптимальных размеров и формы актового зала из условия обеспечения необходимых акустических характеристик

Для залов с естественной акустикой необходимо выполнение следующих основных требований:

- обеспечение всех зрителей достаточной звуковой энергией;
- создание диффузного звукового поля, исключающего возможность образования таких акустических дефектов, как эхо и фокусирование звука;
- обеспечение оптимального времени реверберации.

Удовлетворение данных требований достигается рациональным выбором объема, геометрической формы зала, очертания его внутренних поверхностей.

Выбор формы зала и его основных параметров

Основные рекомендации к форме залов:

- расстояние между источником звука и слушателями в последнем ряду должно быть минимальным или угол, под которым со сцены видны крайние места в первом ряду, должен быть возможно меньше;

- поверхности стен вблизи сцены должны способствовать отражению звука в зал;

- форма стен не должна вызывать фокусирования звука;

- исключение возможности образования многократного эха, особенно между параллельными стенами.

Оценку формы и размеров залов, а также отдельных поверхностей с акустической точки зрения обычно производят с помощью геометрических построений.

Основные размеры зала должны удовлетворять существующим нормам. При этом по акустическим соображениям могут быть рекомендованы следующие правила:

- отношение длины зала к его средней ширине следует принимать более 1 и не более 2. Если это отношение более 2, то диффузность звука в зале значительно ухудшается. При отношении, меньшем 1 (широкий зал малой длины), получается нежелательное запаздывание отражений от боковых стен, и вследствие направленности источников звука ухудшается слышимость на боковых местах. Отношение, близкое к 1, также неблагоприятно для акустики зала;

- в тех же пределах (т. е. более 1 и не более 2) рекомендуется принимать и отношение средней ширины зала к его средней высоте, во всех случаях оно не должно превышать 3;

- длину залов, не имеющих сцены, рекомендуется брать не более 30 м (от задней стены до передней), а залов со сценой - не более 28 м (от задней стены до занавеса).

Рекомендуемые значения предельных удалений зрителей от источника звука приведены в таблице 1.

Таблица 1

Рекомендуемые значения предельных удалений зрителей от источника звука

Назначение зрительного зала	Предельное удаление зрителей
Аудитория	25 м от места расположения лектора
Конференц-зал	
Лекционный зал	
Зал драматического театра	
Зал театра оперы и балета: в партере	25 м от сцены
на балконе	30 м от сцены
Концертный зал	30 м от эстрады
Зал многоцелевого назначения средней вместимости	26 м от занавеса
Зал кинотеатра	40 м от экрана

Для количественной оценки реверберации используется понятие - время реверберации, которое не должно зависеть ни от индивидуального порога слышимости, ни от начального уровня сигнала и которое он определил как время, за которое первоначальная энергия сигнала уменьшится в миллион раз (или снижается на 60 дБ).

Надлежащее время реверберации, характеризующее общую гулкость помещения, является одним из важных условий хорошей акустики зала. При этом следует помнить, что для достижения четко определенного времени реверберации требуется достаточная диффузность звука в зале.

Время реверберации является первой и одной из основных характеристик помещений, зависящей от объема помещения и общего звукопоглощения. Объем зала определяется пропорциями зала. Отношение длины зала l к средней ширине в оптимально: $1,3 \leq \frac{l}{b} \leq 1,6$;

отношение ширины зала b к средней высоте h : $1,3 \leq \frac{h}{b} \leq 1,6$.

Залы в плане обычно имеют форму трапеции с углом раскрытия боковых стен 5° - 12° . Прямоугольная форма с горизонтальным потолком допустима только для лекционных залов с вместимостью не более 200 человек.

Время запаздывания первых отражений от потолка (по продольному разрезу) и стен (по плану) проверяется по формуле:

$$t_3 = \frac{(l_{\text{отр.}} - l_{\text{пр.}}) \cdot 1000}{340},$$

где $l_{\text{отр}} = (l_{\text{пад}} + l_{\text{от}})$ длина пути отраженного звука,

$l_{\text{пад}}$ –длина луча падающего на отражающую поверхность от источника звука;

$l_{\text{от}}$ –длина луча отражающегося от поверхности звука до расчетной точки;

$l_{\text{пр}}$ - длина пути прямого звука.

Точки выбираются в начале, в середине и в конце зала, при наличии балкона одна точка берется дополнительно на балконе.

Допустимое время запаздывания для речи 20-25 мс, для музыки – 30-35 мс, для многофункциональных залов – 25-30 мс. При построении продольного разреза зала следует учитывать, что подъем пола должен составлять 12-14см на ряд в партере (шаг рядов минимум 90см), на балконе подъем 25-30см на ряд.

Радиус действия прямого звука составляет 8-9 м для речи и 10- 12 м для музыки. В этой зоне усиление прямого звука с помощью отражений не требуется. В связи с этим в зону радиуса прямого звука не должно попадать ни одного первого отражения. На остальных местах интенсивные первые отражения должны перекрывать всю зону зрительных мест.

В залах с относительно большой высотой и шириной всегда есть опасность прихода первых отражений от потолка и стен с большим запаздыванием в первые ряды зрительных мест, что создает неразборчивость звуков. Для исправления этого явления на потолке и стенах в припортальной зоне следует

выполнять специальные звукоотражающие конструкции, задача которых направлять отраженный звук в глубину зала.

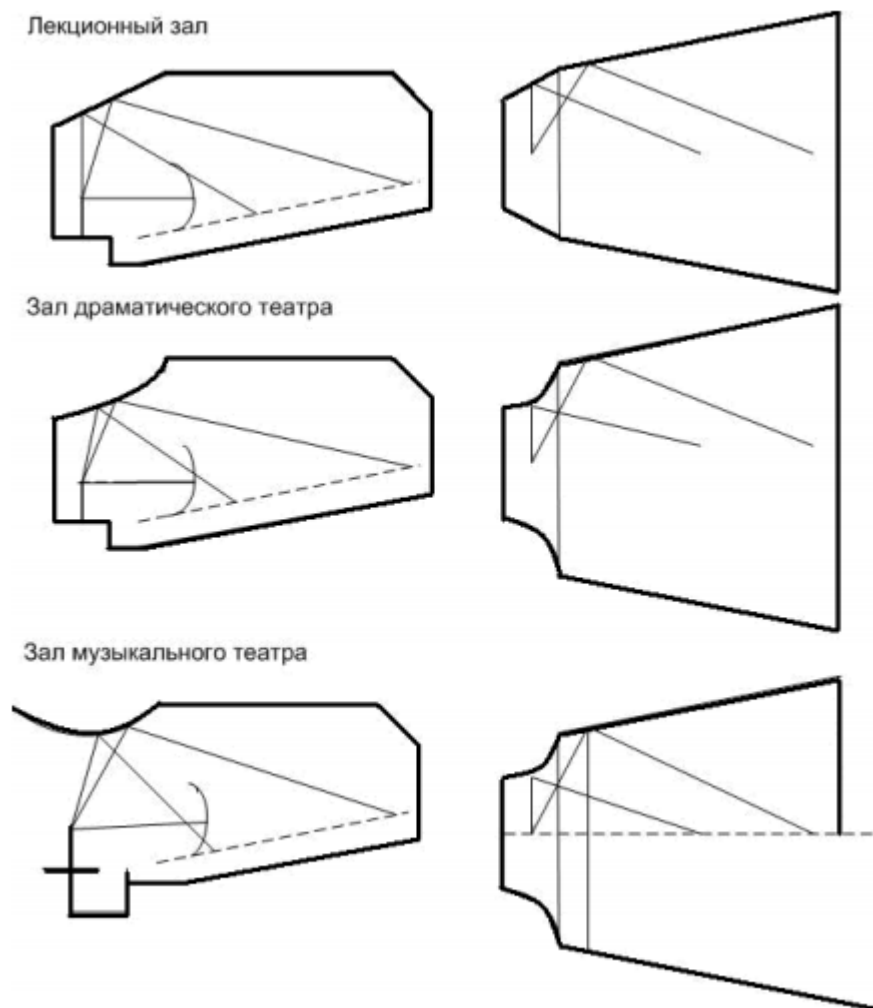


Рис. 1. Первые отражения от потолка, стен и отражателей

При примыкании задней стены зала к потолку под углом 90° может возникнуть так называемое театральное эхо – отражение звука от потолка и стены в направлении к источнику звука, приходящее с большим запаздыванием. Для устранения этого следует предусматривать наклонную часть потолка у задней стены или наклонную заднюю стену зала.

Применение геометрических (лучевых) отражений и их построение

В зале звуковые волны распространяются от источника к ограждающим поверхностям, от которых многократно отражаются. В результате в помещении образуется звуковое поле.

Приближенная оценка формы и размеров помещений с акустической точки зрения состоит в анализе звукового поля на основе принципов геометрической акустики, то есть, в рассмотрении распространения прямых и отраженных звуковых волн и построении так называемого "лучевого эскиза".

При определенных условиях можно вместо звуковых волн рассматривать звуковые лучи, в направлении которых распространяются эти волны. Распространение таких лучей аналогично распространению световых лучей в геометрической оптике, и построение геометрических (лучевых) отражений широко применяется в архитектурной акустике:

1) падающий и отраженный от какой-либо точки поверхности луч образует равные углы (угол падения и угол отражения) с нормалью к отраженной поверхности в этой точке;

2) падающий и отраженный лучи лежат совместно с нормалью в одной плоскости (лучевая плоскость).

Допустимость применения способа геометрических (лучевых) отражений зависит от длины звуковой волны, размеров отражающей поверхности и ее расположения по отношению к источнику звука и точке приема. Отражающая поверхность должна при этом иметь массу не менее 20 кг/м^2 , и ее коэффициент звукопоглощения α для рассматриваемых частот не должен превышать 0,1. На рис. 2 отражающая поверхность взята в виде прямоугольного плоского отражателя со сторонами, равными $2a$ и $2b$, центр его совпадает с точкой геометрического отражения O , а сторона $2a$ параллельна лучевой плоскости P , в которой лежат падающий звуковой луч QO , отраженный луч OM и нормаль ON ; R_0 - расстояние от источника Q до точки O ; R - расстояние от точки O до точки приема M ; g - углы падения и отражения звукового луча.

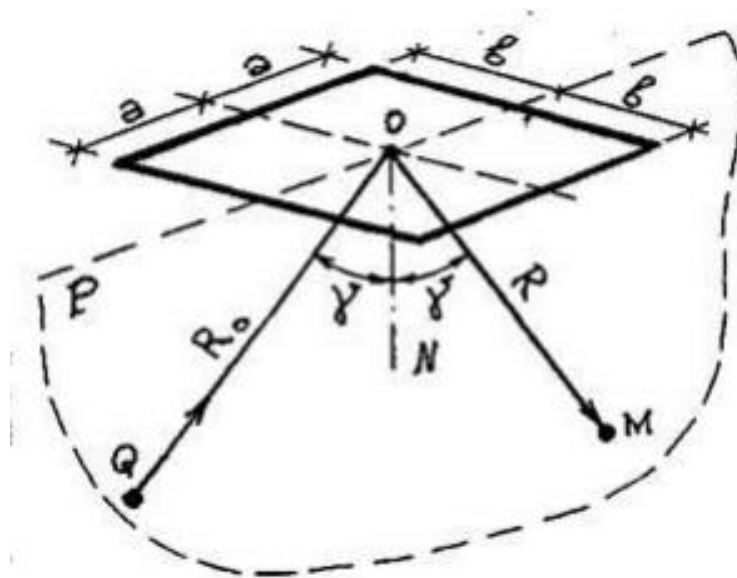


Рис. 2. Отражение звука от плоского отражателя

При построении геометрических отражений от плоскости удобен прием, показанный на рис. 3а. Здесь используется мнимый источник Q_1 , симметричный с действительным точечным источником Q по отношению к отражающей плоскости и находящийся по другую ее сторону. Для построения мнимого источника надо опустить из точки Q перпендикуляр QA на отражающую плоскость и на продолжении его отложить отрезок AQ_1 , равный отрезку QA . Прямые, проведенные из мнимого источника Q_1 , после пересечения ими отражающей плоскости, удовлетворяют условию равенства углов падения и отражения, то есть являются искомыми отраженными лучами, создаваемыми действительным источником Q .

Метод мнимых источников применим и при построении отражений от кривых поверхностей. Если требуется найти отражение от какой-либо точки O кривой поверхности C (см. рис. 3б) при заданном положении источника Q , то следует в точке O построить касательную плоскость T к поверхности. Мнимым источником в этом случае является точка Q_1 , симметричная источнику Q относительно касательной плоскости; продолжение OM прямой Q_1O после пересечения ее с поверхностью C является искомым отраженным лучом. Здесь для каждой точки O отражающей поверхности приходится находить свой мнимый источник Q_1 в отличие от ранее рассмотренного случая (рис. 3а), у

которой для отражения от любой ее точки мнимый источник один и тот же (при заданном положении источника Q). Суммарная длина $QO + OM$ лучей QO и OM , дающая длину полного хода отраженного звука от источника Q до некоторой точки приема M , равна расстоянию Q_1M от мнимого источника Q_1 до точки M (рис. 3а, 3б). При этом, разумеется, следует брать истинные длины указанных отрезков, а не их проекций.

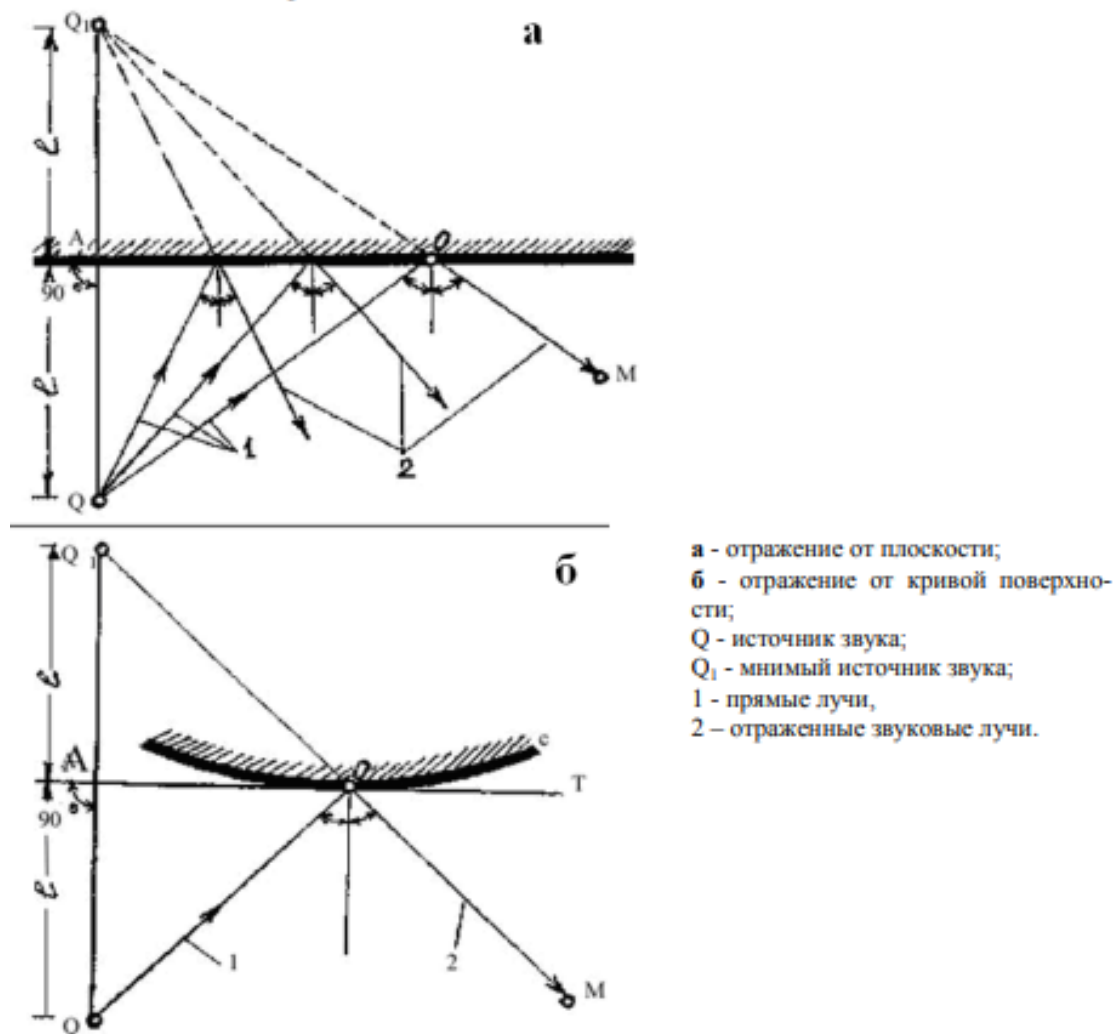


Рис. 3. Построение геометрических отражений звуковых лучей с помощью мнимого источника

Если лучевая плоскость P (рис.4) параллельна одной из плоскостей проекций (вертикальной или горизонтальной), то углы падения и отражения проецируются на эту плоскость без искажения, и построение отраженного луча выполняется при помощи описанных приемов.

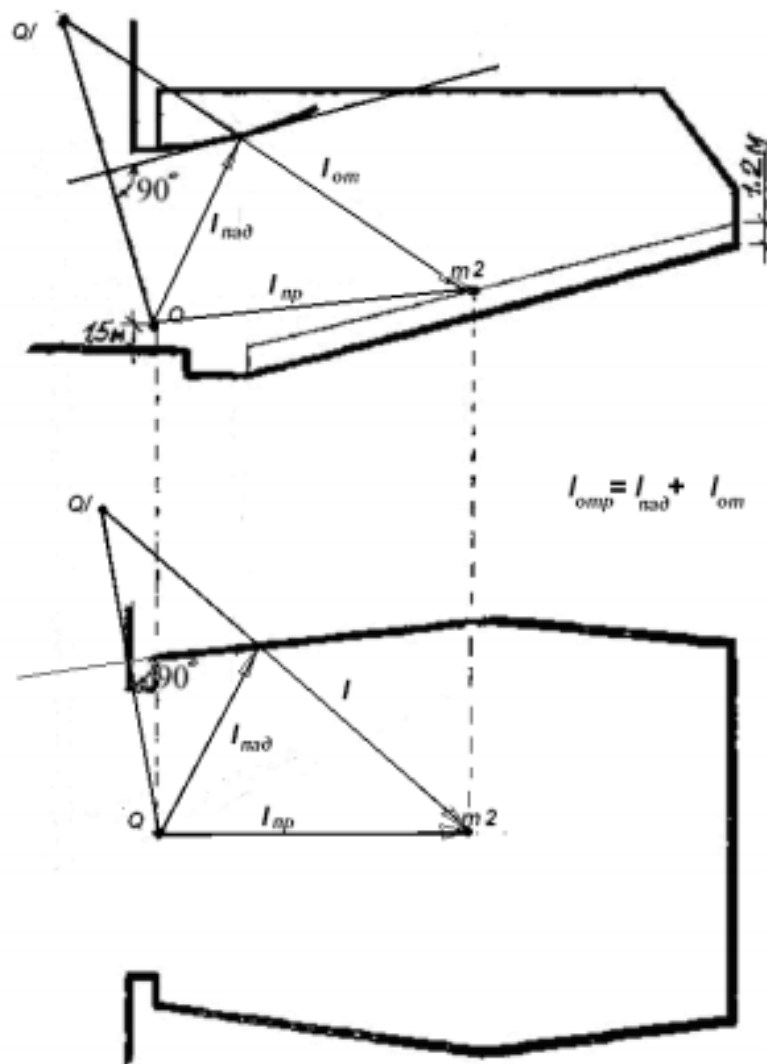


Рис. 4. Построение геометрического отражения при касательной плоскости, перпендикулярной плоскости проекции

Определение рекомендуемого времени реверберации (Tr)

Большое значение в зале имеет время реверберации. Оптимальные величины времени реверберации в диапазоне 500-1000 Гц для залов различного назначения в зависимости от объема зала приведены на рис.5.

После того, как определено время реверберации на средних частотах (500-1000 Гц) по рис. 6, необходимо его скорректировать по частотному спектру воспроизводимых в зале сигналов. Здесь могут быть предложены следующие рекомендации:

а) для лекционных аудиторий, конференцзалов рекомендуется не изменять время реверберации на всех частотах, кроме частоты 125 Гц (уменьшить на 15%);

б) залы, в которых исполняемые музыкальные произведения характеризуются быстрыми ритмами и особенно с применением средств электроакустики, время реверберации почастотно не изменяется, но его рекомендуется уменьшить на 10-20%;

в) залы, которые используются как для музыкальных постановок, так и для проведения собраний, спектаклей (многоцелевые залы), должны иметь разное время реверберации на разных частотах: для частоты 2000 Гц берется такое же время реверберации, как и на частоте 500 Гц, а на частоте 125 Гц допускается увеличение на 20% (процентный состав зависит от годового соотношения представлений и концертов с музыкальным исполнением: чем их больше, тем больший процент следует брать).

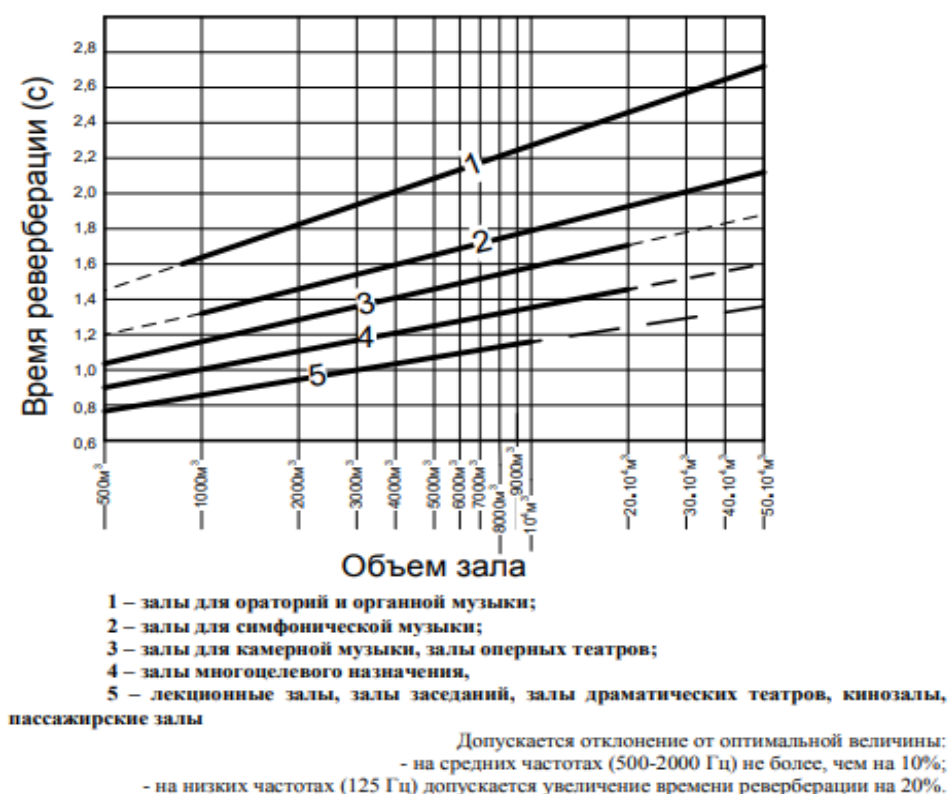


Рис. 5. Рекомендуемое время реверберации на средних частотах (500-1000 Гц) для залов различного назначения в зависимости от их объема

Расчет времени реверберации проектируемого зала

1) Расчет времени реверберации начинается с расчета общей эквивалентной площади звукопоглощения (ЭПЗ). Общая ЭПЗ на частоте, для которой ведется расчет, находится по формуле (2):

$$A_{\text{общ}(125,500,2000)} = \sum \alpha_i \cdot S_i + \sum A_{\text{крес.слуш.}} + \alpha_{\text{доб}} \cdot S_{\text{общ}},$$

где $\sum \alpha_i \cdot S_i$ — сумма произведений площадей отдельных поверхностей S , м^2 на их коэффициент звукопоглощения α для данной частоты;

$\sum A_{\text{крес.слуш.}}$ — сумма ЭПЗ, м^2 слушателей и кресел, которая рассчитывается по формуле (3):

$$\sum A_{\text{крес.слуш.}} = (0.7 \cdot N \cdot A_{\text{слуш. в кр}} + 0.3 \cdot N \cdot A_{\text{кр без слуш}}),$$

где $0.7 \cdot N \cdot A_{\text{слуш. в кр}}$ — 70 % кресел зала заполнены слушателями;

N — общее число кресел в зале;

$0.3 \cdot N \cdot A_{\text{кр без слуш}}$ — 30 % кресел в зале пусты, т.к. в расчете времени реверберации зала, как правило, принимается заполнение слушателями 70% общего количества мест, ЭПЗ остальных мест принимается как для пустых кресел. В залах, для которых наиболее вероятно заполнение слушателями менее 70% мест, следует расчетный процент заполнения соответственно уменьшать.

Чтобы время, реверберации менее зависело от процента заполнения мест, целесообразно оборудовать зал мягкими или полумягкими креслами, обитыми воздухопроницаемой тканью. В залах с жесткими креслами, обладающими незначительным звукопоглощением, время реверберации малозаполненного зала сильно возрастает по сравнению с заполненным;

$A_{\text{крес.слуш.}}$ — коэффициенты звукопоглощения разных материалов и конструкций, а также ЭПЗ слушателей и кресел даны в таблице 2.

$\alpha_{\text{доб}}$ — коэффициент добавочного звукопоглощения, учитывающий добавочное звукопоглощение, вызываемое прониканием звуковых волн в

различные щели и отверстия, колебаниями разнообразных гибких элементов и т. п.

Коэффициент добавочного звукопоглощения $\alpha_{доб}$ залов в среднем может быть принят равным 0,09 на частоте 125 Гц и 0,05 на частотах 500 — 2000 Гц.

Таблица 2

Эквивалентная площадь звукопоглощения для слушательских кресел (м²)

Зрители и кресла	Эквивалентная площадь поглощения, А _{крес. слуш.} (м ²)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Зритель на кресле мягком и полумягком	0,25	0,3	0,4	0,45	0,45	0,4
На жестком кресле	0,2	0,25	0,3	0,35	0,35	0,35
Кресло мягкое	0,15	0,2	0,2	0,25	0,3	0,3
Кресло полумягкое	0,08	0,1	0,15	0,15	0,2	0,2
Кресло обитое искусственной кожей	0,08	0,1	0,12	0,1	0,1	0,08
Кресло жесткое с фанерной спинкой и сиденьем	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05

После нахождения $A_{общ}$ подсчитывается— средний коэффициент звукопоглощения внутренней поверхности зала на данной частоте:

$$\bar{\alpha} = \frac{A_{общ}}{S_{общ}},$$

где $A_{общ}$ — эквивалентная площадь звукопоглощения (ЭПЗ), м²;

$\bar{\alpha}$ — средний коэффициент звукопоглощения (КЗП);

$S_{общ}$ — площадь всех внутренних поверхностей помещения (стены, потолок, пол, сцена и т.д.), м².

Расчет времени реверберации

Для определения времени реверберации, достаточно произвести расчет на трех частотах: 125, 500 и 2000 Гц. Подсчет времени реверберации ведется по формуле Эйринга:

$$T = \frac{0.163V}{\varphi(\bar{\alpha})S_{\text{общ}} + nV}, \text{с}$$

где V – объем зала, м^3 ,

$S_{\text{общ}}$ – суммарная площадь всех ограждающих поверхностей зала, м^2 ,

$\bar{\alpha}$ – средний коэффициент звукопоглощения в зале.

$\varphi(\bar{\alpha}) = -\ln(1 - \bar{\alpha})$ - функция среднего коэффициента звукопоглощения, значения которой приведены в таблице 2.

n – коэффициент, учитывающий затухание звука в воздухе. В октавных полосах 125-1000 Гц $n = 0$, в октаве 2000 Гц $n = 0,009$, в октаве 4000 Гц $n = 0,022$.

Таблица 3

Коэффициент звукопоглощения материалов и конструкций, эквивалентная площадь поглощения зрителей

Материалы и конструкции	Коэффициенты звукопоглощения для октавных полос, α (Гц)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Стена оштукатуренная окрашенная клеевой краской	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
Бетон окрашенный	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Штукатурка по металлической сетке с воздушной полостью позади	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Панель деревянная толщиной 5-10 мм с воздушной полостью 50-100 мм	0,3	0,15	0,06	0,05	0,04	0,04
Пол паркетный	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Пол дощатый на лагах	0,1	0,1	0,1	0,08	0,08	0,09
Линолеум	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Ковер шерстяной толщиной 9 мм по	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37

бетону						
То же, на войлочной подкладке толщиной 3мм	0,11	0,14	0,37	0,43	0,27	0,37
Портьеры плюшевые со складками плотностью ткани 0,65 кг/м ²	0,15	0,35	0,55	0,7	0,7	0,65
Проем сцены, оборудованный декорациями	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Киноэкран	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Плиты «Акмигран» 300х300х20 мм						
Вплотную	0,05	0,15	0,5	0,65	0,65	0,7
С воздушным промежутком 50 мм	0,15	0,55	0,55	0,65	0,65	0,7
С воздушным промежутком 100 мм	0,25	0,55	0,55	0,65	0,65	0,7
Штукатурка гипсовая толщиной 20 мм с воздушной прослойкой 50- 150 мм	0,3	0,25	0,1	0,08	0,05	0,04
Плиты гипсовые перфорированные с пористым заполнителем	0,05	0,2	0,4	0,75	0,55	0,35
Плиты гладкие декоративные с пористым заполнителем без воздушной прослойки	0,05	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2
Плиты гладкие декоративные с пористым заполнителем с воздушной прослойкой 50 мм	0,15	0,4	0,4	0,4	0,2	0,1
Плиты гладкие декоративные с пористым заполнителем с воздушной прослойкой 100 мм	0,25	0,4	0,4	0,4	0,2	0,1
Панели по каркасу из брусков 3 х 10 см, обитые фанерой с шагом ячеек 0,5 х 0,7 и воздушной прослойкой 10см	0,32	0,35	0,19	0,13	0,11	0,1
Перфорированные конструкции из фанеры толщиной 3 мм по деревянными рамкам 60 х 60 с асбестовой ватой в мешковине 50, диаметр отверстия 6 мм, шаг 25 мм	0,2	0,46	0,58	0,52	0,42	0,3
Плиты ПА/С с набрызгом без воздушной прослойки	0,05	0,15	0,6	0,8	0,85	0,8
Плиты ПА/С с набрызгом с	0,1	0,3	0,8	0,85	0,8	0,7

воздушной прослойкой 50 мм						
Плиты ПА/С с набрызгом с воздушной прослойкой 100 мм	0,15	0,5	0,85	0,8	0,8	0,7
Фанера толщиной 6 мм и слоем минер. ваты толщиной 100 мм	0,6	0,23	0,14	0,09	0,08	0,02

Формула позволяет получить расчетное время реверберации, которое будет соответствовать реальному только в том случае, если звуковое поле в помещении можно считать достаточно диффузным. Условиями его обеспечения являются отсутствие заметной разницы в основных размерах помещения (соразмерность помещения), непараллельность стен, равномерное распределение поглотителей и членение значительной части внутренних поверхностей. Если соотношение $L:W:H$, рекомендованное для соответствующего помещения, выдержано, потолки и стены зала представляют многоэлементную систему, то это еще не является полной гарантией диффузности. Наиболее частой причиной отсутствия диффузности является сплошная звукопоглощающая отделка потолка или двух противоположных стен. При такой отделке звуковые волны распространяющиеся между потолком и полом (или между противоположными стенами), затухают заметно быстрее, чем между двумя противоположными поверхностями, и реальное время реверберации оказывается меньше расчетного по формуле Эйринга. Если же потолок поглощающий, а стены сильно отражающие и слабо расчленены, то расчетное время реверберации окажется меньше истинного.

Чтобы процесс затухания звука в вертикальной плоскости (пол – потолок) и в горизонтальной плоскости (противоположные стены) не слишком отличались друг от друга, необходимо, чтобы средний коэффициент звукопоглощения - (К.З.П.) этих поверхностей не очень сильно отличались друг от друга, т.е.

$$\frac{A_{\text{пот}} + A_{\text{пол}}}{S_{\text{пот}} + S_{\text{пол}}} = \frac{A_{\text{стен}}}{S_{\text{стен}}}$$

Подсчитанное время реверберации даже при выполнении рекомендаций по удельному объему, но при произвольном выборе средств звукопоглощения, не гарантирует того, что реверберационный процесс обеспечивает наилучшие условия восприятия звуковых сигналов. Для этого необходимо скорректировать полученное время реверберации с его оптимальным значением (выполнить условие оптимума реверберации).

Проверка разборчивости речи в зале

Результирующий эффект восприятия звука в помещении, с точки зрения его разборчивости, зависит от величины относительного воздействия на слушателя полезной и "бесполезной" частей звуковой энергии. К полезной звуковой энергии относятся энергия прямого звука и первых его полезных отражений (со временем запаздывания до 20 миллисекунд). К "бесполезной" - вся остальная звуковая энергия и "бесполезной" она названа условно, так как фактически она представляет собой реверберирующий фон в помещении.

Для лекционных залов и залов драматических театров разборчивость речи на местах зрителей имеет наиболее важное значение.

Коэффициент разборчивости речи K_p определяется из выражения по формуле:

$$K_p = \frac{A}{16\pi(1 - \bar{\alpha})^2} \left(\frac{1}{r_0^2} + \frac{1 - \alpha_1}{r_1^2} + \frac{1 - \alpha_2}{r_2^2} + \dots + \frac{1 - \alpha_n}{r_n^2} \right)$$

где A – эквивалентная площадь поглощения в зале в диапазоне 500 - 2000 Гц, м^2 (берется из таблицы расчета времени реверберации);

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

r_0 - расстояние между источником звука и рассматриваемой точкой, м;

$r_1, r_2, \dots, r_n$ - длина пути первых отражений от источника звука до рассматриваемой точки, пришедших в течение 20 миллисекунд, ($r_1 \dots r_n = l_{\text{отр}}$), м;

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – коэффициенты звукопоглощения поверхностей от которых пришли первые полезные отражения.

Минимальной величиной K_p считается 0,2, что соответствует 80% артикуляции, т.е. зрители правильно слышат 80% произнесенных звуков.

1.2. Практическая часть

Требуется спроектировать зрительный зал оптимальных размеров и формы из условия обеспечения акустических характеристик.

Методика определения

При проектировании зрительного зала необходимо:

- 1) подобрать основные параметры зрительного зала;
- 2) определить требуемое время реверберации;
- 3) определение расчетного времени реверберации.

Пример выполнения:

Требуется разработать проект зрительного зала драматического театра на 750 зрительских мест.

Принимаем удельный объем $4,5 \text{ м}^3 / \text{чел.}$, в этих условиях объем зала составит $V = 4,5 \cdot 750 = 3375 \text{ м}^3$.

Принимаем пропорции зала $\frac{l}{b} = 1.5$; $\frac{b}{h} = 1.4$, в этом случае ширина зала $b = 1.4h$, $l = 1.5b = 2.1h$.

Объем зала $V = 2.1h \cdot 1.4h \cdot h = 2.94h^3$; $3375 = 2.94h^3$; $h = 10.47 \text{ м.}$

Принимаем высоту зала $h = 10,5$, при этом ширина зала $b = 1.4 \cdot h = 1.4 \cdot 10.5 = 14.7 \text{ м.}$, длина зала $l = 1.5b = 1.5 \cdot 14.7 = 22.05 \text{ м.}$

Корректируем длину зала с учетом того, что по длине зала 2 м занимает авансцена, 1,5 м – проход перед авансценой и 1,2 м проход в центре зала. Принимает шаг рядов 0,9 м, тогда количество рядов составит:

$$n = \frac{22.05 - 2 - 1.5 - 1.2}{0.9} = 19.277.$$

Принимаем 21 ряд, длина зала составит $l = 21 \cdot 0.9 + 2 + 1.5 + 1.2 = 23.6\text{м}$.

Аналогично корректируем ширину зала, принимая центральный проход 1,3 м и ширину одного кресла 0,5 м.

Количество мест в ряду в среднем составляет $\frac{14.7-1.3}{0.5} = 26.8$.

Принимаем 26 мест, ширина зала составит $26 \cdot 0.5 + 1.3 = 14.3$. После корректировки объем зала составляет: $V = 23.6 \cdot 14.3 \cdot 10.5 = 3543.5\text{м}^3$.

При этом удельный объем $V_{\text{уд.}} = \frac{3543.5}{750} = 4.7\text{м}^3$, что соответствует норме.

Получаем, что в партере размещается 21 ряд по 26 мест, итого 546 человек. Исходя из этого 204 места необходимо предусмотреть на балконе.

Строим план зала. Принимаем угол раскрытия боковых стен 10° , тогда расширение зала с каждой стороны составит $tg 10^\circ \cdot l = 0.176 \cdot 23.6 = 4.15\text{м}$, принимаем 4 м.

В этом случае задняя стена составит 18,3м, ширина зала у авансены 10,3м.

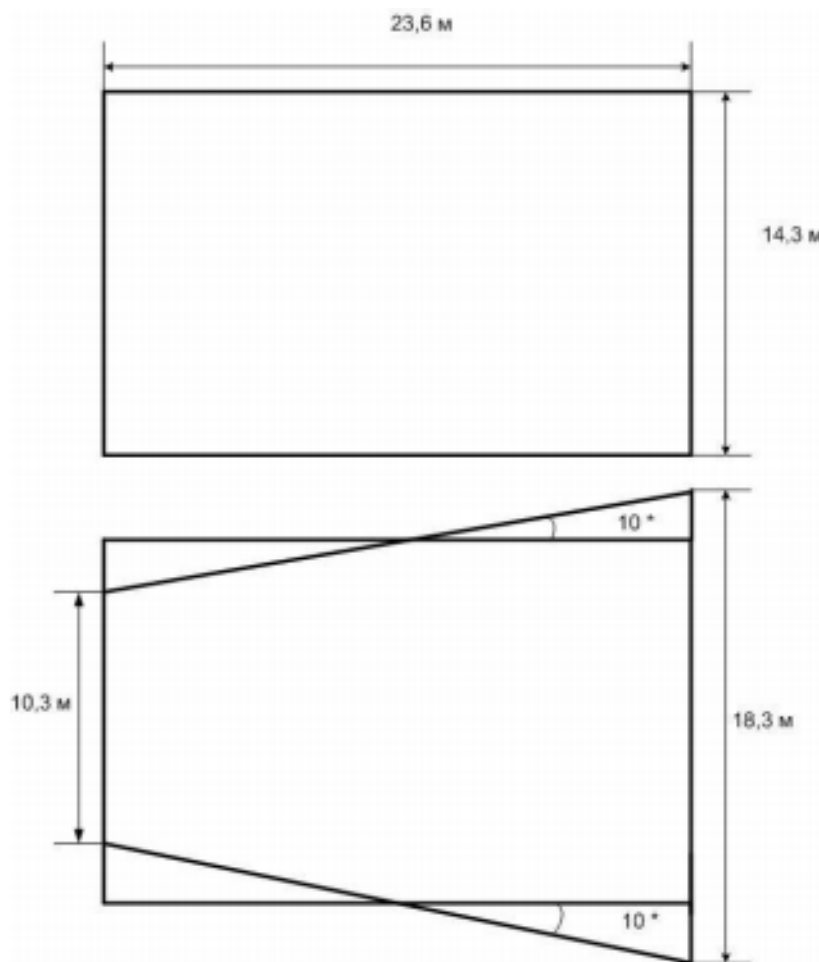


Рис. 6. План зала

Принимаем на балконе 6 рядов, что составит вынос балкона $6 \cdot 0.9 = 5.4$ м. Ширина балкона в передней части составит $18.3 - 2tg10^\circ \cdot 5.4 = 18.3 - 1.9 = 16.4$ м. Средняя ширина балкона $\frac{18.3+16.4}{2} = 17.35$ м.

Принимаем на балконе 2 прохода общей шириной 1,85 м, тогда количество мест в ряду $\frac{17.35-1.85}{0.5} = 31$, таким образом на балконе возможно разместить $31 \cdot 6 = 186$ человек.

Для оставшихся 18 человек предусмотрим 2 балкона по 9 человек каждый по боковым стенам.

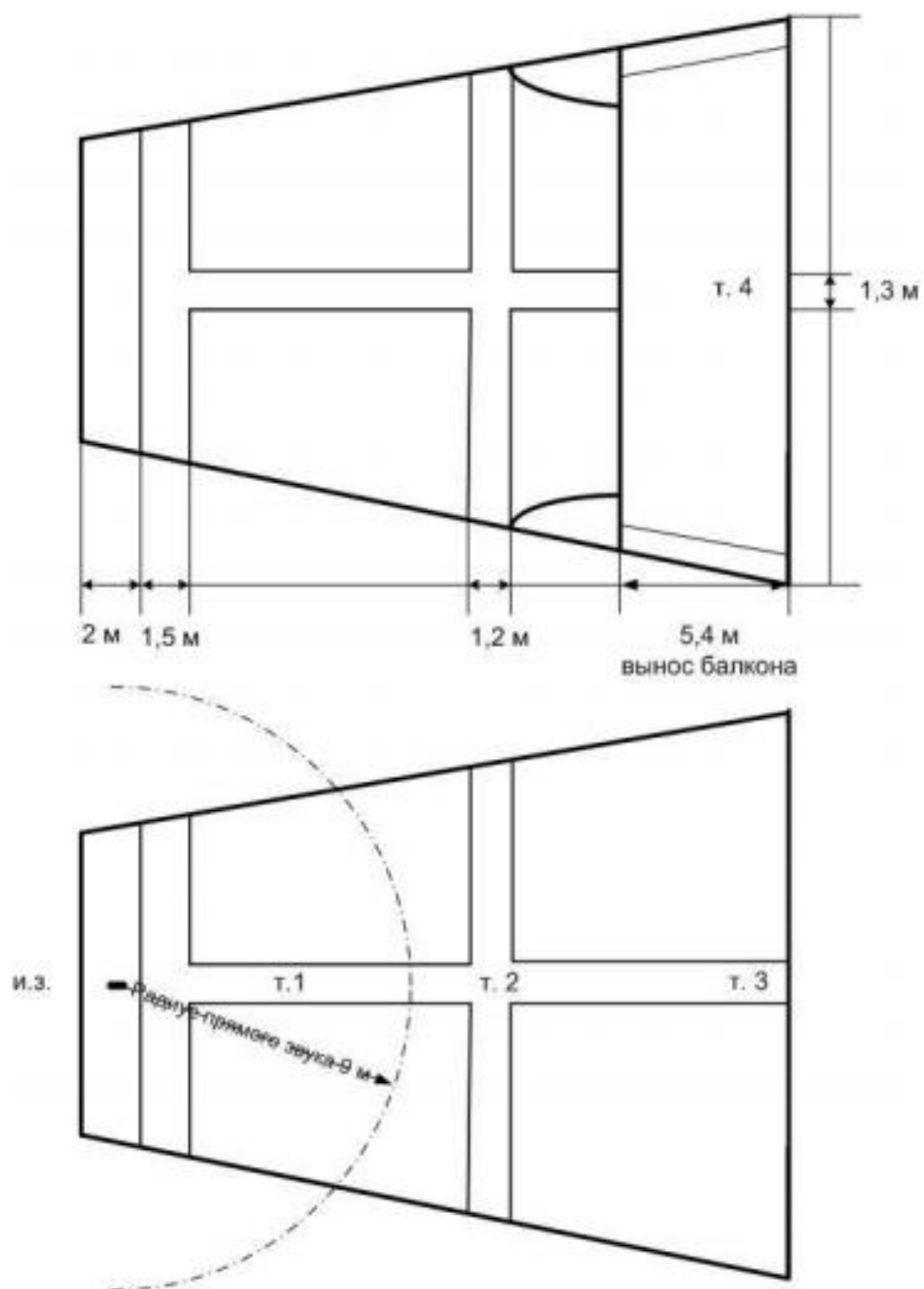


Рис. 7. План зала

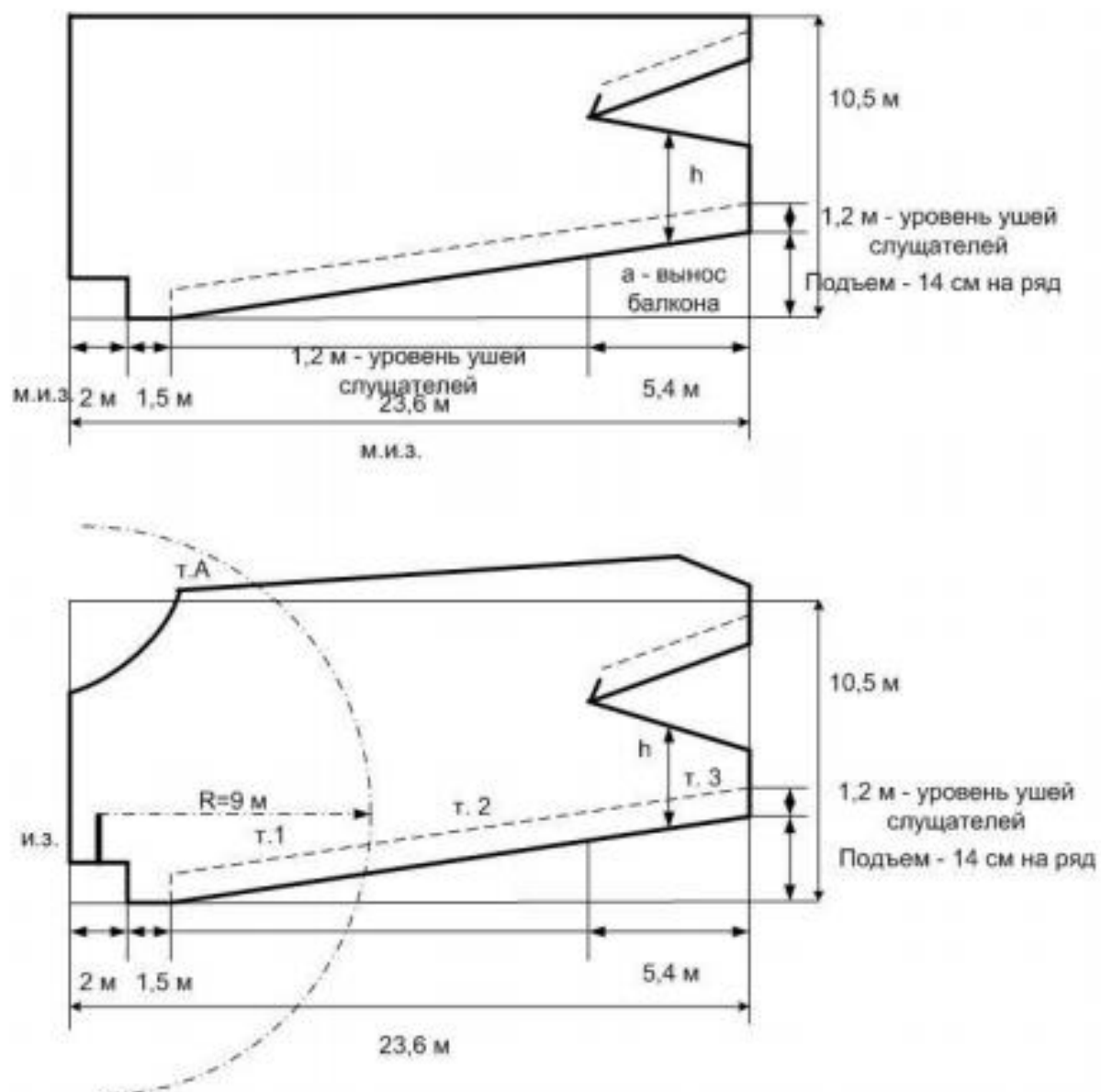
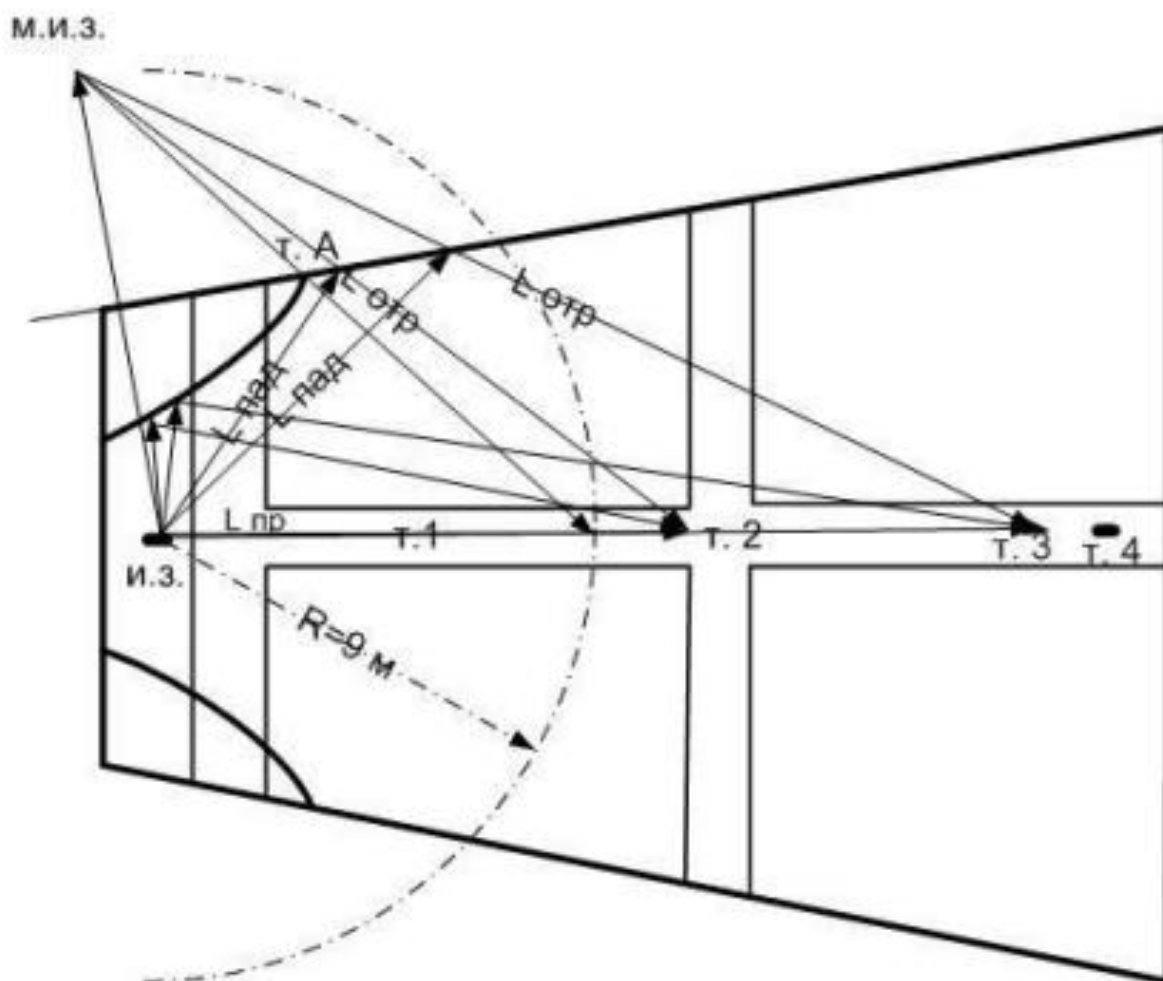


Рис. 8. Разрез зала



т. А - начало бокового отражателя
 R - радиус прямого звука
 т. 1, т. 2, т. 3 - контрольные точки

Рис. 9. План зала

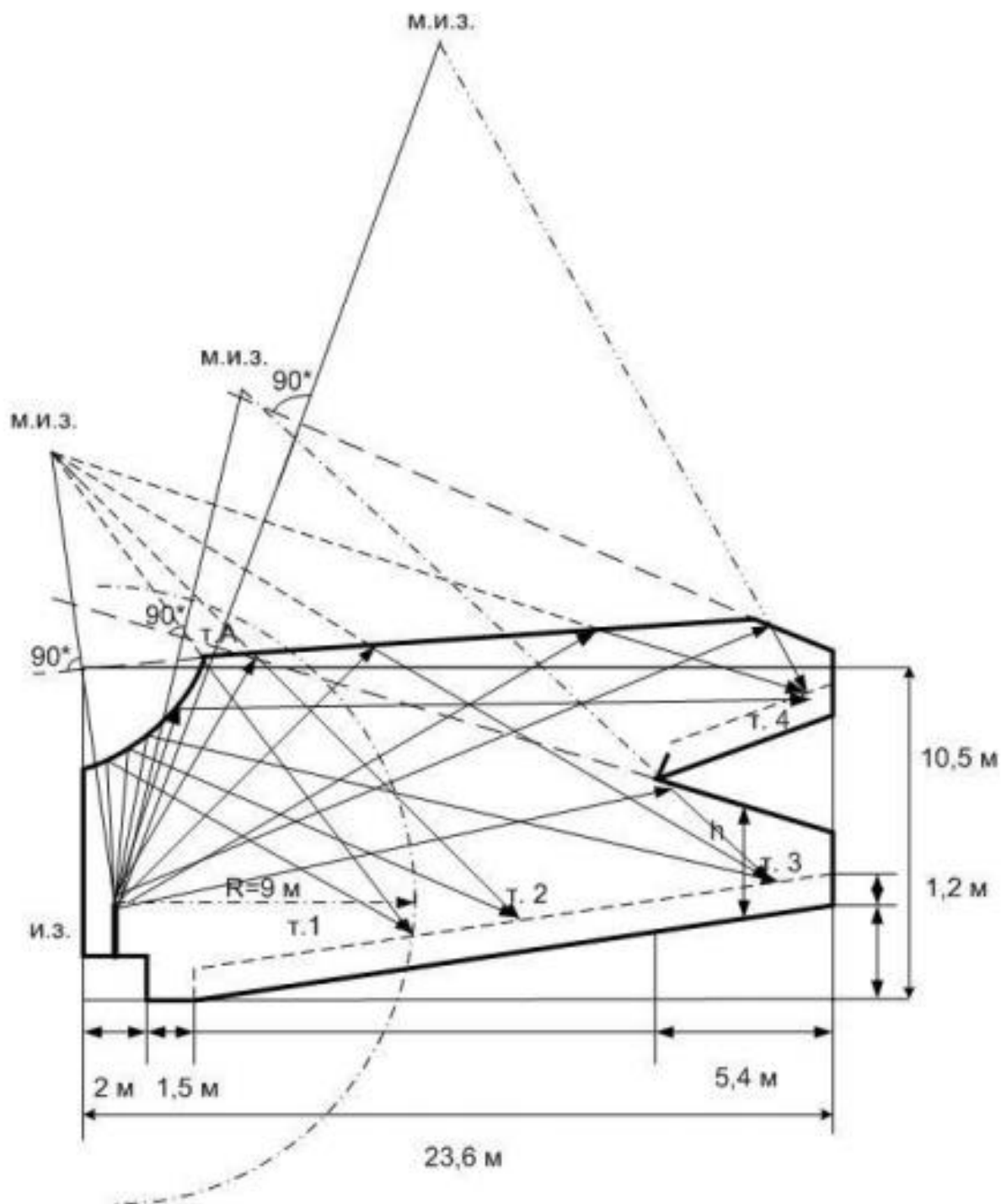


Рис. 10. Разрез зала

Проверка времени запаздывания звука

Т.1. $t_{\text{зап.}} = \frac{(l_{\text{отр}} - l_{\text{пр}}) \cdot 1000}{340} \leq 20 - 25 \text{ мс}$, в первой точке запаздывания звука нет.

Т.2. по разрезу имеем:

$$1. t_{\text{зап.}} = \frac{(18-11.5) \cdot 1000}{340} = 19 \text{мс} < 20 \text{мс},$$

2. $t_{\text{зап.}} = \frac{(20.5-11.5) \cdot 1000}{340} = 26 \text{мс} > 25 \text{мс}$, следовательно, желательно опустить уровень потолка.

по плану имеем:

$$3. t_{\text{зап.}} = \frac{(14.6-11.5) \cdot 1000}{340} = 9.1 \text{мс} < 20 \text{мс},$$

$$4. t_{\text{зап.}} = \frac{(16.5-11.5) \cdot 1000}{340} = 14.7 \text{мс} < 20 \text{мс}$$

Т.3. по разрезу имеем:

$$1. t_{\text{зап.}} = \frac{(25.8-19.5) \cdot 1000}{340} = 18.5 \text{мс} < 20 \text{мс},$$

$$2. t_{\text{зап.}} = \frac{(26.2-19.5) \cdot 1000}{340} = 19.7 \text{мс} < 20 \text{мс},$$

$$3. t_{\text{зап.}} = \frac{(22.5-19.5) \cdot 1000}{340} = 8.8 \text{мс} < 20 \text{мс},$$

по плану имеем:

$$4. t_{\text{зап.}} = \frac{(22.5-19.5) \cdot 1000}{340} = 8.8 \text{мс} < 20 \text{мс},$$

$$5. t_{\text{зап.}} = \frac{(23.5-19.5) \cdot 1000}{340} = 11.8 \text{мс} < 20 \text{мс},$$

Т.4. по разрезу имеем:

$$1. t_{\text{зап.}} = \frac{(26.5-22.5) \cdot 1000}{340} = 11.8 \text{мс} < 20 \text{мс},$$

$$2. t_{\text{зап.}} = \frac{(25.5-22.5) \cdot 1000}{340} = 8.8 \text{мс} < 20 \text{мс},$$

$$3. t_{\text{зап.}} = \frac{(25-22.5) \cdot 1000}{340} = 7.3 \text{мс} < 20 \text{мс},$$

по плану имеем:

$$4. t_{\text{зап.}} = \frac{(25.5-21) \cdot 1000}{340} = 11.7 \text{мс} < 20 \text{мс},$$

$$5. t_{\text{зап.}} = \frac{(21.5-21) \cdot 1000}{340} = 7.3 \text{мс} < 20 \text{мс}.$$

Проводим расчет времени реверберации в табличной форме. Поскольку для студента главное уяснить порядок и принципы расчета, расчет проводим

для трех октавных полос 125, 500 и 2000 Гц, опуская октавы 250, 1000 и 4000 Гц.

Определение требуемого времени реверберации

По графику на рис. 3 оптимальное время реверберации при объеме зала 3543м^3 составляет $T_{500}=1,03$ секунды.

Скорректируем рекомендуемое время реверберации для частот 125 Гц и 2000 Гц. Для речевых залов рекомендуется не изменять время реверберации на частоте 2000 Гц, а на частоте 125 Гц уменьшить на 15%.

Получаем: $T_{125}=0,9\text{с}$, $T_{500}=1,03\text{с}$, $T_{2000}=1,03\text{с}$.

Определение расчетного времени реверберации

Определяем площади составляющих ограждающих конструкций зала S , принимаем коэффициенты звукопоглощения по таблице 4 и определяем величины эквивалентной площади поглощения отдельных поверхностей $A=\alpha S$. При этом учитываем, что площадь пола вводится в расчет только свободная от мест зрителей.

Таблица 4

Коэффициенты звукопоглощения

Поверхности и материалы	Площадь $S, \text{м}^2$	Октавные полосы частот, Гц					
		125		500		2000	
		α	A	α	A	α	A
Потолок (включая нижнюю часть балкона) штукатурка, клеевая краска	431	0,02	8,62	0,02	8,62	0,04	17,24
Стены, штукатурка, клеевая краска	674	0,02	13,48	0,02	13,48	0,04	26,96
Пол, ковер на войлочной подкладке	72	0,11	7,92	0,37	26,64	0,27	19,44

Проем сцены	60	0,2	12	0,3	18	0,3	18
Добавочное поглощение	$S_{\text{общ}}=1596$	0,06	95,76	0,04	63,83	0,04	63,84
Зрители в мягких креслах 70% N=525кресел	251	0,25	131,25	0,4	210	0,45	236,25
Кресла мягкие 30% N=225кресел	108	0,15	33,75	0,2	45	0,3	67,5
	$\frac{A}{\alpha}$		302,78		385,58		449,23
	$-\ln(1 - \bar{\alpha})$		0,19		0,24		0,28
	T, с		0,21		0,27		0,33
			1,7		1,3		1,03

Т.к. оптимальное время реверберации составляет 1,03секунды, а расчетное 1,3с, то принимаем решение облицевать нижнюю часть стен деревянными панелями с воздушной полостью:

$$T = \frac{0.163V}{\varphi(\bar{\alpha})S_{\text{общ}} + nV}, \text{с}$$

$$n_{125, 500}=0, n_{500}=0.009$$

$$T_{125} = \frac{0.163 \cdot 3543.5}{0.3 \cdot 1596} = 1.2 \text{с} ;$$

$$T_{500} = \frac{0.163 \cdot 3543.5}{0.29 \cdot 1596} = 1.25 \text{с} ;$$

$$T_{2000} = \frac{0.163 \cdot 3543.5}{0.33 \cdot 1596 + 0.009 \cdot 3543.5} = 1.03 \text{с}$$

Время реверберации завышено в октаве 500Гц.

Рассмотрим, возможно ли уменьшить высоту зала. Подъем пола зала относительно центра, это 10 рядов с подъемом 14 см на ряд, т.е. всего 1,4м, высоту до низа балкона принимаем 2,2м, балкон занимает по высоте 2,5м, в конце балкона высота 2,2м и наклонный потолок еще 1м. Итого в сумме это составляет 9,3м, таким образом, мы можем опустить потолок на 1,2м. В этом

случае объем зала составит $23.6 \cdot 14.3 \cdot 9.3 = 3138.56 \text{ м}^3$, а время реверберации в октаве 500 Гц составит:

$$T_{500} = \frac{0.163 \cdot 3138.56}{0.29 \cdot 1596} = 1.1 \text{ с}, \text{ полученное значение является допустимым.}$$

$$K_p = \frac{A}{16\pi(1 - \bar{\alpha})^2} \left(\frac{1}{r_0^2} + \frac{1 - \alpha_1}{r_1^2} + \frac{1 - \alpha_2}{r_2^2} + \dots + \frac{1 - \alpha_n}{r_n^2} \right)$$

$$\text{T.1. } K_{p \ 125 \text{ Гц}} = \frac{414.78}{16\pi(1-0.026)^2} \left(\frac{1}{5^2} \right) = 0.6$$

$$K_{p \ 500 \text{ Гц}} = \frac{401.58}{16\pi(1 - 0.25)^2} \left(\frac{1}{5^2} \right) = 0.57$$

$$K_{p \ 2000 \text{ Гц}} = \frac{449.23}{16\pi(1-0.028)^2} \left(\frac{1}{5^2} \right) = 0.69$$

$$\text{T.2. } K_{p \ 125 \text{ Гц}} = \frac{414.78}{16\pi(1-0.26)^2} \left(\frac{1}{11.5^2} + \frac{1-0.02}{18^2} + \frac{1-0.02}{20.5^2} + \frac{1-0.3}{14.6^2} + \frac{1-0.3}{16.5^2} \right) = 0.37$$

$$K_{p \ 500 \text{ Гц}} = \frac{401.58}{16\pi(1-0.25)^2} \left(\frac{1}{11.5^2} + \frac{1-0.02}{18^2} + \frac{1-0.02}{20.5^2} + \frac{1-0.06}{14.6^2} + \frac{1-0.06}{16.5^2} \right) = 0.41$$

$$K_{p \ 2000 \text{ Гц}} = \frac{449.23}{16\pi(1-0.28)^2} \left(\frac{1}{11.5^2} + \frac{1-0.04}{18^2} + \frac{1-0.04}{20.5^2} + \frac{1-0.04}{14.6^2} + \frac{1-0.04}{16.5^2} \right) = 0.50$$

$$\text{T.3. } K_{p \ 125 \text{ Гц}} = \frac{414.78}{16\pi(1-0.26)^2} \left(\frac{1}{19.5^2} + \frac{1-0.02}{25.8^2} + \frac{1-0.02}{26.2^2} + \frac{1-0.02}{22.5^2} + \frac{1-0.3}{22.5^2} + \frac{1-0.3}{23.5^2} \right) = 0.22$$

$$K_{p \ 500 \text{ Гц}} = \frac{401.58}{16\pi(1-0.25)^2} \left(\frac{1}{19.5^2} + \frac{1-0.02}{25.8^2} + \frac{1-0.02}{26.2^2} + \frac{1-0.02}{22.5^2} + \frac{1-0.06}{22.5^2} + \frac{1-0.06}{23.5^2} \right) = 0.29$$

$$K_{p \ 2000 \text{ Гц}} = \frac{414.78}{16\pi(1-0.28)^2} \left(\frac{1}{19.5^2} + \frac{1-0.04}{25.8^2} + \frac{1-0.04}{26.2^2} + \frac{1-0.04}{22.5^2} + \frac{1-0.04}{22.5^2} + \frac{1-0.04}{23.5^2} \right) = 0.34$$

Во всех точках рассчитанный $K_p > 0,20$, следовательно разборчивость речи во всех местах будет удовлетворительная.

Задание для самостоятельной проработки:

Требуется разработать проект зрительного зала драматического театра на 1200 зрительских мест.