

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие электронно-образовательный ресурс (ЭОР) разработан с учетом возросших требований к комфортности проживания и деятельности людей в зданиях и сооружениях различного назначения, а также повышения нормативных требований по тепловой защите, звукоизоляции и освещению, инсоляции зданий и сооружений. ЭОР представляет собой теоретические основы по гигиеническим качествам внутренней среды помещений зданий и физическим процессам в ограждающих конструкциях при воздействии на них естественных природно-климатических и антропогенных факторов в виде отрицательных и положительных температур, влажности, естественного света, солнечной радиации и звука.

Оттого правильного планирования города, построение здание или сооружение, вписывание в природу, зависит комфортность внешней (на территории города) и внутренней (в помещении) среды жизнедеятельности человека.

Главной задачей Физики среды является обеспечение комфортной среды обитания человека в зданиях путем объемно-планировочных, архитектурно-конструктивных решений с учетом внешних негативных и позитивных факторов естественных климатических и искусственных факторов среды.

Физика среды - фундамент, на котором базируются важнейшие положения основных строительных документов – Строительных и Санитарных норм, регламентирующих комфортность, компактность, прочность и экономичность застройки, зданий и сооружений.

Составной частью Физики среды является Строительная физика.

Строительная физика – прикладная область физики, рассматривающая физические явления и процессы в конструкциях зданий, связанные с переносом тепла, звука и света, а также явления и процессы в помещениях здания, связанные с распространением звука и света.

В процессе изучения данного курса перед студентами ставятся следующие задачи:

- овладение знаниями в области теории физики среды;
- изучение методов расчета;
- применение полученных знаний в практике работы в организациях и учреждениях, связанных с расчетами и проектированием зданий и сооружений с учетом негативных и позитивных факторов среды окружающей человека.

В настоящее время в связи с проводимой в стране политикой по упорядочиванию нормативной документации в области строительства путем актуализации СП с введением их в действие, также разработаны СанПиН, которые предназначены для оценки физики среды в зданиях и сооружениях:

СП 131.13330.2020 Строительная климатология;

ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей;

СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия;

СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий;

СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение;

СП 51.13330.2011 Защита от шума;

СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»

При применении указанных норм в процессе проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений следует руководствоваться основными положениями следующих строительных норм:

СП 54.13330.2016 Здания жилые многоквартирные;

СП 55.13330.2016 Дома жилые одноквартирные;

СП 345.1325800.2017 Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты;

СП 118.13330.2012 Общественные здания и сооружения;

СП 56.13330.2011 Производственные здания;

СП 2.2.1.1312-03 Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий.

В зависимости от решения конкретных задач Физика среды подразделяется на следующие разделы (рис.1): архитектурно-строительная климатология; архитектурно-строительная теплотехника; архитектурно-строительная светотехника и инсоляция; архитектурно-строительная акустика и звукоизоляция.

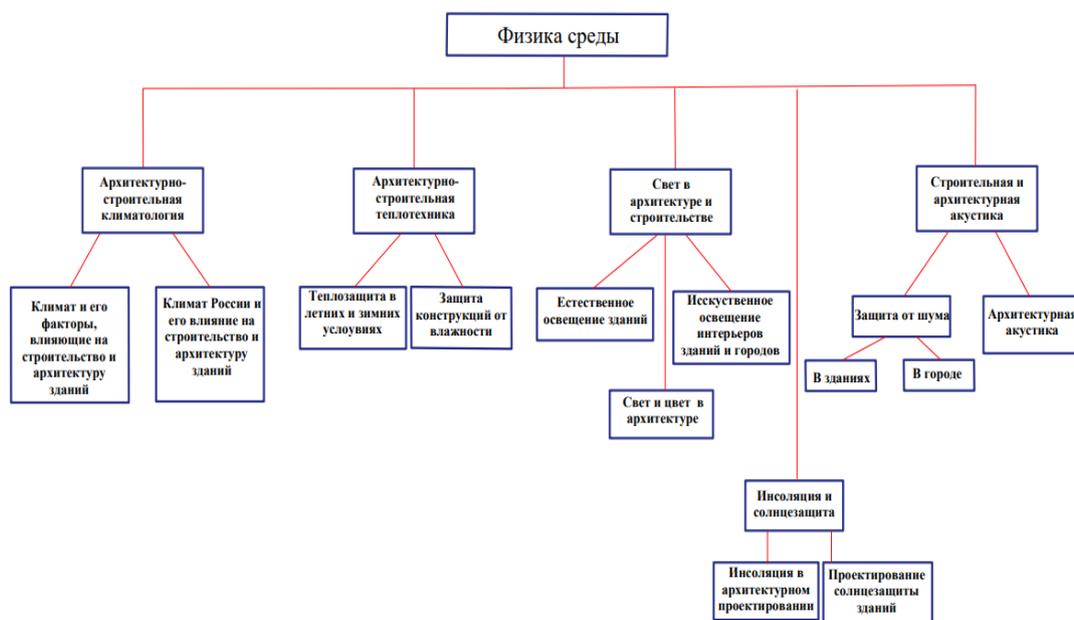


Рис. 1. Структура Физики среды

Основная задача проектировщиков состоит прежде всего в том, чтобы создать наилучшие условия в здании, так как человек проводит большую часть своей жизни в закрытом помещении.

ЭОР являются теоретическим и практическим методическим пособием для студентов при освоении дисциплины "Физика среды" и включают в себя теоретические материалы разделов Физики среды, практические занятия и лабораторные работы, может использоваться при разработке курсовых проектов и работ, выпускных квалификационных работ.

Раздел 1. Климат и строительная климатология

Лекция 1.

Цель и задачи курса

Целью освоения дисциплины «Физика среды» является формирование компетенций обучающегося в области проектирования зданий и застройки с учетом физики среды, теплозащиты зданий и ограждающих конструкций, защиты от шума, естественного освещения и инсоляции.

Задачами изучения предмета являются:

-научить теоретическим основам и практическим методам решения задач для формирования архитектуры зданий и сооружений под воздействием солнечного света, тепла, движения воздуха и распространения звука с учетом их природы восприятия человеком, с оценкой социологических, гигиенических и экономических факторов;

- основные моменты физико-технического проектирования зданий.

-сформировать базовую систему проектных решений;

-обучить методам расчета, направленным на повышение уровня комфортности среды обитания человека в помещениях зданий и сооружений.

1.1 Общие сведения о климате. Климат и практика строительства и проектирования

Архитектурно-строительная климатология один из разделов Физики среды, призванный раскрыть связи между климатическими условиями и архитектурой зданий и сооружений, а также градостроительных образований. Это наука об учёте климата при решении архитектурно-строительных задач. В данном разделе рассматриваются вопросы, связанные с оптимизацией размеров и формы помещений, их объемно-планировочных решений, конструктивных решений теплозащитной оболочки зданий. Среди этих вопросов особое место отводится гигиеническим качествам, определяющим

биоклиматический комфорт воздушной среды, характеристики которой зависят от климатических условий и места строительства.

Решающее значение при выборе конструктивного исполнения ограждающих конструкций зданий и сооружений имеют метеорологические (климатические) факторы, т.е. качественные и количественные параметры окружающей среды региона - его климата: светового, температурно-влажностного и ветрового.

Основная задача Архитектурно-строительной климатологии — обоснование целесообразных проектных решений, планировки населенных мест, типов зданий и ограждающих конструкций, учитывающих особенности климата. Для решения этой задачи необходимо располагать данными о влиянии климата на архитектурные и конструктивные решения зданий.

Климатические характеристики выводятся из наблюдений над метеорологическими элементами, наиболее важными из них являются атмосферное давление, скорость и направление ветра, температура и влажность воздуха, облачность и атмосферные осадки.

Основными характеристиками климата является температура и влажность, температура и давление, температура и скорость ветра, давление и влажность.

Основные факторы климата – температура, влажность, ветер, солнечная радиация, которые являются определяющими факторами при проектировании и строительстве зданий, реконструкции и реставрации.

1.2 Типы климата. Климатическое районирование. Параметры климата, виды климата и его основные факторы

В зависимости от разнообразия климатических условий производится соответствующее зонирование и районирование территорий.

Климатическое районирование Земного шара подразумевает три зоны: зона с жарким климатом; зоны с умеренным климатом; зоны с суровым холодным климатом (рис. 1.2.1).

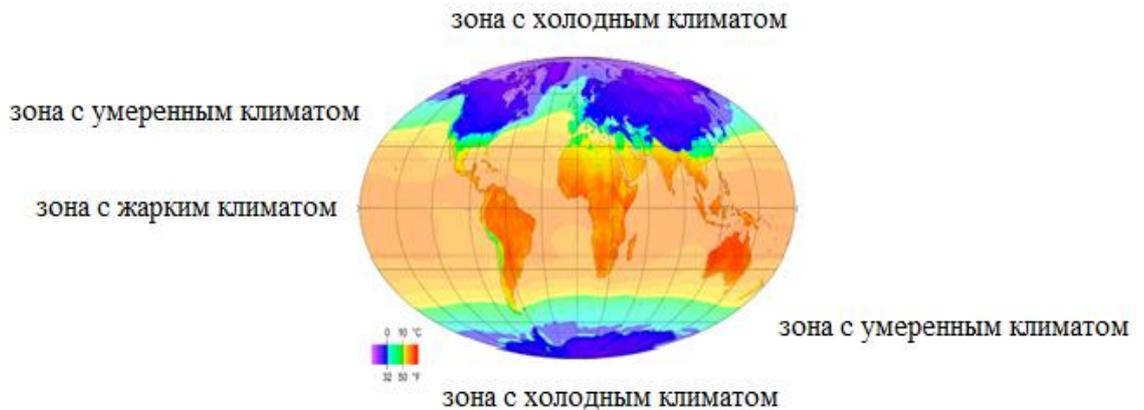


Рис. 1.2.1 Климатическое зонирование земного шара

Различия климатических зон по Алисову Б.П.: экваториальный климат; субэкваториальный климат; тропический климат; субтропический климат; арктический климат; субарктический климат (рис. 1.2.3).

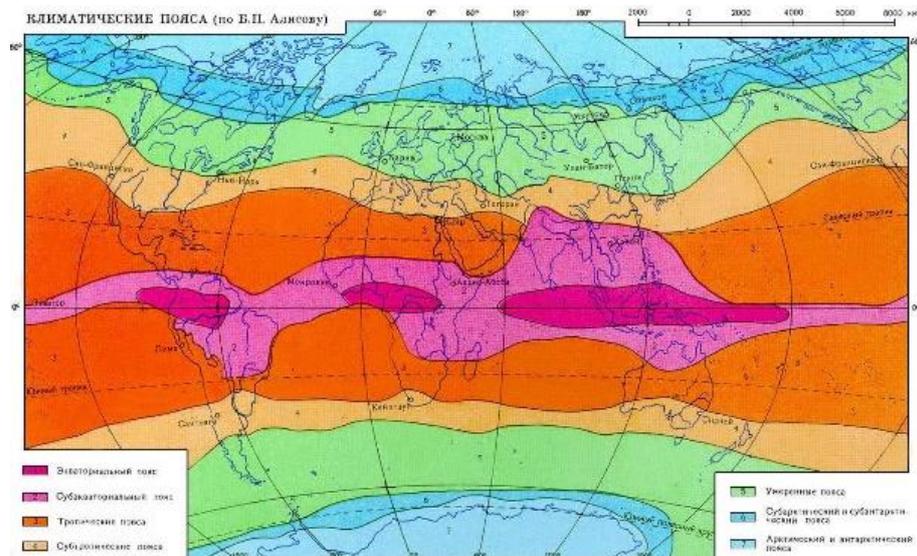


Рис. 1.2.3. Климатическое районирование Земного шара по Б.П.Алисову

В направлении с севера на юг наша страна располагается в арктическом, субарктическом и умеренном климатических поясах. Но существенные изменения климата наблюдаются и в пределах каждого пояса: как при движении с запада на восток (климатические области), так и при движении с севера на юг (зональные типы климата). Так, например, выделяются пять подтипов умеренного климатического пояса: умеренно-континентальный, континентальный, резко-континентальный, муссонный и климат восточных побережий. Для каждого из типов климатов характерен свой температурный режим, режим осадков, преобладающие типы погоды по сезонам года (рис. 1.2.4, табл. 1.2.1).



Рис. 1.2.4 Типы климата России

Типы климата России и их характеристика

Климатический пояс	Тип климата	Территория	Характеристика
Арктический	Арктических пустынь	Острова Северного Ледовитого океана и его сибирские побережья	Холодные арктические ВМ, зимой - полярная ночь: t° до -50° С, летом - полярный день: t° до $+4^{\circ}$ С. Господствует облачная погода, осадков до 300 мм/год, в основном в виде снега.
Субарктический	Субарктический	Районы, расположенные за северным полярным кругом, в Восточной Сибири до 60° широты	Летом влажные ВМ умеренных широт, зимой - арктические ВМ; t° летом до $+14^{\circ}$, зимой - до -40° С. Суровость климата нарастает с З на В. Характерны циклоны, осадков до 600 мм/год, больше, чем испаряется.
Умеренный	Умеренно-континентальный	Европейская часть России	Большое влияние Атлантических ВМ и западного переноса вторгаются Арктические ВМ. t° летом до $+22^{\circ}$, зимой до -18° С. Осадков до 800 мм/год (убывают с З на В).
Умеренный	Континентальный	Западная Сибирь	Характерна меридиональная циркуляция ВМ, ослабевают циклоническая деятельность. Осадки от 300 мм до 600 мм/год, континентальность климата возрастает с С на Ю. t° летом до $+25^{\circ}$, зимой до -25° .
Умеренный	Резко-континентальный	Восточная Сибирь, горы юга Сибири	Весь год господствуют континентальные ВМ умеренных широт, Азиатский максимум давления. Осадки до 400 мм/год. t° летом до $+26^{\circ}$, зимой около -40° .
Умеренный	Мусонный	Дальний Восток	Теплое влажное лето ($+16^{\circ}$), морозная сухая зима (до -25°), большое к-во осадков (800 мм летом), влияет муссон, Тихоокеанский циклон - летом, зимой - Азиатский максимум.

Строительно-климатическое районирование территории (карты районирования) России и территории постсоветского пространства выполняется по: температурному режиму; влажностному режиму; световому режиму; ветровому режиму.

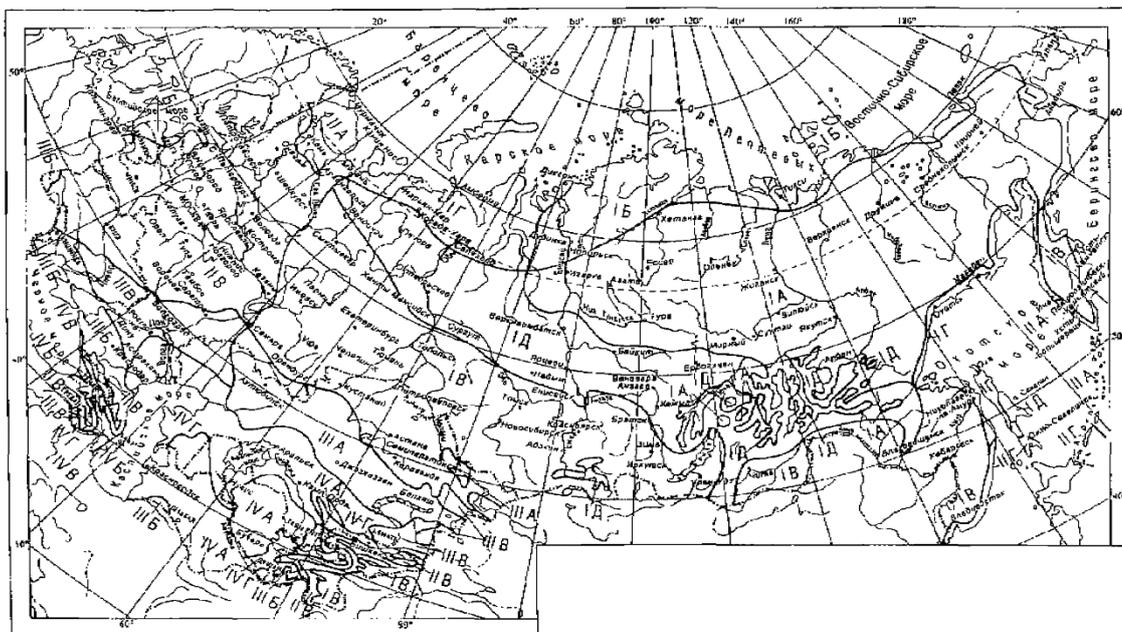
По температурному режиму согласно СП131.13330 различают I, II, III, IV – строительно-климатические районы (рис. 1.2.5 а, б).

Многообразиие природно-климатических условий нашей страны, наличие территорий с длительным суровым климатом на севере (рис 1.2.5 а, 1.2.6 а) и длительным жарким климатом на юге (рис. 1.2.6 б, в) предопределяет большое разнообразие типов зданий и нормативных требований к ним.

Строительно-климатическое районирование Дальнего Востока(а), Северного Кавказа России и республик Закавказья (б), Центральной Азии (в) представлены на рис. 1.2.6 а, б, в.

Учет климатических требований при проектировании зданий позволил создать благоприятные условия жизни в городах с очень суровым холодным климатом в подрайонах IA, IB, IG, ID, IA (Норильск, Магадан, Воркута и др.) и в районах с жарким климатом: подрайоны IVA, IVB, IVB, IVГ (Краснодар, Сумгаит, Шевченко и др.).

а



б

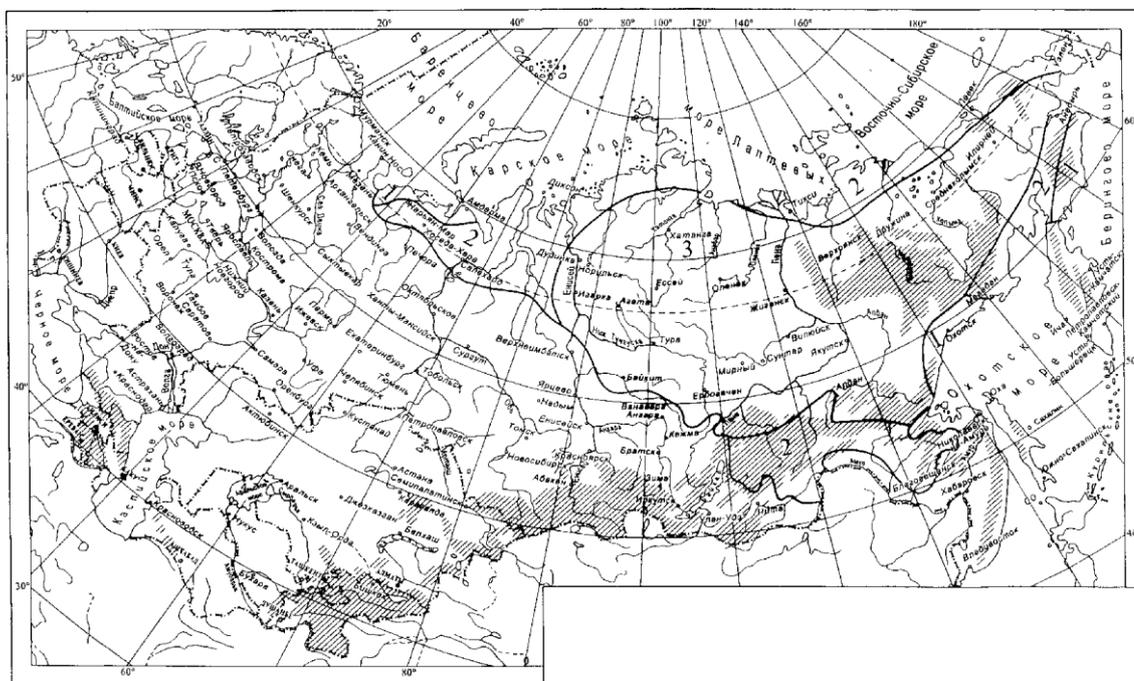


Рис. 1.2.5. Схема-карта климатического районирования территории постсоветского пространства: а – схематическая карта климатического районирования для строительства, б – схематическая карта северной строительно-климатической зоны

Большую часть России занимают районы с умеренным климатом. К ним относятся территории с холодной и умеренной зимой (климатические подрайоны IV, IVB, IVB, IVГ), районы с аналогичными или близкими зимними условиями, но с более теплым летом (климатические подрайоны IIIA, IIIB, IIIB).

Климатическое районирование обеспечивает разработку типологических требований к зданиям различного назначения (табл. 1.2.2).

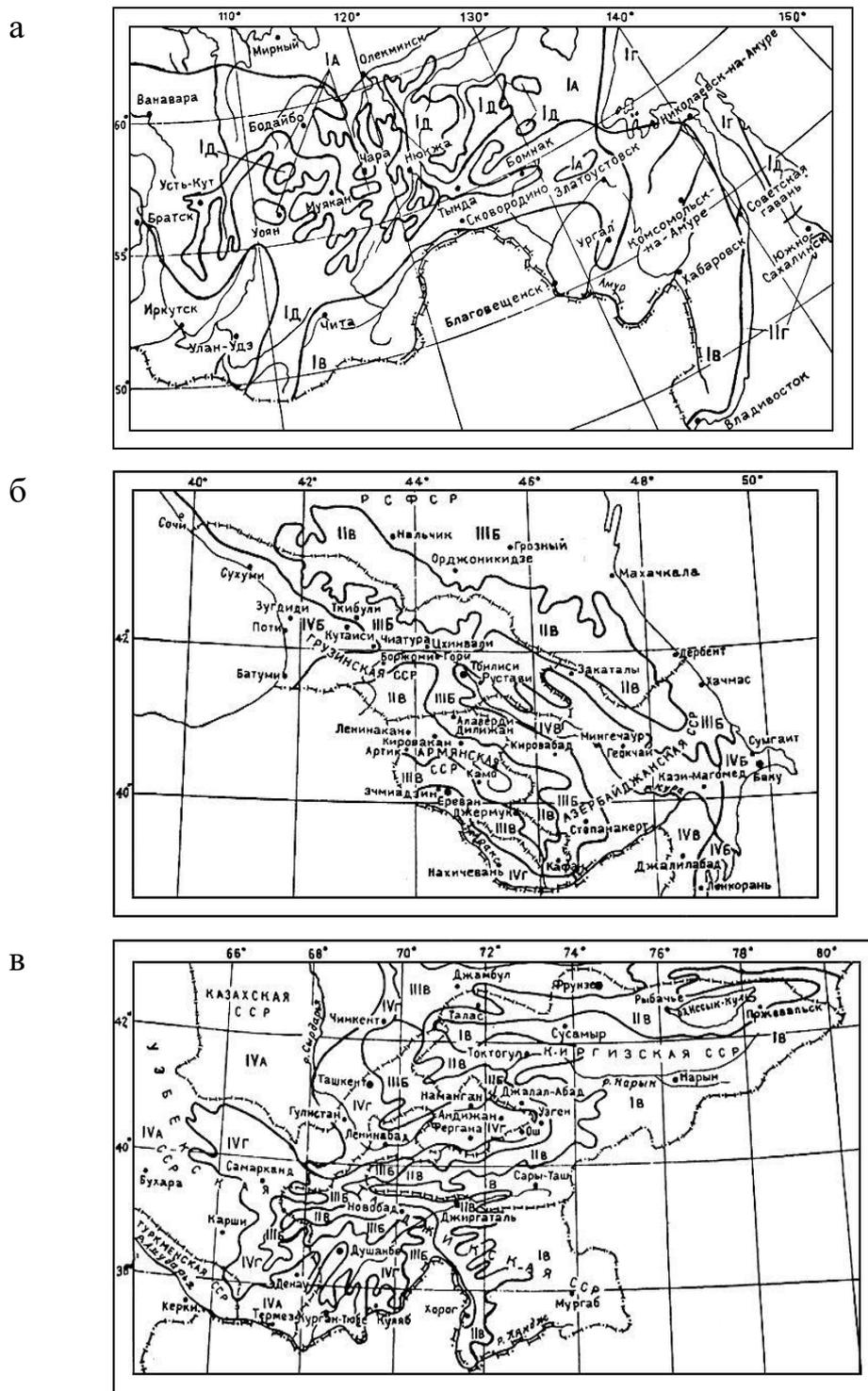


Рис. 1.2.6 Строительно-климатическое районирование территории Дальнего Востока (а), Северного Кавказа России и республик Закавказья (б), Центральной Азии (в)

Таблица 1.2.2

Характеристика климатических районов и подрайонов России и СНГ

Климатические районы	Климатические подрайоны	Среднемесячная температура воздуха в январе, °С	Средняя скорость ветра за три зимних месяца, м/с	Среднемесячная температура воздуха в июле, °С	Среднемесячная относительная влажность воздуха в июле, %	Природно-климатические факторы, определяющие общность типологических требований к зданиям
I	IA	От -32 и ниже	-	От +4 до +19	-	Суровая и холодная длительная зима, обуславливающая максимальную теплозащиту зданий
	IB	От -28 и ниже	5 и более	От 0 до +13	более 75	
	IV	От -14 до -28	-	От +12 до +21	-	
	IG	От -14 до -28	5 и более	От 0 до +14	более 75	
	ID	От -14 до -32	-	От +10 до +20	-	
II	IIA	От -4 до -14	5 и более	От +8 до +12	более 75	Умеренная зима, обуславливающая необходимую теплозащиту зданий
	IIB	От -3 до -5	5 и более	От +12 до +21	более 75	
	IIV	От -4 до -14	-	От +12 до +21	-	
	IIH	От -5 до -14	5 и более	От +12 до +21	более 75	
III	IIIA	От -14 до -20	-	От +21 до +25	-	Отрицательные температуры зимнего периода и жаркое лето, определяющие теплозащиту зданий в зимний период и защиту их от перегрева летом
	IIIB	От -5 до +2	-	От +21 до +25	-	
	IIIV	От -5 до -14	-	От +21 до +25	-	
IV	IVА	От -10 до +2	-	От +28 и выше	-	Жаркое лето и относительно короткий зимний период, обуславливающие активную защиту зданий от перегрева летом при соответствующей
	IVБ	От +2 до +6	-	От +22 до +28	50 и более 15ч	
	IVВ	От 0 до +2	-	От +25 до +28	-	

IVГ	От -15 до 0	-	От +25 до +28	-	теплозащите в зимний период
-----	----------------	---	------------------	---	--------------------------------

Климатический район I характеризуется продолжительностью холодного периода года (со средней суточной температурой ниже 8 °С) 260 дней в году и более, в то время в IV районе 120 дней в году и менее.

На территории Российской Федерации значительно различается влажность. Зоны влажности вынесены в отдельную карту, которой следует руководствоваться при проектировании и строительстве объектов, при выполнении расчетов по физике среды (рис. 1.2.7). Карты зон влажности дают понимание о различии климата по регионам государства. По влажностному режиму территория делится на влажную зону (1), нормальную (2) и сухую (3).



Рис. 1.2.7. Схематическая карта зон влажности

Районирование территории России по светоклиматическим поясам (административным районам) происходит с учетом показателей светового климата:

- освещенности на горизонтальной поверхности и различно ориентированных вертикальных поверхностях, создаваемой прямым облучением Солнца и рассеянным диффузным светом небосвода;
- абсолютного значения яркости и относительного распределения яркости по небу сплошной облачности и при отсутствии облаков;
- продолжительности солнечного сияния;
- прозрачности атмосферы и коэффициента отражения поверхности.

Расположение светоклиматических поясов приведено на рис. 1.2.8. На карте приведены значения m , которые используются при расчётах коэффициентов естественной освещённости (КЕО). По световому режиму территории подразделяются на I, II, III, IV, V – световые пояса.

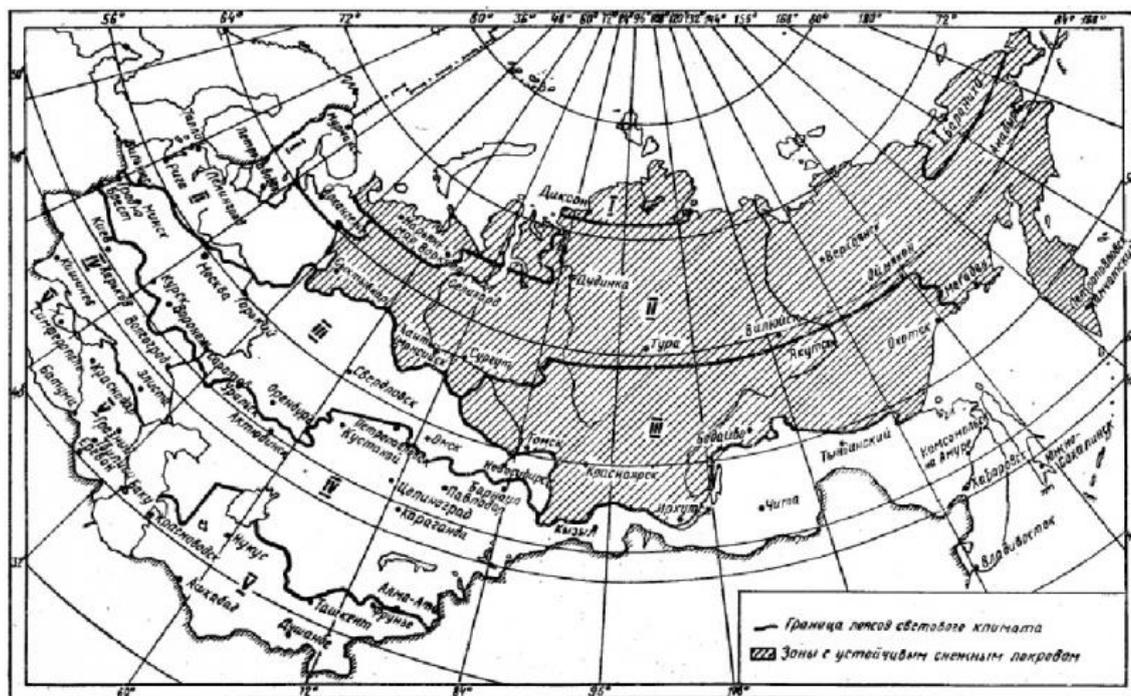


Рис. 1.2.8. Карта светоклиматического районирования

$I - m = 1,2$; $II - m = 1,1$; $III - m = 1,0$; $IV - m = 0,9$; $V - m = 0,8$

Районирование территории России и СНГ по ветровому режиму определяется согласно СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Расположение ветровых районов приведено на карте (рис. 1.2.9), которая используется при расчетах несущего остова здания от динамической нагрузки.

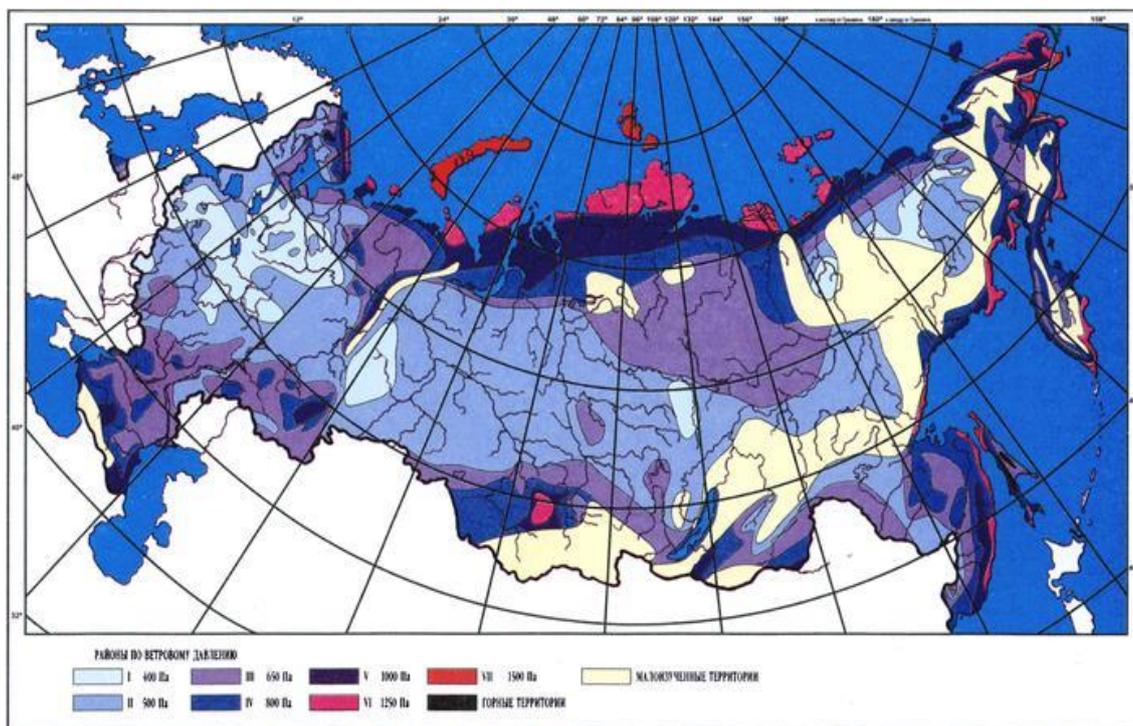


Рис. 1.2.9 Районирование территории Российской Федерации по давлению ветра

Приведенные выше рисунки районирования территории Земного шара, России и республик бывшего союза позволяют предварительно прогнозировать климатические и светоклиматические факторы внешней среды, характеризующие района строительства объекта, предназначаются учесть их на стадии проектирования при объемно-планировочных и архитектурно-конструктивных решениях зданий с обеспечением комфортной среды обитания человека в помещениях зданий и на территории городской застройки.

Архитектурно-строительная климатология предусматривает учет климата при решении архитектурно-строительных задач, составление климатических характеристик района строительства (строительно-климатического паспорта) с целью выявления благоприятных и неблагоприятных факторов для зданий и сооружений.

1.3 Строительно-климатическая паспортизация городов

Строительно-климатическая паспортизация городов может рассматриваться как более совершенный этап в методике учета климатических

факторов при проектировании жилища. Применение паспортов позволит более полно учитывать общеклиматические условия и давать оценку их изменений под влиянием местных условий.

С целью использования современных методов обработки и анализа климатических данных и унификации представления климатической информации для проектирования разработана методика строительно-климатической паспортизации городов.

В состав строительно-климатического паспорта города рекомендуется включать: инженерно-климатические расчеты, архитектурный анализ климата и микроклимата.

В целях компактного и удобного расположения материала климатический паспорт рекомендуется представлять в унифицированной форме (рис. 1.3.1). Пофакторные и комплексные климатические характеристики находят отражение во всех частях паспорта.

Инженерно-климатические расчеты (1-ая часть паспорта) включают данные по климатическому районированию; световому климату; режиму солнечной радиации в годовом, месячном и дневном цикле; температурному режиму в годовом, месячном и суточном цикле; абсолютному максимуму и минимуму температуры; амплитуде колебания температуры; температуре наиболее холодных суток и пятидневки; продолжительности отопительного периода; влажностному режиму в годовом, месячном и суточном цикле; направлению и скорости ветра; осадкам.

Строительный климатический Паспорт		Архитектурный анализ климата		Архитектурный анализ микроклимата
город _____		13	14	
1		15		
Инженерно-климатические расчеты				
2	3	Режим солнечной радиации		4
5	6	Температурный режим		
7	8	Ветровой режим		9
10	11	Влажностный режим		Осадки
				12

Рис. 1.3.1 Унифицированная форма строительно-климатического паспорта

Источниками климатической информации этой части паспорта являются действующие строительно-климатические нормативы, справочники по климату городов, специальная литература по климату городов, метеорологические данные сети Интернет и др.

Архитектурный анализ климата (2-ая часть) содержит характеристику погодных условий в годовом цикле и оценки круга горизонта по условиям инсоляции и ветрового режима с учетом ограничения ориентации зданий по сторонам света.

Архитектурный анализ климата предусматривает характеристику климатических условий, направленную на обоснование архитектурно-планировочных и санитарно-гигиенических требований к жилищу и прилегающей части застройки.

Архитектурный анализ микроклимата (3-я часть) содержит характеристики оценки микроклиматической изменчивости основных элементов климата под влиянием деятельного слоя городов с выявлением зоны комфорта отдельных климатических элементов и их комплексных сочетаний.

В графе 1 унифицированной формы паспорта «Общие данные – наименование города» следует записывать климатический подрайон, к которому относится данный город, определяемый согласно СП 131-13330 Строительная климатология или рис. 4 а.

В графе 2 следует записывать светоклиматический пояс, к которому относится данный город, определяемый согласно рис. 7, максимальное и среднее значение суммарной солнечной радиации на горизонтальную и вертикальную неблагоприятно ориентированную поверхность, определяемой согласно табл. 20 или СП 23-101-2004.

В графе 3 следует представить графики поступающего тепла от суммарной радиации (прямая и рассеянная) на горизонтальную поверхности при безоблачном небе в годовом, месячном (январь и июль) и дневном (январь и июль) цикле, на основе данных СП, СНиП, справочников по климату, метеорологических данных Интернета.

Результатом архитектурного анализа характеристик солнечной радиации является оценка круга горизонта по условиям теплового облучения с учетом нормируемого СП, СанПиН ограничения ориентации жилых помещений. С целью выявления степени благоприятности и неблагоприятности ориентации зданий по сторонам света в графу 4 вносится схема круга с разбивкой на сектора благоприятной, допустимой, неблагоприятной и недопустимой ориентации.

Расчетные данные температуры на зимний период: температура наиболее холодных суток и температура наиболее холодной пятидневки, продолжительность отопительного периода и средняя температура отопительного периода, среднемесячная температура воздуха за июль и максимальная суточная амплитуда колебания температуры воздуха за июль вносится в графу 5 унифицированной формы паспорта.

Температурный режим характеризуется данными годового, месячного и суточного хода температуры воздуха и в графической форме вносится в графу 6 унифицированной формы паспорта.

В графу 7 унифицированной формы паспорта вносятся данные максимальной и минимальной скорости ветра на январь и июль месяцы, а также процент штиля в течение года.

Ветровой режим определяет необходимость защиты от ветра помещений зданий с соответствующими планировочными приемами или, наоборот, аэрацию помещений с раскрытием пространств на ветер, предпочтительную планировку жилых квартир и домов, устройство входов, применение ветрозащитных или ветроулавливающих экранов и т.д.

Характеристика ветровых условий может быть проведена по фоновым показателям или по данным конкретного места. Для определения фоновых преобладающих показателей ветра составляется диаграмма роза ветров по скорости и повторяемости ветра на характерные январь и июль месяцы, и в графическом виде вносится в графу 8 унифицированной формы паспорта.

Архитектурный анализ ветрового режима проводится с учетом соответствующих критериев. Оценка ветровых условий конкретного города может быть представлена в виде круга горизонта в графе 9 с разделением круга на сектора благоприятной, неблагоприятной, допустимой и недопустимой ориентации зданий по сторонам света.

Увлажнение ограждающих конструкций приводит к ухудшению их теплозащитных качеств, созданию благоприятных условий для развития в них грибков, плесени и прочих биологических процессов, а также к снижению их долговечности.

Влажность воздуха вносит поправки в теплотехнические расчеты, когда рассчитываются показатели для утепления здания. В этой связи по карте зонирования России по влажности воздуха устанавливается соответствующая зона расположения города согласно рис. 6 и данные вносятся в графу 10 унифицированной формы паспорта.

Влажностный режим характеризуется данными годового, месячного и суточного хода относительной влажности воздуха и в графической форме вносится в графу 11 унифицированной формы паспорта.

В графу 12 паспорта следует внести шкалы осадков в виде дождя в годовом цикле.

В графу 13 паспорта следует внести годовую шкалу с выявлением периодов отопления и охлаждения, а также периода умеренного климата.

Комплексная оценка сторон горизонта по факторам режима солнечной радиации и ветровому режиму представляет заключительный этап архитектурного анализа климата. В графу 14 паспорта вносится изображение круга, на котором с учетом данных графы 4 и 9 следует наносить основные стороны горизонта по количеству солнечного тепла, инсоляции и по характеристикам ветра, с построением схемы круга с разбивкой на сектора благоприятной, допустимой, неблагоприятной, недопустимой ориентации с выявлением оптимального сектора ориентации.

Под архитектурным анализом микроклимата (графа 15) следует понимать проводимую в целях архитектурного проектирования, оценку микроклиматической изменчивости основных элементов климата (режимов солнечной радиации, температуры воздуха, ветра и влажности воздуха) под влиянием городского ландшафта и деятельной поверхности города. В графе архитектурный анализ микроклимата устанавливаются зоны комфорта факторов микроклимата помещений проектируемого здания или сооружения в зависимости от их функционального назначения.

1.4 Влияние климата на объемно-планировочные и конструктивные решения зданий

Природно-климатические условия оказывают существенное влияние на архитектуру жилых зданий, на их пространственную и функциональную организацию, на выбор строительных материалов и конструкций и др.

Температурно-влажностный режим учитывают при проектировании жилых зданий, защищая их от резких сезонных и суточных перепадов температуры наружного воздуха, от переохлаждения в северных и перегрева в южных районах. В приморских районах жилые здания оберегают от влажного

воздуха и в континентальных районах от сухого воздуха. Основным средством для формирования комфортного температурно-влажностного режима являются форма и структура ограждающих конструкций жилища, (материал и толщина наружной стены здания) и проветривание жилых помещений, а также сама форма здания — компактность его плана, ширина корпуса, периметр наружных стен и т. д.

Материал, конструкция и толщина ограждающей стены имеют большое значение в условиях холодного климата. Проветривание наиболее важно для условий жаркого влажного климата. В односемейных домах эффективны угловое, сквозное и вертикальное проветривание.

При разработке генпланов городов и жилых поселков важен учет ветрового режима. Ветер со скоростью 5 м/с и более неблагоприятно воздействует на человека. Жилую застройку защищают от действия неблагоприятных ветров, одновременно устраивая аэрацию, т. е. организованный и управляемый естественный воздухообмен на застроенной территории и естественное проветривание жилых помещений.

Средствами обеспечения аэрации являются ориентация жилых зданий по отношению к господствующим ветрам в данной местности, форма и структура его ограждающей стены - распределение и размеры проемов на наружной стене.

Для создания необходимого человеку санитарно-гигиенического комфорта жилые помещения инсолируют. Инсоляция — облучение жилых помещений и придомовых территорий прямым солнечным светом; характеризуется продолжительностью и измеряется в часах. Для северных районов инсоляция жилых помещений должна быть обеспечена в течение 2,5 часов, для средней полосы - 2 часов, для южных районов — 1,5 часов. В условиях реконструкции инсоляция может быть уменьшена на 0,5 часа.

Учет инсоляции проводят при проектировании жилых помещений и размещении дома на участке. Для обеспечения нормальных санитарно-гигиенических условий в 2-3-комнатных домах должно инсолироваться не

менее одной жилой комнаты, в 4-х и более комнатных домах — не менее двух жилых помещений.

Средствами обеспечения инсоляции служат ориентация жилых зданий и их форма — конфигурация планов, разрывы между зданиями и их высота.

Ориентация жилого помещения считается благоприятной, если она обеспечивает его инсоляцию. Благоприятную ориентацию для жилых помещений обеспечивают южная и восточная стороны горизонта (от 40 до 200°), а также северо-западная (от 290 до 320°). Соответственно неблагоприятную ориентацию дают север (320-40°) для всех климатических районов из-за отсутствия инсоляции и юго-запад (200-290°) для южных районов из-за перегрева. Устраняют перегрев с помощью солнцезащиты: на южном фасаде наиболее эффективна горизонтальная, на восточном и западном — вертикальная.

Различают широтную, меридиональную и диагональную виды ориентации жилых зданий. При широтной ориентации жилые здания располагают вдоль широты и его помещения обращены на юг и север, при меридиональной ориентации жилое здание ориентируют вдоль меридиана, а его помещения на восток и запад, а в случае диагональной — по направлениям ЮЗ - СВ и ЮВ - СЗ. В районах с холодным и умеренным климатом жилые здания ориентируют меридионально и диагонально в любом направлении, в районах с теплым и жарким климатом — широтно и диагонально по направлению ЮВ - СЗ.

Естественная освещенность жилых помещений создает необходимый санитарно-гигиенический комфорт проживания и зависит от уровня наружной освещенности (яркости небосвода); количества отраженного света; величины световых проемов; глубины комнат. Средствами обеспечения требуемой естественной освещенности являются форма и размер проемов, ориентация жилого дома. Регулируют уровень естественной освещенности, составляя планы жилых помещений дома и разрабатывая его фасады.

1.5. Гигиенические требования параметрам климата

Микроклимат помещения формируется в результате внутренних и внешних воздействий.

Показателями, характеризующими микроклимат в помещениях гражданских и промышленных зданий, являются: температура воздуха; температура поверхностей; относительная влажность воздуха; скорость движения воздуха (подвижность воздуха); интенсивность теплового облучения.

Температура воздуха - наиболее важный показатель комфортности, один из ведущих факторов, определяющих микроклиматические условия внутренней среды.

Влажность воздуха - содержание в нём водяного пара. Влажность воздуха в большой степени зависит от температуры. Относительная влажность - отношение абсолютной влажности к максимальной, выраженное в процентах.

Определяющим фактором формирования внутренней микроклиматической среды является взаимосвязь между климатическими факторами внутренней и внешней среды, в которой роль теплозащитной оболочки здания является значительной.

Движение воздуха создаётся конвекционными потоками в результате неравномерного нагревания воздушных масс от источников тепловыделений и людей. Подвижность воздуха - фактор микроклимата, который может приводить и к позитивным и к негативным эффектам.

В зависимости от реакции физиологических функций организма человека санитарно-гигиеническими исследованиями установлены следующие требования к показателям микроклимата (табл. 1.5.1).

Таблица 1.5.1

Гигиенические требования параметров микроклимата жилых помещений в
различных климатических районах

Параметры	Сезон	Климатические районы			
		I	II	III	IV
Температура воздуха, °С	Зима	21-22	18-20	18-19	17-19
	Лето	23-24	23-24	25-26	25-26
Влажность воздуха, %	Зима	30-45	30-45	35-50	35-50
	Лето	35-50	35-50	30-60	30-60
Подвижность воздуха, м/с	Зима	0,08-0,1	0,08-0,1	0,08-0,1	0,08-0,1
	Лето	0,08-0,1	0,08-0,1	0,1-0,15	0,1-0,15
Температура внутренних поверхностей ограждающих конструкций, °С	Зима	21	18	18	18
	Лето	26	26-27	28	28

Широкое внедрение в строительную практику ограждающих конструкций из легкого бетона, тонкостенных облегченных и легких конструкций с недостаточно эффективной теплоизоляцией, а также увеличение площади остекления привело к необходимости увеличения топливно-энергетических затрат на поддержание в помещениях таких зданий необходимого по гигиеническим требованиям теплового микроклимата. В связи с этим основной энергетической задачей в области строительства является проектирование и возведение зданий и сооружений с улучшенными теплозащитными характеристиками и модернизация существующего фонда зданий с целью уменьшения в них теплопотерь.

Раздел 2. Строительная теплотехника

Лекция 2. Теплопередача через ограждающие конструкции

В соответствии с теплотехническими требованиями ограждающие конструкции зданий должны обладать следующими свойствами:

не допускать потерь тепла в холодное время года и перегрева помещений летом в условиях теплого и жаркого климата;

температура внутренней поверхности ограждения не должна опускаться ниже определенного уровня, чтобы исключить конденсацию пара на ней и одностороннее охлаждение тела человека от излучения тепла на эту поверхность;

обладать достаточным сопротивлением воздухо- и паропрооницанию, влияющими на теплозащитные качества и долговечность зданий.

Передача тепла через ограждающие конструкции современных зданий рассматривается в двух аспектах:

Передача тепла при установившемся потоке тепла (стационарная теплопередача), т.е. теплотехнический расчет ограждающих конструкций выполняется на зимний холодный экстремальный период. Сопротивление теплопередаче должно быть высоким, с тем чтобы в холодный период года обеспечивать допустимые температурные условия на поверхности конструкции, обращенной в помещение;

Передача тепла при неустановившемся потоке тепла (нестационарная теплопередача), т.е. теплотехнический расчет ограждающих конструкций выполняется на летний перегревный период, расчет ограждающих конструкций на теплоустойчивость. Теплоустойчивость конструкций оценивается их способностью сохранять постоянство температуры в помещениях при периодических колебаниях температуры в помещениях при периодических колебаниях температуры воздушной среды.

Теплотехнические требования. Одна из главных функций здания - сохранение тепла, что особенно важно в неблагоприятном климате. Поэтому конструкция наружных ограждающих поверхностей носит принципиальный

характер. Необходимым является безусловное выполнение требований СП 50.13330-2012 Тепловая защита зданий, которые содержат высокие требования к тепловой защите.

Общепризнанная концепция теплосбережения состоит из трех основных положений.

Первое: Сведение к минимуму потерь тепла через ограждающую конструкцию. Этот фактор определяется величиной «приведенное сопротивление теплопередаче». В настоящее время используется, как правило, «поэлементное нормирование», т.е. для каждого элемента наружных ограждающих конструкций нормами задается минимально допустимое значение: для стен, окон, крыш и перекрытий над подвалами. Величины сопротивления теплопередаче для разных регионов различны.

Второе: Наружная оболочка дома должна быть плотной (с ограниченной воздухопроницаемостью) во избежание затрат тепла на обогрев инфильтрующегося воздуха. В этом случае, главным образом нормируется максимально допустимая воздухопроницаемость оконных и балконных дверных блоков.

Третье: Отсутствие (сведение к минимуму) мостиков холода, обусловленных материалами и конструкциями стен (теплопроводные включения). Во-первых, через мостики холода происходит большая утечка тепловой энергии. Во-вторых, в местах мостиков холода со стороны помещений может выпадать конденсат, и при его систематическом наличии в этих местах появится грибок.

Физическая модель теплозащиты здания включает представления о процессах передачи тепла через границу или пространственную оболочку здания, отделяющую проектируемую внутреннюю среду от наружной среды, определяемой климатическими характеристиками места строительства.

2.1 Теплопередача через ограждающие конструкции в установившемся потоке тепла

Теплопроводность ограждающей конструкции – свойство материала конструкции переносить теплоту под действием разности (градиента) температур на ее внутренних и внешних поверхностях.

Совокупность мгновенных значений температуры во всех точках тела называется температурным полем. Температура в общем случае - функция координат и времени τ , т.е. $t=f(x;y;z;\tau)$.

Если температура меняется во времени, то поле неустановившееся (нестационарное), если не меняется - установившееся (стационарное).

Фурье, изучая теплопроводность в твердых телах, установил, что количество теплоты, прошедшее через изотермическую поверхность, пропорционально градиенту температур, площади и времени

$$Q = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right) F \tau$$

для плотности теплового потока

$$q = \frac{Q}{F \tau} = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)$$

Знак “-“ показывает, что вектор градиента температур и теплового потока направлены навстречу друг другу. Плотность теплового потока измеряется в Вт/м², в технической системе в ккал/(м²ч), в реальных условиях приборами тепломерами.

Теплопередача ограждающих конструкций – перенос теплоты через ограждающую конструкцию от взаимодействующей с ней среды с более высокой температурой к среде с другой стороны конструкции с более низкой температурой (рис. 2.1.1).

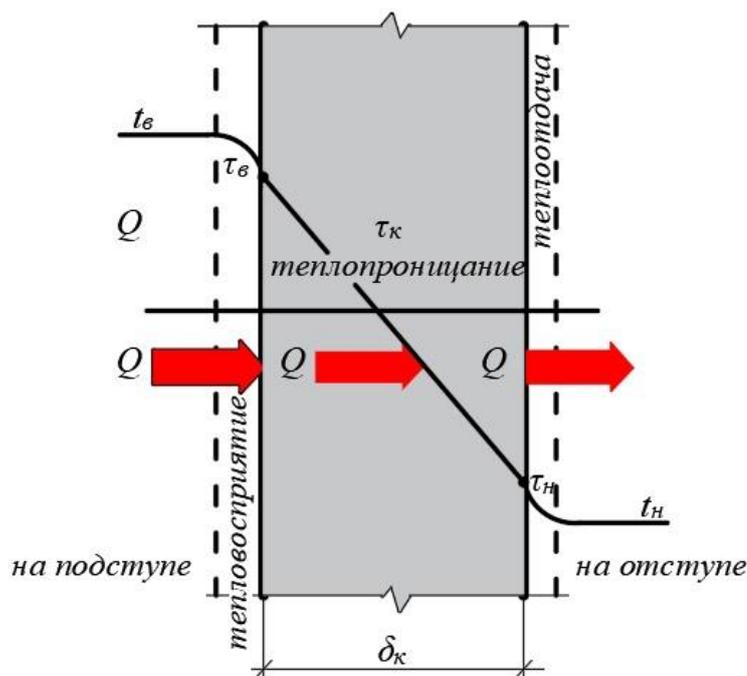


Рис. 2.1.1. Процесс передачи тепла через ограждающие конструкции

Ограждающая часть здания конструируется однородной, если выполнена из одного материала и слоистой, если выполнена из нескольких материалов.

Количество тепла, проходящее через конструкцию, может быть определено на основании закона Фурье:

$$Q = (\tau_{\text{в}} - \tau_{\text{н}}) \frac{\lambda}{\delta} Fz$$

где $\tau_{\text{в}}$ и $\tau_{\text{н}}$ – температура внутренней и наружной поверхности ограждения, °С; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м°С); δ – толщина ограждения, м; F – площадь ограждения, м²; z – время передачи тепла, час.

Если толщину ограждения, площадь, время теплопередачи и разность температур принять равными единице, то $\lambda = Q$. Таким образом, коэффициент теплопроводности λ – это количество тепла, которое проходит в единицу времени 1ч через единицу поверхности 1 м² однородного ограждения толщиной 1 м при разности температур на его поверхностях в 1°С.

Коэффициент теплопроводности – одна из основных характеристик строительных материалов. Значение коэффициента теплопроводности

принимается согласно таблицы СП 50.13330 Тепловая защита зданий в зависимости от вида и плотности строительных материалов и изделий.

Коэффициент теплопроводности материалов следует принимать с учетом влажностного режима помещений и условий эксплуатации ограждающих конструкций А или Б согласно таблиц расчетные теплотехнические показатели строительных материалов и изделий СП 50.13330.

Вода обладает высоким коэффициентом теплопроводности $\lambda=0,5$ Вт/(м°С), поэтому увлажнение материалов и тем более образование в них льда ($\lambda=2$ Вт/(м°С) увеличивает теплопроводность.

Основная задача теплофизического расчета ограждающих конструкций – придание им необходимых теплозащитных качеств, показателем которых является термическое сопротивление R .

Термическое сопротивление однородного слоя:

$$R = \frac{\delta}{\lambda} [^{\circ}\text{C} \times \text{м}^2/\text{Вт}]$$

При проходе теплового потока через ограждение падение температуры происходит не только в материале, но и у поверхностей ограждения. При этом общий температурный перепад $t_{\text{в}} - t_{\text{н}}$ складывается из трех частных перепадов:

$t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}}$ – у внутренней поверхности ограждения;

$\tau_{\text{в}} - \tau_{\text{н}}$ – в толще ограждения;

$\tau_{\text{н}} - t_{\text{н}}$ – у наружной поверхности ограждения.

Такое падение температуры свидетельствует о наличии дополнительных термических сопротивлений переходу тепла от внутреннего воздуха к внутренней поверхности ограждения, и от наружной поверхности ограждения к наружному воздуху. Это сопротивление теплоотдаче обозначают $R_{\text{в}}$ и $R_{\text{н}}$, м²°С/Вт (рис. 2.1.2).

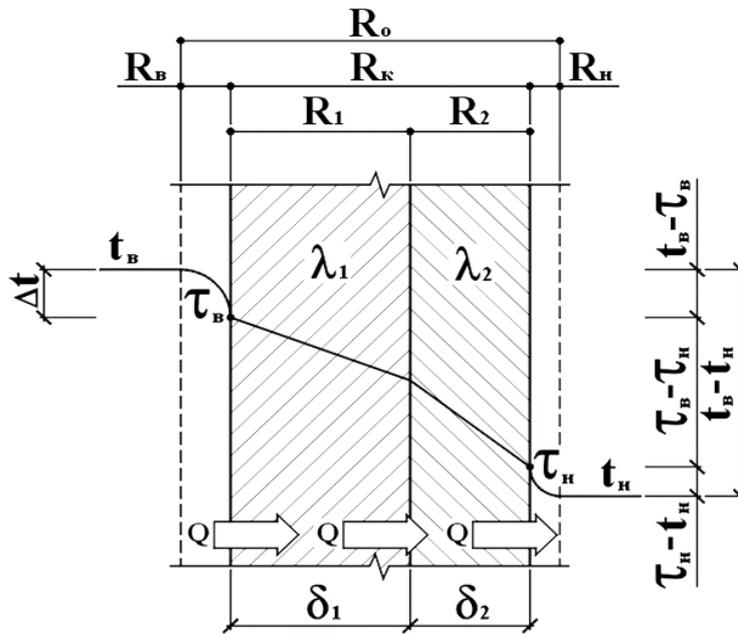


Рис.2.1.2 Теплопередача при установившемся режиме

В расчетах чаще используют обратные величины:

α_B – коэффициент тепловосприятости, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot ^\circ\text{C}$, принимается согласно СП50.13330.

α_H – коэффициент теплоотдачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot ^\circ\text{C}$, принимается согласно СП50.13330.

$$R_B = \frac{1}{\alpha_B}; \quad R_H = \frac{1}{\alpha_H}$$

Общее сопротивление теплопередаче однослойной ограждающей конструкции:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + R_K + \frac{1}{\alpha_H}$$

где R_K – термическое сопротивление, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Термическое сопротивление ограждающих конструкций с последовательно расположенными однородными слоями следует определять, как сумму термических сопротивлений отдельных слоев

$$R_K = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Общее сопротивление теплопередаче многослойной ограждающей конструкции

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}$$

δ -толщина слоя, м

λ – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/м °С, принимаемый согласно СП50.13330.

При наличии в ограждающих конструкциях замкнутых воздушных прослоек рекомендуется руководствоваться следующими положениями: - размер прослойки по высоте не должен превышать высоту этажа и быть не более 6 м; размер толщины не менее 60 мм и не более 100 мм; воздушную прослойку необходимо располагать ближе к холодной стороне ограждения. Установлено, что с увеличением толщины воздушной прослойки термическое сопротивление возрастает незначительно, поэтому целесообразно делать несколько узких, чем одну широкую. При использовании замкнутых воздушных прослоек следует предохранять их от проникновения наружного воздуха, так как в противном случае эффективность их использования снижается в 5-10 раз из-за понижения температуры в прослойке до температуры, близкой к температуре наружного воздуха.

Теплообмен через ограждения, не соприкасающиеся непосредственно с наружным воздухом, (например, чердачные перекрытия, перекрытия над холодными подвалами), отличается от условий теплообмена с наружным воздухом, поэтому в данной формуле введен поправочный безразмерный коэффициент n , зависящий от положения наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху (принимается по табл. СП50.13330-2012).

Новые подходы по оценке теплозащитных качеств наружных ограждений способствовали разработке и внедрению новых для России СП50.13330-2012 «Тепловая защита зданий» и стран СНГ Межгосударственных норм МСН 2.04-02-2003 «Тепловая защита зданий», направленных на комплексное энергосбережение и четко устанавливающих понятие двух уровней

теплозащиты, отражающих системный подход к нормированию потребности здания в первичной энергии:

- *первый* – по санитарно-гигиеническим условиям, т.е. минимально допустимый по санитарно-гигиеническим нормам;

- *второй* – по условиям энергосбережения, т.е. экономически обоснованный, в соответствии с которым нормируется значение конечной потребности тепловой энергии за отопительный период.

Для проектирования ограждающих конструкций СП50.13330-2012 устанавливает минимальное или требуемое сопротивление теплопередаче R_o^{TP} . Формула для определения требуемого сопротивления принимает вид:

$$R_o^{TP} = \frac{(t_B - t_H)n}{\Delta t^H \alpha_B}$$

где $\Delta t^H = t_B - t_H$ значение нормируемого температурного перепада (табл. 14), n – коэффициент уменьшения расчетной разности температур для поверхностей, выходящих в неотапливаемое помещение.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции R_o должно быть больше или равно величине, при которой ограждение будет удовлетворять теплотехническим требованиям, называемой требуемым сопротивлением теплопередаче R_o^{TP} .

Требуемые значения R_o^{TP} определяются исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий по выше приведенной формуле и условий энергосбережения по табл. 16.

Приведенное сопротивление теплопередаче $R_o, m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ограждающих конструкций, а также окон и фонарей (с вертикальным остеклением или с углом наклона более 45°) следует принимать в соответствии с заданием на проектирование, но не менее требуемых значений, $R_o^{TP}, m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, определяемых исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий и условий энергосбережения, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$

$$R_o > R_o^{TP}$$

Санитарно-гигиенический показатель теплозащиты зданий регламентирует расчетный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и внутренней поверхностью ограждения, а также ограничение температуры и конденсации влаги на внутренней поверхности ограждающей конструкции.

Действующими нормативными документами в области теплозащиты зданий и проектирования наружных ограждений СП 50.13330 установлены следующие показатели тепловой защиты здания для холодного периода года:

а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания;

б) санитарно-гигиенический, включающий температурный перепад между температурами внутреннего воздуха и на поверхности ограждающих конструкций и температуру на внутренней поверхности выше температуры точки росы (ограничение температуры и конденсации влаги на внутренней поверхности ограждающей конструкции);

в) удельный расход тепловой энергии на отопление здания, позволяющий варьировать величинами теплозащитных свойств различных видов ограждающих конструкций зданий с учетом объемно-планировочных решений здания и выбора систем поддержания микроклимата для достижения нормируемого значения этого показателя.

Требования тепловой защиты здания можно считать выполненными, если в жилых и общественных зданиях будут соблюдены требования показателей "а" и "б" либо "б" и "в", а в зданиях производственного назначения – требования показателей "а" и "б".

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции с учетом базового значения требуемого сопротивления теплопередаче $R_o^{\text{норм}}$, (м²·°С)/Вт, следует определять по формуле:

$$R_o^{\text{норм}} = R_o^{\text{тп}} m_p$$

где R_0^{TP} - базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $m \cdot ^\circ C / Wt$, следует принимать в зависимости от градусо-суток отопительного периода, (ГСОП), $^\circ C \cdot \text{сут}/\text{год}$, региона строительства; m_p - коэффициент, учитывающий особенности региона строительства. Значения коэффициента при этом должны быть не менее: 0,63 - для стен, 0,95 - для светопрозрачных конструкций, 0,8 - для остальных ограждающих конструкций.

Для определения R_0^{TP} из условий энергосбережения величина ГСОП (градусо-сутки отопительного периода), определяется по формуле:

$$\text{ГСОП} = (t_B - t_{\text{от.пер.}}) z_{\text{от.пер.}}$$

где t_B - расчетная температура воздуха в помещении зданий, $^\circ C$, принимаемая для расчета ограждающих конструкций группы зданий по табл. 2-5 и по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по ГОСТ 30494.

$t_{\text{от.пер}}$ - средняя температура отопительного периода, $^\circ C$; $z_{\text{от.пер}}$ - продолжительность, сут, периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной $8^\circ C$ по СП131.13330, определяется в зависимости от района строительства.

При переносе теплоты ограждения от взаимодействующей с ней среды с более высокой температурой к среде с другой стороны конструкции с более низкой температурой происходит процесс, связанный с послойным перепадом температуры, т.е. распределением температуры в толще конструкции.

Температура на слоях ограждения определяется:

а) аналитическим методом расчета по формуле:

б) графическим методом определения распределения температуры по толще ограждения.

При переносе теплоты ограждения от взаимодействующей с ней среды с более высокой температурой к среде с другой стороны конструкции с более низкой температурой происходит процесс, связанный с послойным перепадом температуры, т.е. распределением температуры в толще конструкции.

$$\tau_x = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_0} R_B$$

Температура на слоях ограждения определяется:

а) аналитическим методом расчета по формуле:

$$\tau_n = t_B - \frac{t_B - t_n}{R_0} (R_B + R_K)$$

б) графическим методом определения распределения температуры по толще ограждения.

Свойство ограждения сохранять или медленно изменять распределение температуры внутри конструкции называется тепловой инерцией.

Тепловую инерцию D ограждающей конструкции следует определять, как

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 + \dots + R_n S_n,$$

где R_1, R_2, \dots, R_n — термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$; S_1, S_2, \dots, S_n — расчетные коэффициенты теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, принимаемые по таблице расчетные теплотехнические показатели строительных материалов и изделия СП 50.13330.

Чем больше инерция, тем труднее изменить первоначальное состояние ограждения. Например, кирпичные массивные стены долго сохраняют свою «летнюю» температуру и не чувствительны к резким и кратковременным перепадам температур наружного воздуха в осенний и зимний периоды.

При проектировании ограждающих конструкций приходится вводить в конструкцию включения, например, железобетонные или металлические колонны фахверковых стен; железобетонные или металлические колонны, заглубленные в кирпичные стены и т.п. Железобетон и металл имеют большую теплопроводность, чем кирпич, и в местах их расположения в ограждении создаются условия для интенсивного прохода холода в *теплопроводных включениях*, образования «мостика холода» или образования конденсата.

В настоящее время, наряду с аналитическим методом расчета, практикуется расчетная программа LIT THERMO ENGINEER для выполнения

теплотехнических расчетов ограждающих конструкций при проектировании зданий и сооружений согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», СП131.13330.2020 «Строительная климатология, СП23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий», ГОСТ Р 56734-2015 «Здания и сооружения. Расчет показателя теплозащиты ограждающих конструкций с отражательной теплоизоляцией».

2.2. Теплопередача через ограждающие конструкции в неустановившемся потоке тепла

В летний период года возможны большие колебания температуры наружного воздуха в течение суток. Поэтому тепловое состояние помещений периодически изменяется. Это изменение особенно остро ощущается во второй половине дня (даже в районах с умеренным климатом), поскольку в результате интенсивного воздействия солнечной радиации на стены и покрытия и прохождения солнечных излучений через окна и фонари воздух в помещении перегревается.

Температура наружного воздуха в холодный период года колеблется. В районах с неустойчивой зимой она может значительно изменяться в течение нескольких суток.

Наружные стены с тепловой инерцией менее 4 и в районах со среднемесячной температурой июля 21°C и выше в летний период года подвергаются не только колебаниям температуры наружного воздуха в течение суток, но и активно нагреваются солнечными лучами в дневное время. Поэтому требуется расчет теплоустойчивости ограждающих конструкций согласно требованиям СП 50.13330 Тепловая защита зданий.

Теплоустойчивость ограждающих конструкций - способность ограждающих конструкций сохранять в допустимых пределах постоянство температуры на их внутренней поверхности при периодических колебаниях температуры наружного воздуха, граничащего с конструкцией, и при изменениях проходящего через конструкции теплового потока,

формирующегося за счет условий инсоляции ограждений и температурных колебаний воздуха внешней среды, т.е. $t_n, l, Q \neq const$.

При проектировании ограждающих конструкций с учетом их теплоустойчивости в районах со среднемесячной температурой около 21°C и выше следует руководствоваться следующими положениями:

– теплоустойчивость конструкции зависит от порядка расположения слоев материалов;

– величина затухания амплитуды колебания температуры наружного воздуха в многослойной конструкции увеличивается, если более теплоустойчивый материал расположен изнутри;

– наличие в конструкции воздушной прослойки увеличивает теплоустойчивость конструкции. В замкнутой воздушной прослойке целесообразно устраивать теплоизоляцию с отражающей поверхностью. Конструктивный слой, отделяющий вентилируемую наружным воздухом воздушную прослойку ограждения от наружной среды, должен иметь возможно минимальную толщину.

Теплоустойчивость ограждающей конструкции здания должна соответствовать требованиям СП 50.13330. Для этого определяют нормируемую амплитуду колебаний температуры внутренней ограждающей конструкции

$$A_{ТВ}^{ТР} = 2,5 - 0,1(t_n - 21)$$

где t_n - среднемесячная температура наружного воздуха за июль, °С, принимаемая согласно СП 131.13330 Строительная климатология в зависимости от района строительства.

Амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждения определяется по формуле:

$$A_{ТВ} = \frac{A_{t_n}^{расч}}{\nu}$$

где $A_{тн}^{расч}$ – расчетная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха, °С, ν – величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха с учетом солнечной радиации

$$A_{тн}^{расч} = 0,5A_{тн} + \frac{\rho(I_{макс} - I_{ср})}{\alpha_{н}}$$

где $A_{тн}$ – максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле, °С (СП 131-3330); ρ – коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции; $I_{макс}$ и $I_{ср}$ – максимальное и среднее суточное значение суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной), Вт/м², падающей на вертикальные поверхности западной ориентации (при расчете стен) и на горизонтальные поверхности (для покрытий); $\alpha_{н}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения по летним условиям, Вт/(м²°С):

$$\alpha_{н} = 1,16(5 + \sqrt{\nu})$$

где ν – минимальная из средних скоростей ветра за июль, повторяемость более 16%, принимается не менее 1м/с согласно СНиП 2.01.01.82, СП 131.13330:

$$\nu = 0,9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{(S_1 + \alpha_{в})(S_2 + Y_1) \dots (S_n + Y_{n-1})(\alpha_{н} + Y_n)}{(S_1 + Y_1) \dots (S_n + Y_n)\alpha_n}$$

где $e = 2,718$ – основание натурального логарифма; D – тепловая инерция ограждения; $S_1 \dots S_n$ – расчетные коэффициенты теплоусвоения материала слоев ограждения (СП 50.13330); $Y_1 \dots Y_n$ – коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности отдельных слоев ограждения, Вт/(м²°С).

Согласно СП 50.13330 тепловую инерцию D ограждающих конструкций следует принимать, как сумму значений тепловой инерции D_i всех слоев многослойной конструкции:

$$D = \sum_{i=1}^{i=n} R_i S_i$$

где S_i - расчетный коэффициент теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции, Вт/(м² · °С);

R_i - термическое сопротивление отдельного i - го слоя ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$.

Величина тепловой инерции D положена в основу классификации ограждающих конструкций по показателю тепловой массивности: особо легкие ограждения ($D < 1,5$); легкие ограждения ($1,5 < D < 4,0$); ограждения средней массивности ($4,0 < D < 7,0$); массивные ограждения ($D > 7$).

При тепловой инерции $D > 1$ значение Y принимается равным S по таблице расчетные теплотехнические показатели строительных материалов и изделий СП50.13330. При $D < 1$ расчет Y производится по формуле

$$Y_1 = \frac{R_1 S_1^2 + \alpha_B}{1 + R_1 \alpha_B}; Y_i = \frac{R_i S_i^2 + Y_{i-1}}{1 + R_i Y_{i-1}}$$

Согласно требованиям СП 50-133330 "Тепловая защита зданий" при условии

$$A_{\text{ТВ}}^{\text{ТР}} > A_{\text{ТВ}}$$

ограждающая конструкция считается теплоустойчивой.

В районах со среднемесячной температурой июля 21 °С и выше для окон и фонарей зданий жилых, больничных учреждений (больниц, клиник, стационаров и госпиталей), диспансеров, амбулаторно-поликлинических учреждений, родильных домов, домов ребенка, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских садов, яслей, яслей-садов (комбинатов) и детских домов, а также производственных зданий, в которых должны соблюдаться оптимальные нормы температуры и относительной влажности воздуха в рабочей зоне или по условиям технологии должны поддерживаться постоянными температура или температура и относительная влажность воздуха, следует предусматривать солнцезащитные устройства.

2.3 Влажностное состояние ограждающих конструкций зданий

Наиболее существенное влияние на теплозащитные характеристики ограждающих конструкций оказывает влажность. Теплофизические качества и долговечность ограждающих конструкций взаимосвязаны с их

температурно-влажностным режимом эксплуатации и влажностью используемых материалов. Влага, проникающая из окружающей среды или технологическая влага, резко ухудшает условия теплообмена между внутренней и внешней средой через ограждающие конструкции. Процессы совместного тепло- и влагообмена, включая фазовые превращения влаги, приводят к резкому увеличению теплопотерь, снижению прочности и преждевременному разрушению теплоизоляционного и конструктивных слоев ограждающих конструкций.

Увлажнение ограждающих конструкций приводит к ухудшению теплозащитных качеств, созданию благоприятных условий для развития в них грибков, плесени и прочих биологических процессов, а также к снижению их долговечности.

При обследовании влажностного состояния ограждающих конструкций следует установить причины их увлажнения. В общем случае можно отметить следующие причины:

1. Строительная влага, которая вносится в конструкцию при ее производстве и возведении.

2. Грунтовая влага, которая может проникнуть в ограждение из грунта вследствие капиллярного всасывания. В стенах здания эта влага может подниматься до высоты 2-2,5 м от уровня земли. Для предохранения ограждения от увлажнения в нем устраиваются гидроизоляционные слои, препятствующие доступу влаги из грунта в ограждения.

3. Метеорологическая влага, которая может проникнуть в конструкцию в связи с выпадением атмосферных осадков.

4. Эксплуатационная влага, выделение которой связано с технологическим процессом в производственных зданиях.

5. Гигроскопическая влага, накапливаемая в конструкции вследствие свойства гигроскопичности материала.

6. Конденсация влаги из воздуха, что тесно связано с теплотехническим качеством и тепловым режимом ограждающей конструкции. Конденсация влаги может происходить как на поверхности ограждения, так и в его толще.

Степень насыщения воздуха водяным паром определяет относительная влажность (табл. 2.3.1).

Точка росы - это температурный порог, при котором содержащаяся в воздухе влага конденсируется и превращается в капли воды.

Таблица 2.3.1

Градации влажностного режима воздуха помещений в холодный период года

Наименование влажностного режима	Относительная влажность воздуха, %	Абсолютная влажность воздуха в мм.рт.ст.
Сухой	Менее 50	Менее 8
Нормальный	50...60	8...9,9
Влажный	61...75	10...12,5
Мокрый	Более 75	Более 12.5

Роль слоя теплоизоляции в повышении энергоэффективности значительна. При этом расположение слоя утеплителя в слоях ограждения играет существенную роль в увлажнении ограждающих конструкций. В зависимости от того, насколько удалена в стене точка росы от внутренней поверхности помещения, меняется состояние поверхности - она может быть мокрой или абсолютно сухой. Это связано с конденсацией влаги, возникающей при контакте холодной поверхности с теплым воздухом. Указанному параметру следует придавать большое значение, так как он неразрывно связан с вопросами теплоизоляции зданий и созданием комфортного микроклимата.

При неправильном выполнении тепловых расчетов и нарушении требований по выбору теплоизоляционных материалов возможно увлажнение ограждающей конструкции. При этом происходит концентрация влаги и

возникает ряд серьезных проблем: увлажнение поверхности стен; разрушение теплоизоляционного материала влагой; появление неприятных запахов; присутствие постоянной сырости; развитие грибковых образований; обильное образование плесени; отклеивание облицовочных материалов; гниение древесины; развитие микроорганизмов; повышение уровня заболеваемости.

Отмечается, что отсутствие конденсации влаги на поверхности ограждения не гарантирует ограждение от увлажнения, так как оно может происходить вследствие конденсации водяных паров в толще самого ограждения.

Для обеспечения предусмотренных нормами теплозащитных и санитарно-гигиенических параметров ограждений, а также их долговечности при проектировании необходимо установить путем расчета возможные изменения их влажностного состояния при эксплуатации здания и предусмотреть, какими мерами конструктивного характера можно предупредить возможность увлажнения ограждений выше допустимого предела. Из-за повышенной влажности материала ограждения, если она не предусмотрена теплотехническим расчетом, ограждения получаются неудовлетворительными в теплотехническом отношении.

Повышенная влажность ограждений также крайне неблагоприятно отражается на санитарно-гигиеническом состоянии помещений. Сырость в жилых зданиях часто приводит к заболеваниям проживающих в них людей.

Кроме того, общеизвестно, чем выше влажность материала ограждения, тем меньше его морозо-, влаго- и биостойкость. Стойкость против коррозии также связана с влажностным состоянием ограждения.

Парциальное давление – количество водяных паров, находящееся в воздухе, определяется уравнением Менделеева-Клайперона. Также оно называется упругостью водяного пара.

Парциальное давление, насыщенное водяным паром называется максимальной упругостью водяных паров и обозначается буквой E .

При постоянной температуре воздуха t и постоянном барометрическом давлении давление водяного пара e может расти до определенного предела E . Чем больше t , тем больше E . Степень насыщения воздуха влагой определяется его относительной влажностью.

Отношение действительной упругости водяного пара к максимальной упругости водяного пара называется относительной влажностью:

$$\varphi = \frac{e}{E}, \%$$

Обеспечение нормального влажностного состояния ограждающих конструкций достигается путем устройства слоя пароизоляции. Требуемое сопротивление паропрооницанию ограждающих конструкций определяется расчетом по методике, изложенной в нормах (СП 50.13330).

2.4. Воздухопроницаемость ограждающих конструкций зданий

Свойство ограждения зданий или материала пропускать воздух называется *воздухопроницаемостью*. При разности давлений воздуха с одной и с другой стороны ограждения через ограждение может проникать воздух в направлении от большего давления к меньшему.

Воздухопроницаемость характеризует качество «оболочки» любого здания или сооружения.

Оценка воздухопроницаемости поможет решить следующие проблемы:

- высокие затраты на отопление и вентиляцию;
- сильно влажный или сухой воздух в помещении;
- грибки и плесень;
- сквозняки;
- в помещение легко проникают внешние запахи и звуки;
- в помещении появляются изморози;
- нарушена работа системы принудительной вентиляции; вентиляция и кондиционирование не работают должным образом или работают с перебоями.

Проблемы с воздухопроницаемостью возникают в случае нарушения технологии монтажа и дефектов дверей, окон, перекрытий и стен. Например:

- наличие щелей и неплотностей конструкций;
- некачественная кирпичная кладка;
- разрывы пароизоляции;
- дефекты монтажных швов и герметиков окон и дверей.

Воздухопроницаемость (герметичность) влияет на:

- температурно-влажностный режим помещений;
- санитарно-гигиенические нормы;
- долговечность строительных конструкций;
- тепловой баланс здания;
- систему вентиляции.

В зимних условиях в отапливаемых помещениях температура внутреннего воздуха существенно выше наружного воздуха, что обуславливает разность их объемных масс, в результате чего и создается разность давлений воздуха с обеих сторон ограждения. Разность давлений воздуха может возникнуть также под влиянием ветрового напора.

Воздухопроницаемость ограждающих конструкций происходит за счет *теплого напора* (при штилевых погодных условиях) и при наличии *ветрового напора* (динамического ветра).

Фильтрация холодного воздуха в помещение через ограждения происходит постоянно через открытые поры в материалах, через неплотности швов и стыков конструкций, неплотности оконных и дверных проемов. В помещении образуется воздухообмен за счет разности давлений наружного и внутреннего воздуха.

Если воздушный поток направлен из наружного пространства в помещение, то такая сквозная фильтрация называется *инфильтрацией*. Воздушный поток направленный из помещения наружу называется *эксфильтрацией*.

С теплотехнической точки зрения воздухопроницаемость ограждения является отрицательным явлением, так как в зимнее время инфильтрация холодного воздуха вызывает дополнительные потери тепла ограждениями и охлаждение помещений, а эксфильтрация может неблагоприятно отразиться на влажностном режиме конструкций ограждений, способствуя конденсации в них влаги.

Под воздействием ветра и теплового напора, возникающего от разности температур внутреннего и наружного воздуха, возможно перемещение воздуха через ограждающую конструкцию в сторону с меньшим давлением. Это явление называется *сквозной фильтрацией*.

Нормальная кратность воздухообмена равна трем. То есть, за час воздух должен три раза обновиться в помещении для поддержания оптимального микроклимата.

Величина теплового напора зависит от разности температур, а также от высоты помещения или здания, возрастая по мере ее увеличения.

Объемная масса холодного воздуха γ_n , кг/м³, больше объемной массы теплого воздуха γ_b , кг/м³. При этом величина разности давлений Δp_t , возникает под влиянием теплового напора.

Давление от теплового напора (в городах с штилевыми погодными условиями) с учетом поэтажного распределения давлений на любом этаже высотой H , при инфильтрации зимой равно:

$$\Delta p_t = 7H (\gamma_n - \gamma_b), \text{ Па}$$

При расчете эксфильтрации

$$\Delta p_t = -3H (\gamma_n - \gamma_b), \text{ Па}$$

Значение плотности воздуха при различной температуре принимается по справочнику или вычисляются по формуле:

$$\gamma_n = \frac{3463}{273 + t}$$

где t - температура воздуха: внутреннего (для определения γ_b) - принимается согласно оптимальным параметрам по ГОСТ 12.1.005, ГОСТ

30494; наружного (для определения γ_n) - принимается равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по СП131.13330. В условиях плотной застройки значения ветрового давления на фасадах многоэтажных зданий уменьшаются у поверхности земли и существенно увеличиваются в верхних этажах.

Расчетная величина суммарной разности давлений от температурного перепада и ветра может быть приближенно определена по формуле

$$\Delta p_{рас} = 0,55H(\gamma_n - \gamma_v) + 0,031\gamma_n v^2, \text{Па}$$

где H - высота здания (от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты или от поверхности земли до верха карниза), м; v - максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16% и более (установленная при стандартной высоте 10 м), принимается по таблице СП131.13330; γ_n, γ_v - удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, н/м³. определяемый по формуле:

$$\gamma = 3463 / (273 - t), \text{ н/м}^3$$

Сопротивление, оказываемое фильтрационному потоку воздуха ограждающей конструкции называют сопротивлением воздухопроницаемости R_u , (м²·ч·Па)/кг.

Воздухопроницаемость ограждений в значительной степени зависит от качества изготовления ограждающих конструкций. Наличие в них щелей и не плотностей резко снижает сопротивление воздухопроницанию ограждения.

При разности давлений 50 Па необходима тщательная герметизация ограждающих конструкций даже в штормовые погодные условия.

Для повышения сопротивления воздухопроницанию целесообразно применять с внутренней и наружной стороны ограждения плотные отделочные слои. Так, оштукатуривание с двух сторон кирпичной стены снижает ее воздухопроницаемость в 40 раз, по сравнению с неоштукатуренной.

Особенно необходимо обеспечивать малую проницаемость воздуха в стыках и сопряжениях между сборными элементами в зданиях, выполненных из крупноразмерных панелей и блоков.

Окна и двери также представляют собой наиболее слабые участки здания по воздухопроницаемости. С целью повышения сопротивления воздухопроницанию этих конструктивных элементов необходимо предусматривать упругие прокладки.

С целью защиты зданий от дополнительных тепловых потерь в холодный период года при проектировании ограждающих конструкций необходимо проводить их проверку на воздухопроницаемость.

Для оценки степени воздухопроницаемости ограждающей конструкции определяется величина его сопротивления воздухопроницанию R_u , ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$)/кг, которая должна быть не менее нормируемого сопротивления воздухопроницанию $R_u^{\text{нор}}$, ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$)/кг.

Общее сопротивление воздухопроницанию многослойной ограждающей конструкции R_u , ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$)/кг, определяется по формуле

$$R_u = R_{u1} + R_{u2} + R_{u3} + \dots + R_{un}$$

где R_{u1} , R_{u2} , R_{u3} ... + R_{un} – сопротивления воздухопроницанию отдельных слоев ограждения, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ /кг, принимаемые по табл. 3; n – число слоев ограждающей конструкции.

Сопротивление воздухопроницанию слоев ограждающих конструкций (стен и покрытий), расположенных между вентилируемой наружным воздухом воздушной прослойки и наружной поверхностью ограждающей конструкции, не учитывается.

Нормируемое сопротивление воздухопроницанию, ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$)/кг, ограждающих конструкций (за исключением заполнения окон, балконных дверей и фонарей) следует определять по формуле

$$R_u^{\text{TP}} = \Delta p / G_{\text{H}} ,$$

где Δp – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, G_{H} – нормируемая

воздухопроницаемость ограждающих конструкций, кг/(м²·ч), принимаемая в соответствии с табл.3.

В соответствии с СП 50.13330-2012 "Тепловая защита зданий" сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей жилых и общественных зданий, а также окон и фонарей производственных зданий $R_u^{тр}$, м²·ч/кг, определяется по формуле:

$$R_u^{тр} = (1/G_n)(\Delta p / \Delta p_0)^{\frac{2}{3}}$$

где Δp_0 – разность давления воздуха, при котором определяется сопротивление воздухопроницанию, $\Delta p_0 = 10$ Па; G_n - нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций, кг/(м²·ч).

В случае $R_u \geq R_u^{тр}$ выбранная ограждающая конструкция удовлетворяет требованиям СП 50.13330 по сопротивлению воздухопроницанию.

В случае $R_u < R_u^{тр}$ необходимо заменить или изменить ограждающую конструкцию и проводить перерасчеты до удовлетворения требований.

Раздел 3. Естественное освещение помещений

Лекция 3. Естественное освещение

3.1 Общие сведения о строительной светотехнике. Природа света

Свет - в физической оптике электромагнитное излучение, воспринимаемое человеческим глазом. В качестве коротковолновой границы спектрального диапазона, занимаемого светом, принят участок с длинами волн в вакууме 380–400 нм, а в качестве длинноволновой границы — участок 760–780 нм.

Естественное освещение - освещение земной поверхности за счёт прямого излучения Солнца или рассеянным светом небосвода.

В широком смысле, используемом вне физической оптики, светом часто называют любое оптическое излучение, то есть такое электромагнитное излучение, длины волн которого лежат в диапазоне с приблизительными границами от единиц нанометров до десятых долей миллиметра. В этом случае в понятие «свет» помимо видимого излучения включаются как инфракрасное, так и ультрафиолетовое излучения.

3.2 Естественное и искусственное освещение помещений

Освещение делится на два основных вида. Естественное освещение дает солнечный свет, а его альтернативой является искусственное освещение, которое создается с помощью разнообразных ламп, светильников и других осветительных приборов (рис. 16).



Рис. 3.2.1 Классификация освещение

Ни один осветительный прибор не может сравниться с естественным светом от солнца. Помимо отсутствия расходов на электроэнергию, данный вид освещения является наиболее оптимальным для органов зрения. В отличие от искусственных источников света, солнечный свет не вызывает никакого дискомфорта.

В нормативных документах СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение" подробно описаны требования к освещению во всех помещениях, включая производственные цеха, школы, спортивные сооружения и пр. Согласно СП, следует выполнять общие требования к освещению независимо от помещения. Это:

- равномерная освещенность всего пространства;
- достаточная яркость и хорошие показатели цветовой температуры (особенно важно там, где производятся высокоточные работы);
- отсутствие слепящих лучей, бликов, теней;
- отсутствие мерцаний и пульсаций.

В таблицах нормы указаны оптимальные значения по средней освещенности и распределения освещенности. Так, для бытового освещения жилых комнат требуется не менее 150 Лк, для коридоров 50 Лк, а для детской комнаты уже 200 Лк.

При проектировании освещения следует предпочитать варианты, которые позволяют обеспечивать нормативные требования с наименьшими энергетическими и материальными затратами.

Система естественного освещения при проектировании должна обеспечивать:

- нормируемые значения коэффициента естественной освещенности (КЕО) на рабочих местах или в расчетной точке помещения;
- регламентируемые требования к равномерности распределения КЕО в рабочих зонах помещения;
- максимальное время использования естественного света.

Основными требованиями к естественному освещению в помещении является создание наилучшего освещения рабочего места или объекта, который воспринимается человеком при наблюдении. Требуемый световой режим достигается путем учета светового климата местности строительства объекта, правильного выбора его размеров и размера светопрозрачного ограждения, формы и цветовой отделки помещения, правильного размещения и выбора источников искусственного света.

Естественное освещение имеет большое значение для человека, улучшения его физиолого-психологического состояния и повышения производительности труда.

Архитектурно-строительная светотехника включает в себя следующие вопросы:

- проектирование систем естественного освещения зданий;
- инсоляция и проектирование солнцезащиты помещений.

Освещение помещений бывает естественное, искусственное и совмещенное.

Источником естественного света является солнце и рассеянный (диффузный) свет небосвода.

Источником искусственного света являются лампы различных разновидностей (накаливания, ртутные, люминесцентные, галогенные и др.). Расчет, выбор и расположение их является функцией смежного раздела “Электроснабжение”.

Требуемый световой режим достигается путем учета светового климата местности, где осуществляется строительство проектируемого здания, правильного выбора размеров, формы и цветовой отделки помещения, расположения и размеров светопроемов (окон, фонарей верхнего света), правильного размещения и выбора источников искусственного света.

3.3 Световой климат местности. Проектирование естественного освещения

В соответствии с СП 52.13330 территория Российской Федерации разделена на пять групп административных районов по ресурсам светового климата. Перечень административных районов, входящих в группы обеспеченности естественным светом, приведен в приложении Е СП 52.13330.2016.

Коэффициенты светового климата, характеризующие обеспеченность естественным светом группы административных районов Российской Федерации в зависимости от ориентации светопроемов по сторонам горизонта, приведены в таблице СП 52.13330.2016.

Нормируемые значения коэффициента естественного освещения (КЕО) e_n в производственных зданиях независимо от групп административных районов принимают в соответствии с таблицей и приложением СП 52.13330.2016.

При совмещенном освещении нормируемые значения КЕО увязывают с нормируемыми значениями освещенности E_n от искусственного освещения при различных зрительных работах через критические наружные освещенности

Проектирование естественного освещения зданий следует осуществлять с учетом предварительно изученных технологий и процессов, выполняемых в помещениях, а также светоклиматических особенностей места строительства зданий. При этом должны быть определены следующие параметры:

- характеристика и разряд зрительных работ;
- группа административного района, в котором предполагается строительство здания;
- нормируемое значение КЕО e_n с учетом характера зрительных работ и светоклиматических особенностей места расположения зданий;
- требуемая равномерность естественного освещения;

- продолжительность использования естественного освещения в течение суток для различных месяцев года с учетом назначения помещения, режима работы и светового климата местности;

- необходимость защиты помещения от слепящего действия солнечного света.

Проектирование естественного освещения здания следует выполнять в такой последовательности:

1-й этап:

- определение требований к естественному освещению помещений,
- выбор систем освещения;
- выбор типов световых проемов и светопропускающих материалов;
- выбор средств для ограничения слепящего действия прямого солнечного света;

- учет ориентации здания и световых проемов по сторонам горизонта.

2-й этап:

- выполнение предварительного расчета естественного освещения помещений (определение необходимой площади световых проемов);
- уточнение параметров световых проемов и помещений.

3-й этап:

- выполнение проверочного расчета естественного освещения помещений;

- определение помещений, зон и участков, имеющих недостаточное по нормам естественное освещение;

- определение требований к дополнительному искусственному освещению помещений, зон и участков с недостаточным естественным освещением.

- определение требований к эксплуатации световых проемов;

4-й этап:

- внесение необходимых корректив в проект естественного освещения и повторный проверочный расчет (при необходимости).

Систему естественного освещения здания (боковое, верхнее или комбинированное) следует выбирать с учетом следующих факторов:

- назначение и принятое архитектурно-планировочное, объемнопространственное и конструктивное решения здания;
- требования к естественному освещению помещений, вытекающие из особенностей технологии производства и зрительной работы;
- климатические и светоклиматические особенности места строительства;
- экономичность естественного освещения (по энергетическим затратам).

Верхнее и комбинированное естественное освещение следует применять преимущественно в одноэтажных многопролетных зданиях

промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также в зданиях с крупногабаритными технологическими объемами, в частности

производственных транспортных предприятий, предназначенных для ввода подвижного состава.

Боковое естественное освещение следует применять в многоэтажных и одноэтажных производственных зданиях с отношением

глубины помещений к высоте верхней грани светового проема над уровнем УРП не более 8.

3.4 Предварительный расчет площади световых проемов

Выбор требуемой площади боковых светопроемов можно производить по формуле:

$$100 S_o/S_{\text{п}} = (e_{\text{н}} K_3 \eta_o / \tau_o r_o) \cdot K_{\text{зд}}$$

где S_o – площадь боковых светопроемов (в свету) при боковом освещении, м^2 ;
 $S_{\text{п}}$ – площадь пола помещения, м^2 ; $e_{\text{н}}$ – нормированное значение КЕО при боковом освещении, %; K_3 – коэффициент запаса; η_o – световая характеристика окон; $K_{\text{зд}}$ – коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями; τ_o – общий коэффициент светопропускания проема (в долях единицы), определяемый по формуле:

$$\tau_o = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5$$

где τ_1 – коэффициент светопропускания материала; τ_2 – коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема; τ_3 – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях при системе верхнего света (фонари); τ_4 – коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах; τ_5 – коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями верхнего света, принимаемый равным 0,9. r_0 — коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию. Значение коэффициента r_0 определяется в каждой расчетной точке помещения.

Выбор площади светопроемов системы верхнего естественного освещения можно производить по формуле:

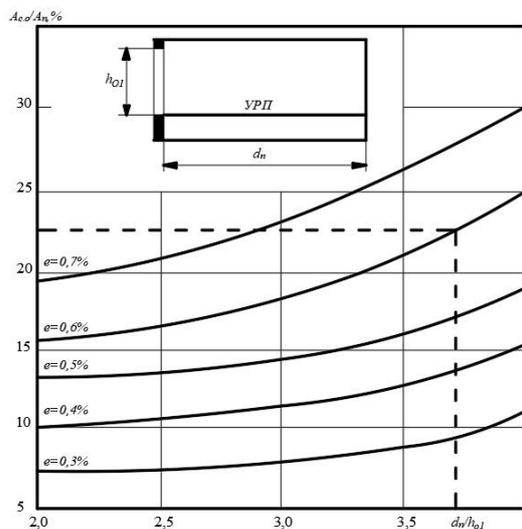
$$100 S_{\phi}/S_{\pi} = (e_n K_3 \eta_{\phi}) / (\tau_0 r_{\phi} K_{\phi})$$

где S_{ϕ} – площадь световых проемов (в свету) при верхнем освещении, м²; S_{π} – площадь пола помещения, м²; e_n – нормированное значение КЕО при верхнем освещении, %; η_{ϕ} – световая характеристика фонаря.

Предварительный расчет размеров световых проемов при боковом освещении без учета противостоящих зданий следует проводить с применением графиков, представленных на рис. 3.2.2: а - для определения относительной площади светопроемов жилых зданий; б - общественных.

Для предварительного расчета площадей световых проемов при верхнем освещении следует применять в соответствующие график СП 419.1325800.2018: для зенитных фонарей диффузного света; для шахтных фонарей направленного света и шахтных фонарей диффузного света; для прямоугольных фонарей с вертикальным двухсторонним остеклением (прямоугольных); для трапециевидных фонарей с наклонным двухсторонним остеклением; для шедовых фонарей с вертикальным односторонним остеклением; для шедовых фонарей с наклонным односторонним остеклением.

а



б

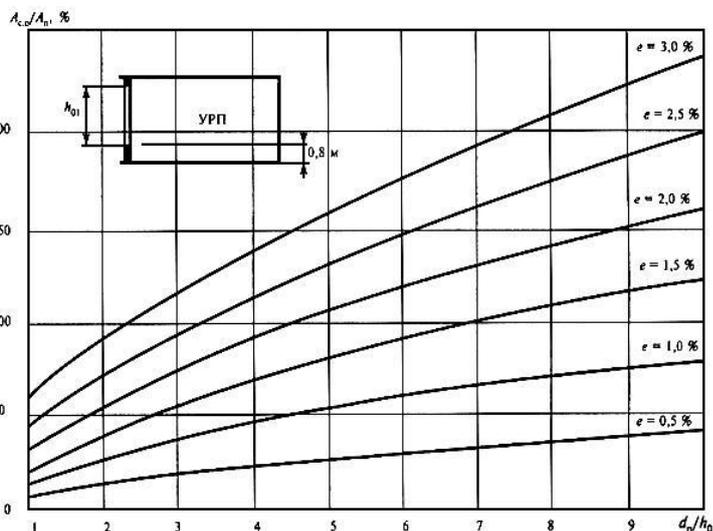


Рис. 3.2.2 Графики для предварительного подсчета площади светопроема:

A_{co} - сумма площадей светопроемов, m^2 ; A_n - площадь пола, m^2 ; d_n - глубина помещения, м; h_{01} - высота верхней грани светопроема над уровнем условной поверхности, м

Суммарную площадь световых проемов фонарей $S_{c.ф}$, в зависимости от площади пола помещения $S_{п}$ определяют по рисункам нормы в такой последовательности:

а) в зависимости от разряда зрительной работы или назначения помещения и группы административных районов по ресурсам светового климата Российской Федерации таблице и приложению СП 52.13330.2016 определяют нормируемое значение КЕО для рассматриваемого помещения;

б) на ординате графика определяют точку, соответствующую нормируемому значению КЕО, через найденную точку проводят горизонталь до пересечения с соответствующей кривой графика, по абсциссе точки пересечения определяют значение $S_{c.ф}/S_{п}$;

в) путем деления найденного значения $S_{c.ф}/S_{п}$ на 100 и умножения на площадь пола находят площадь световых проемов фонарей в квадратных метрах.

Раздел 3. Естественное освещение помещений

Лекция 4. Принцип расчета коэффициента естественной освещенности КЕО

4.1 Точный метод расчета естественного освещения помещений

Строительной светотехнике для оценки уровня освещенности используется относительная величина, называемая *коэффициентом естественного освещения*, сокращенно КЕО.

КЕО e_m в любой точке помещения, есть отношение естественной внутренней освещенности в лк ($E^{вн}$), создаваемой в какой-либо точке М заданной плоскости помещения светом неба (непосредственно или после отражений), к одновременной наружной горизонтальной освещенности ($E^{нар}$), создаваемой плотностью открытого небосвода, выраженное в процентах.

$$e_m = \frac{E^{вн}}{E^{нар}} 100\%$$

Расчет КЕО в исследуемой точке помещения может производиться методом Данилюка А.М., суть которого заключается в разделении полусферы небосвода на 10000 площадок с помощью 100 параллелей и 100 меридианов, проекции которых в вертикальную и горизонтальные плоскости представлены в виде графиков I, II (рис. 4.1.1). По представленным графикам производится подсчет лучей света n_1, n_2 проходящих через светопроемы на расчетные точки помещений от небосвода.

Значение КЕО помещений зависит от характеристики зрительной работы (разряда зрительной работы), которая производится в помещениях зданий и устанавливается СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» в зависимости от функционального назначения помещения.

Геометрический коэффициент естественной освещенности, учитывающий прямой свет неба, в какой-либо точке помещения при боковом освещении определяется:

- от прямого солнечного света $\varepsilon_6 = 0,01n_1 \cdot n_2$;

- от света, отраженного от здания $\varepsilon_{зд} = 0,01n_1^1 \cdot n_2^1$

где n_1 - количество лучей по графику I, проходящих от неба через световые проемы в расчетную точку на поперечном разрезе помещения;

n_2 - количество лучей по графику II, проходящих от неба через световые проемы в расчетную точку на плане помещения.

Выбор вида естественного освещения зависит от технологического процесса, условий зрительной работы, объемно-планировочного и конструктивного решения здания, а также светоклиматических особенностей места строительства и экономических факторов.

Согласно СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение подразделяется на:

- боковое одностороннее, двустороннее (рис. 4.1.2 а, 4.1.3);
- верхнее (рис. 4.1.2 б, 4.1.3);
- комбинированное (верхнее и боковое) (рис. 4.1.2 в, 4.1.3).

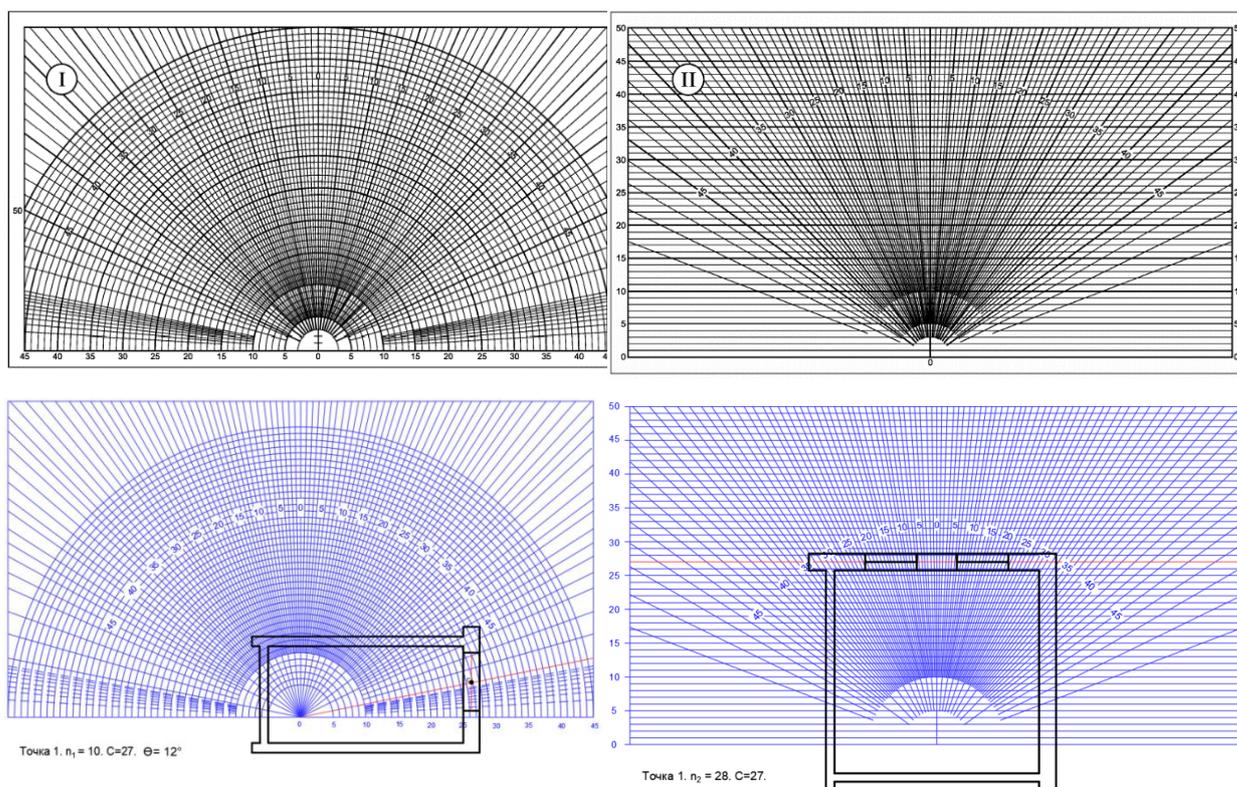


Рис. 4.1.1. Графики А.М. Данилюка для подсчета количества световых лучей:

I - для подсчета количества лучей n_1 ; II - для подсчета количества лучей n_2

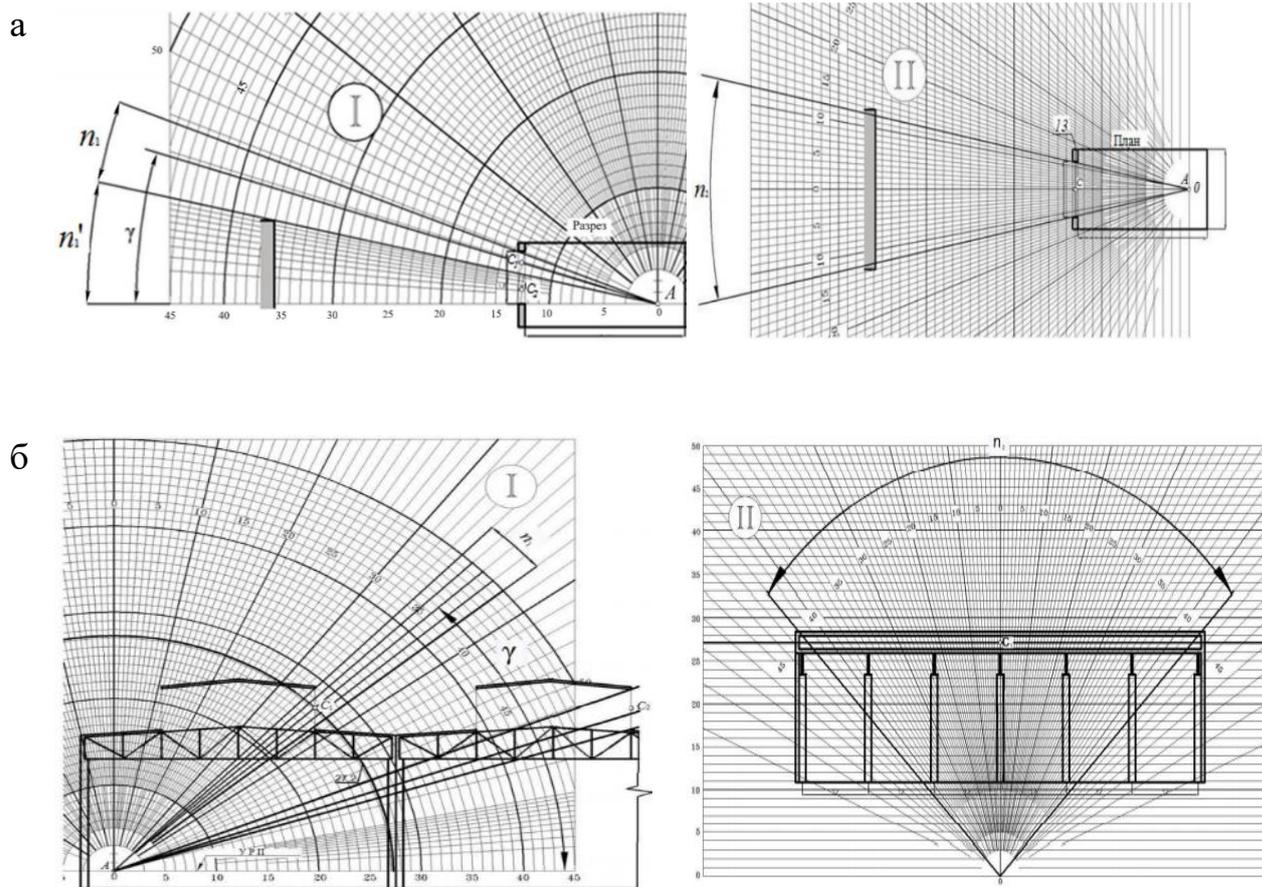


Рис. 4.1.2. Пример подсчета количества световых лучей n_1, n_2, n_1' по графикам А.М.Данилюка: а - при боковом, б - при верхнем освещении

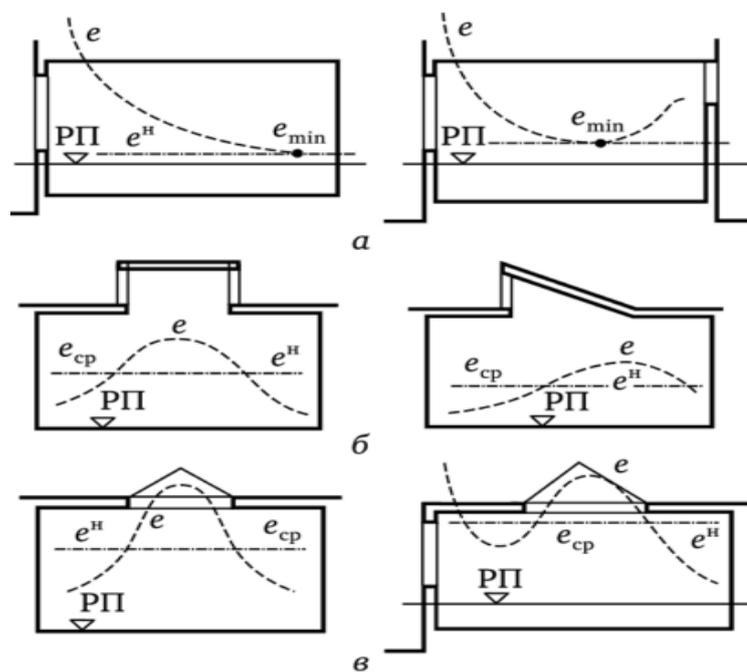


Рис. 4.1.3. Система естественного освещения помещений: а - боковое одностороннее и двухстороннее; б - верхнее; в – комбинированное (верхнее и боковое)

Основным документом, регламентирующим требования к естественному освещению помещений жилых и общественных зданий, является СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 "Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий". В соответствии с СанПиН 2.1.2.1002-10 "Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям" в жилых зданиях непосредственное естественное освещение должны иметь жилые комнаты и кухни.

Согласно СП 54.13330.2016 "Здания жилые многоквартирные" отношение площади световых проёмов к площади пола жилых помещений и кухни следует принимать не более 1:5,5 и не менее 1:8 для верхних этажей со световыми проёмами, в плоскости наклонных ограждающих конструкций не менее 1:10 с учётом светотехнических характеристик окон и затенения противостоящими зданиями.

В соответствии с требованием СП нормированные значения КЕО для зданий, располагаемых в различных светоклиматических районах, следует определять по формуле:

$$e_N = e_n \cdot m_N$$

где N - номер группы обеспеченности естественным светом по табл.6.
 e_n - нормируемое значение КЕО, принимается согласно функциональному назначению здания и характеру зрительной работы по соответствующим СП, СНиП, МСН "Естественное и искусственное освещение".

Коэффициент светового климата m_N , определяется согласно группе административного района (СП 50.13330) и ориентации стен по табл. 4.1.1.

Группы административных районов по ресурсам светового климата представлены в карте светоклиматического районирования по пяти районам и сгруппированы в СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение" в соответствующем порядке.

Группа административных районов

Ориентация стен зданий	Номер группы административных районов				
	1	2	3	4	5
северная	1	0,9	1,1	1,2	0,8
северо-восточная, северо-западная	1	0,9	1,1	1,2	0,8
западная, восточная	1	0,9	1,1	1,1	0,8
юго-восточная, юго-западная	1	0,9	1	1,1	0,8
южная	1	0,9	1	1,1	0,8

Значение e_n принимается согласно таблице СП 52.13330.2016 в зависимости от функционального назначения зданий и помещений.

Освещённость в помещении достигается за счёт прямого диффузного света небосвода и отраженного диффузного света от внутренних поверхностей помещения, противостоящих зданий и поверхности земли, прилегающей к зданию. Соответственно КЕО в точке помещения М определяется как сумма:

$$e_m = e_n + e_o + e_z + e_{\Pi}$$

где e_n - КЕО, создаваемый прямым диффузным светом участка неба, видимого из данной точки через проёмы с учётом потерь света при прохождении светового потока через остеклённый проём;

e_o - КЕО, создаваемый отражённым светом от внутренних поверхностей помещения (потолка, стен, пола);

e_z - КЕО, создаваемый отражённым светом от противостоящих зданий;

e_{Π} - КЕО, создаваемый отражённым светом от прилегающей к зданию поверхности земли (грунта, асфальта, травяного покрова и др.)

Максимальное влияние на величину КЕО оказывает прямой свет неба.

Составляющую от прямого света небосвода определяют по формуле:

$$e_n = e_n^0 \cdot \tau_o \cdot q$$

где

e_n^0 - геометрический КЕО (коэффициент небосвода);

τ_0 - общий коэффициент светопропускания проёма;

q - коэффициент, учитывающий неравномерную яркость неба.

Общий коэффициент светопропускания проёма τ_0 при боковом освещении определяется как произведение двух составляющих:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2$$

где τ_1 - коэффициент пропускания незагрязнённого стекла или другого светопрозрачного заполнения (в современной нормативной документации - коэффициент направленного пропускания видимого света оконного стекла или стеклопакета);

τ_2 - коэффициент пропускания оконного блока без остекления при учёте затенения, создаваемого переплётами.

Значения коэффициентов τ_1, τ_2 могут быть приняты по СП 367.1325800.2017, СП 419.1325800.2018.

Значения коэффициентов τ_2 для современных окон достаточно трудно поддаются оценке, так как в существующей нормативной документации приведены значения для оконных блоков устаревших конструкций. На стадии ТЭО целесообразно использовать классификацию оконных блоков в соответствии с пунктом ГОСТ Р 56926-2016 Конструкции оконные и балконные, ГОСТ 23166-99 "Блоки оконные".

Общий коэффициент пропускания света, в целом определяемый по формуле

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5$$

здесь τ_1 - коэффициент светопропускания материала, определяемый по таблице СП 367.1325800.2017, СП 419.1325800.2018;

τ_2 - коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема, определяемый по таблице СП 367.1325800.2017, СП 419.1325800.2018;

τ_3 - коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях, определяемый по таблице СП367.1325800.2017, СП 419.1325800.2018 (при боковом освещении $\tau_3 = 1$);

τ_4 - коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах, определяемый в соответствии с таблицей СП 367.1325800.2017, СП 419.1325800.2018;

τ_5 - коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями, принимаемый равным 0,9.

Расчетное значение КЕО, %: Значение, полученное расчетным путем при оценке естественного или совмещенного освещения помещений:

а) при боковом освещении по формуле

$$e_p^\sigma = C_N \left[\sum_{i=1}^L \varepsilon_{\sigma_i} q(\gamma)_i + \sum_{j=1}^M \varepsilon_{здj} b_{\phi j} k_{здj} \right] r_0 \tau_0 KMF$$

б) при верхнем освещении по формуле

$$e_p^B = C_N \left[\sum_{i=1}^T \varepsilon_{B_i} q(\gamma)_i + \varepsilon_{cp} (r_2 k_\phi - 1) \right] \tau_0 MF$$

L - число участков небосвода, видимых через световой проем из расчетной точки;

e_b - геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий прямой свет от i -го участка неба;

C_N - коэффициент светового климата;

q_i - коэффициент неравномерности яркости i -го участка облачного неба МКО;

M - число участков фасадов зданий противостоящей застройки, видимых через световой проем из расчетной точки;

$\varepsilon_{здj}$ - геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий свет, отраженный j -го участка фасадов зданий противостоящей застройки;

$b_{\phi j}$ - средняя относительная яркость j -го участка фасадов зданий противостоящей застройки;

r_0 — коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию;

$k_{здj}$ - коэффициент, учитывающий изменения внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при наличии противостоящих зданий.

в) при комбинированном освещении

$$e_p = e_p^b + e_p^v$$

При верхнем или комбинированном освещении определяется по формуле

$$e_{cp} = \frac{1}{N-1} \left(\frac{e_1 + e_N}{2} + \sum_{i=2}^{N-1} e_i \right)$$

При проектировании расчетное значение КЕО должно быть не менее нормируемого значения, приведенного в таблицах СП 52.13330.2016, СП 367.1325800.2017, СП 419.1325800.2018:

$$e_p > e_n$$

Расчет сводится к выбору вида освещения (боковое, верхнее или комбинированное), определению размеров, формы, расположения и конструктивного решения световых проемов, обеспечивающих нормируемый уровень освещения внутри помещений гражданских зданий и производственного здания.

При выборе формы и размеров световых проемов следует помнить, что они являются важными элементами, определяющими архитектурное решение здания и интерьера помещения. От размеров и формы световых проемов зависят световой и температурный режимы помещения, а также эксплуатационные расходы на содержание здания.

Достаточность размеров, формы и места расположения световых проемов определяют в процессе предварительного и проверочного расчетов.

Окончательные размеры проемов в проекте здания могут на 5-10 % отклоняться от требуемых по расчету площадей.

4.2 Современные системы естественного освещения

Световоды являются современным способом освещения помещений появился на рынке относительно недавно.

Световоды - строительные элементы здания, которые предназначены для освещения помещений солнечными лучами и снижения зависимости от искусственного освещения, а так же для доставки дневного света в целевое помещение через кровлю, чердачное пространство и другие преграды.

Световоды самое удобное решение для освещения труднодоступных для дневного света зданий и помещений (кладовки, лестницы, ванные комнаты, туалеты, кухни, жилые комнаты, офисы, подвальные помещения, гаражи, мастерские, больницы, ангары, склады, цеха и т.п.). Системы естественного освещения подают в здание здоровый и естественный дневной свет, который уменьшает усталость глаз, повышает работоспособность и комфорт, позволяет видеть натуральный цвет вещей.

Устройства спроектированы таким образом, что могут иметь любую кривую направленность, но при этом доставляют максимум освещения. Позволяют сэкономить на электричестве и стандартных лампочках.

Устройства монтируются через крышу, сверху располагается сферическое стекло (форма приближена к типу мансардного окна). Внутренняя поверхность зазеркалена. Благодаря отражающим элементам свет проходит через трубу. Длина может быть разной. Главное – чтобы прошла сквозь перекрытия в комнату (рис. 4.2.1).

Снизу (со стороны помещения) установлено стекло с рассеивающим эффектом. Внешне световой туннель напоминает обычный светильник. В некоторых моделях встроена лампочка для работы в ночное время суток. Монтаж по времени и стоимости остается в разумных пределах. При этом устройство позволяет сэкономить на электроэнергии и приборах.



Рис. 4.2.1 Устройство световодов на крышу здания

Системы естественного освещения ALLUX – это новый этап развития технологий солнечной энергии в России. С помощью СЕО можно обеспечить естественным светом практически любое помещение в вашем здании, независимо от его расположения! Коридоры, кухни, ванные комнаты, подвалы - теперь вы можете наслаждаться солнечным светом везде, где вам это необходимо или просто хочется.

Другие названия системы световодов ALLUX, а также часто встречающиеся наименования у конкурентов: «Световод», «Световые колодцы», «Система дневного освещения», «Система солнечного освещения», «Полые световоды», «Полые тубусы», «Зеркальная труба», «Шахта со светоотражающей поверхностью». Правильным названием системы согласно строительным нормам является «Точечный зенитный фонарь со светопроводной шахтой».

Областью применения являются помещения, где обязательно соответствие КЕО, но при этом нет возможности встроить дополнительные окна. К ним можно отнести школы, детские сады, производственные

помещения, покрасочные камеры и цеха иного назначения, подвалы, и так далее.

Для оценки комфортности естественного освещения в лабораторных условиях используется метод моделирования в искусственном небосводе (рис. 4.2.2).

Измерение абсолютной величины естественной освещенности помещений здания и территории городской застройки производится специальным прибором люксметром (рис. 4.2.3)

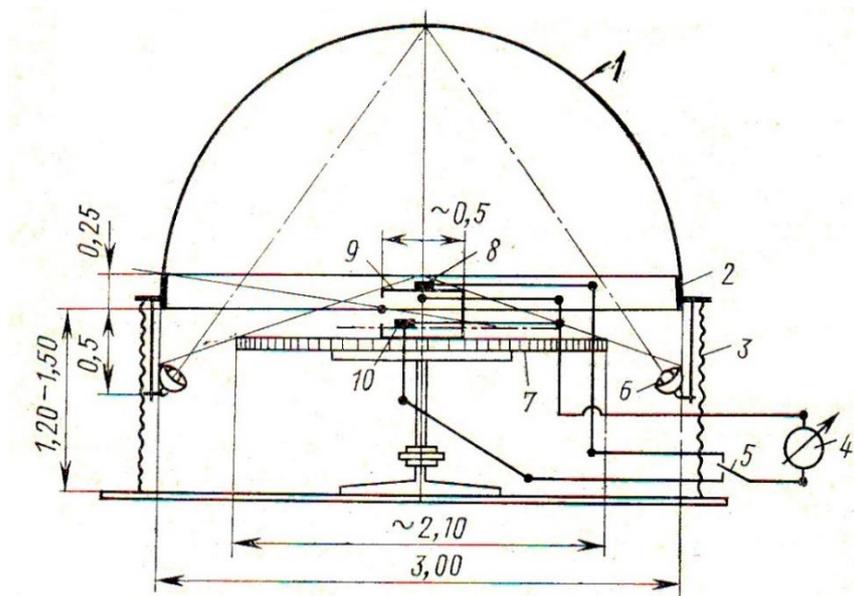


Рис. 4.2.2 Искусственный небосвод



Люксметр Пульсметр Яркометр "ТКА-ПКМ"(09)



Люксметр Testo 540

Рис. 4.2.3 Разновидности люксметров

Раздел 4. Инсоляция помещений и территорий. Солнцезащитные устройства.

Лекция 5. Инсоляция помещений и территорий

5.1 Общие сведения об инсоляции. Нормирование продолжительности инсоляции помещений

Инсоляция (от лат. in - «внутри» + sol - «солнце») — облучение поверхностей солнечным светом (солнечной радиацией), поток солнечной радиации на поверхность.

Солнечный свет очень важен для человека. Солнечный свет тонизирует и возбуждает нервную систему, повышает тонус процессов в организме и влияет на его жизнедеятельность. Многие процессы в организме человека тесно связаны с солнечным светом – это, прежде всего обмен веществ, кровообращение и работа эндокринных желёз, дыхание.

Требование к инсоляции и солнцезащита помещений выполняются в соответствии с требованиями СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". К жилым зданиям, согласно СанПиН, относятся жилые дома и общежития.

Правильная ориентация помещений жилища по сторонам горизонта должна обеспечивать высокую освещенность, достаточную инсоляцию и не вызывать перегрева. В соответствии с гигиеническими требованиями размещение и ориентация жилых зданий должны обеспечивать инсоляцию жилых помещений и территории.

Границы зон по широтам, расчетные дни (начало и конец календарного периода) и нормативная продолжительность инсоляции жилых помещений квартир и помещений общественных зданий представлены в табл. 5.1.1, 5.1.2.

**Нормативная продолжительность непрерывной инсоляции помещений
жилых зданий**

Нормируемые помещения	Географическая широта местности	Продолжительность инсоляции (не менее)	Календарный период
1. Не менее чем в одной комнате 1-3 комнатных квартир; 2. Не менее чем в 2-х комнатах 4-х и более комнатных квартир; 3. Не менее чем 60% жилых комнат в общежитиях	Северная зона (севернее 58° с.ш.)	2,5 ч	22 апреля - 22 августа
	Центральная зона (58° с.ш. - 48° с.ш.)	2 ч	
	Южная зона (южнее 48° с.ш.)	1,5 ч	22 февраля - 22 октября
1. В 2-х и 3-х комнатных квартирах, где инсолируется не менее 2-х комнат; 2. В многокомнатных квартирах (4 и более комнаты), где инсолируется не менее 3-х комнат; 3. При реконструкции жилой застройки, расположенной в центральной, исторической зонах городов, определенных их генеральными планами развития	Северная зона (севернее 58° с. ш.)	2 ч	22 апреля - 22 августа
	Центральная зона (58° с. ш. - 48° с. ш.)	1,5 ч	
	Южная зона (южнее 48° с. ш.)	1,5 ч	с 22 февраля по 22 октября

Таблица 5.1.2

**Нормируемая продолжительность непрерывной инсоляции для
помещений общественных зданий**

Нормируемые помещения	Географическая широта местности	Продолжительность инсоляции (не менее)	Календарный период
Дошкольные образовательные организации - групповые, игровые; Образовательные организации (общеобразовательные, дополнительного и профессионального образования, школы-интернаты, детские дома и другие образовательные организации) - классы и учебные кабинеты;	Северная зона (севернее 58° с.ш.)	2,5 ч	22 апреля - 22 августа
	Центральная зона (58° с.ш. - 48° с.ш.)	2 ч	

<p>Лечебно-профилактические, санаторно-оздоровительные и курортные учреждения - палаты (не менее 60% общей численности); Организации социального обслуживания (дома интернаты для инвалидов и престарелых и другие организации социального обслуживания), хосписы - палаты, изоляторы</p>	<p>Южная зона (южнее 48° с.ш.)</p>	<p>1,5 ч</p>	<p>22 февраля - 22 октября</p>
---	------------------------------------	--------------	--------------------------------

Нормативная продолжительность инсоляции в жилых зданиях должна быть обеспечена не менее чем:

в одной из жилых комнат одно-, двух- и трехкомнатных квартир;

в двух жилых комнатах квартир, имеющих больше четырех комнат (многокомнатных).

Нормируемая продолжительность инсоляции устанавливается в основных функциональных помещениях общественных зданий.

К основным функциональным помещениям относятся:

в зданиях детских дошкольных учреждений – групповые, игровые, изоляторы и палаты;

в учебных зданиях – классы и учебные кабинеты;

в лечебно-профилактических учреждениях – палаты (не менее 60% общей численности);

в учреждениях социального обеспечения – палаты, изоляторы.

Инсоляция не требуется в следующих помещениях:

патологоанатомических отделениях;

операционных, реанимационных залах больниц, вивариев, ветлечебниц;

химических лабораториях;

выставочных залах музеев;

книгохранилищах и архивах.

Допускается отсутствие инсоляции в учебных кабинетах информатики, физики, химии, рисования и черчения.

При боковом естественном освещении общественных зданий с повышенными требованиями к постоянству естественного освещения и солнцезащите (например, картинные галереи) световые проемы следует ориентировать на северную четверть горизонта (С-СЗ - С-СВ).

На территориях детских игровых площадок, спортивных площадок жилых домов; групповых площадок дошкольных учреждений; спортивной зоны, зоны отдыха общеобразовательных школ и школ-интернатов; зоны отдыха стационарного типа продолжительность инсоляции должна составлять не менее 3 часов на 50% площади участка независимо от географической широты.

Необходимо учитывать не только положительные воздействия инсоляции, но и отрицательные. Некоторые из положительных и отрицательных воздействий инсоляции приведены в табл. 5.1.3.

Таблица 5.1.3

Положительные и отрицательные свойства инсоляции

Положительные качества инсоляции	Отрицательные качества инсоляции
Дополнительный обогрев помещения	Перегрев помещений
Дополнительная освещенность	Блескость
Бактерицидное действие	Разрушающее действие
Положительное эстетическое восприятие пространства, пластики формы	Снижение восприятия формы и насыщенности цвета

Из таблицы видно, что положительных и отрицательных воздействий инсоляции на окружающую среду и человека очень много и учесть их все в нормах практически невозможно, поэтому определяющим фактором при оценке инсоляции помещений должна быть степень предпочтения человеком солнечной и затененной сторон (рис. 5.1.1, 5.1.2).

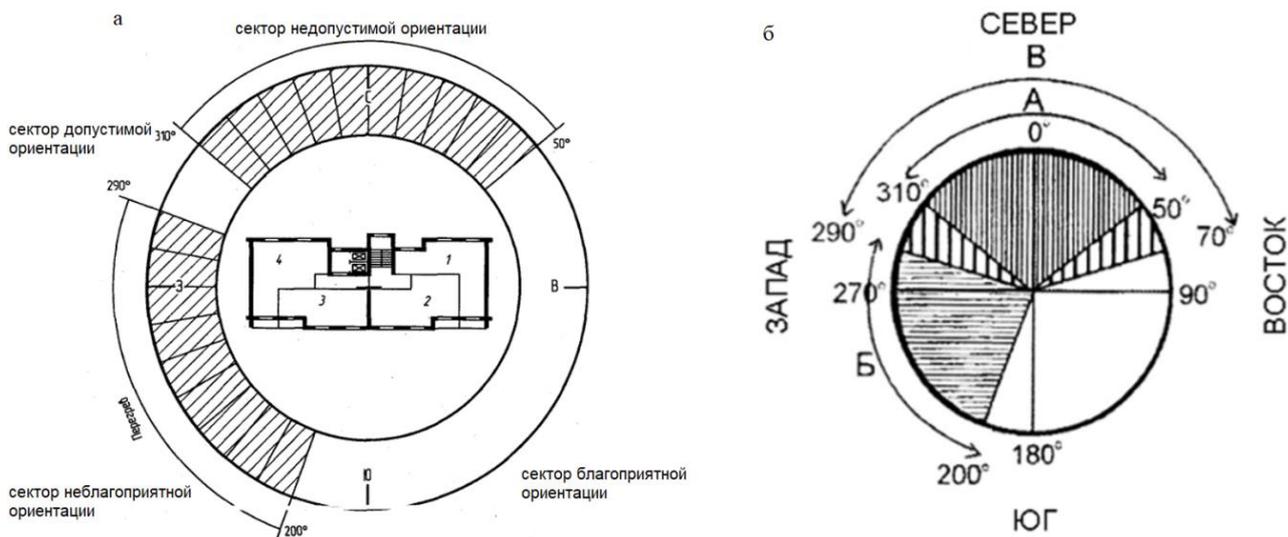


Рис. 5.1.1. Разбивка на сектора ориентации основных помещений зданий в южных регионах России

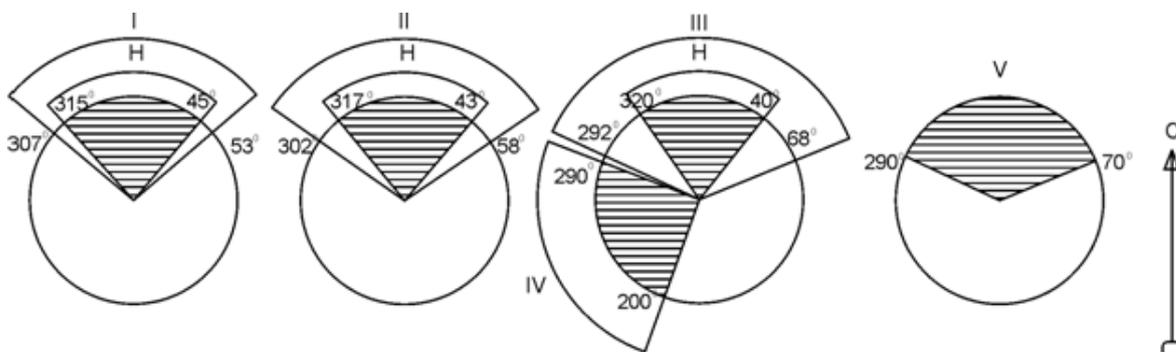


Рис. 5.1.2. Секторы неблагоприятной ориентации жилых помещений:

I – севернее 58° с.ш.; II – в диапазоне $48-58^\circ$ с.ш.; III – южнее 48° с.ш.; IV – в I и II климатических районах при преобладании северных ветров

В настоящее время в практике архитектурно-строительного и градостроительного проектирования для оценки режима инсоляции применяется ряд номографических методов оценки условий инсоляции зданий и территорий, а именно: инсографики, солнечные карты и климаграммы, которые представляют собой проекции естественного хода солнца на горизонтальную плоскость, моделирующие инсоляцию на схеме плана застройки. В указанных выше инсоляционных приборах показатели инсоляции определяются при помощи диаграмм и графиков. Часть приборов планшетного типа представлены на рис. 5.1.3.

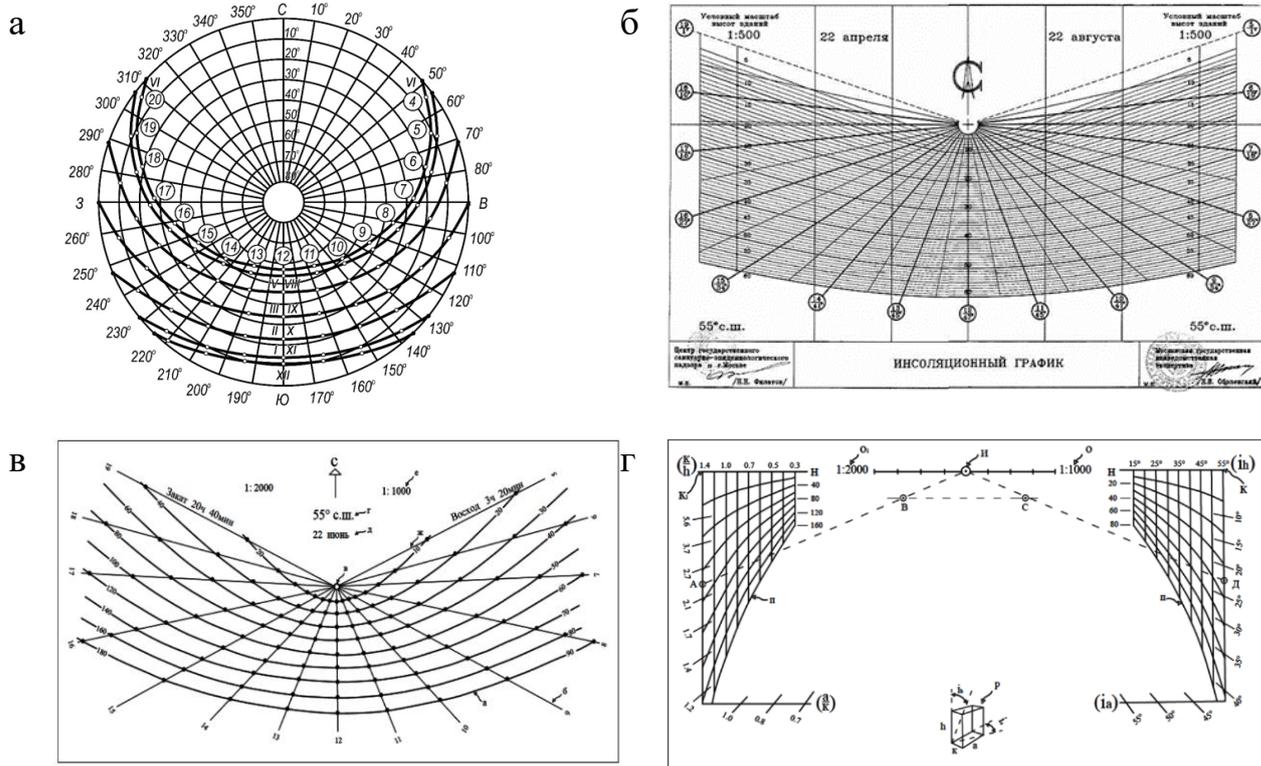


Рис. 5.1.3 Инсоляционные приборы планшетного типа

а - солнечная карта конструкции Б.А.Дунаева, б - инсоляционный график Н.В.Оболенского, в и г - основная и накладная часть инсоляционного планшета А.И.Гиясова

При решении задач по инсоляции предварительно устанавливают ориентацию здания или участка застройки по сторонам света, высоты затеняющего соседствующего объекта, в соответствии с которой подбирают соответствующий прибор по масштабу чертежа и по высоте затеняющего объекта.

При определении продолжительности инсоляции фасада здания и помещения центральная точка «О» приборов накладывается на линию фасада инсолируемого здания, ориентируя основную часть прибора к северу. При этом продолжительность инсоляции фасада производится основной частью по ходу солнца на необходимые месяцы, продолжительность инсоляции помещений производится в пределах инсоляционного угла окна, прикладывая накладную к основной части.

Ориентация жилых зданий по сторонам света:

- 1) меридианальная;
- 2) широтная;
- 3) диагональная

Различают широтную, меридиональную и диагональную виды ориентации жилых зданий.

В первом и втором типе квартиры не ориентированы на север. В южном районе предпочтительна широтная.

При широтной ориентации жилые здания располагают вдоль широты и его помещения обращены на юг и север, при меридиональной ориентации жилое здание ориентируют вдоль меридиана, а его помещения на восток и запад, а в случае диагональной - по направлениям ЮЗ - СВ и ЮВ - СЗ.

В районах с холодным и умеренным климатом жилые здания ориентируют меридионально и диагонально в любом направлении, в районах с теплым и жарким климатом — широтно и диагонально по направлению ЮВ - СЗ. По сути, спроектированные здания с определённой ориентацией должны быть спроектированы на местности согласно типу ориентации.

Диагональная ориентация создаёт хорошую инсоляцию в южных районах и может использоваться при односторонней ориентации комнат. Не допускается ориентация на северный сектор горизонта от 50 град до 310 град в 1-2комнатных квартирах односторонней ориентации и более 2-х комнат в 3-4-х комнатных квартирах. В южных районах (особенно южнее 57 параллели) для исключения нагрева помещения не допускается ориентация жилых комнат односторонней ориентации квартир.

В настоящее время оценка инсоляционного режима также производится с применением компьютерной технологии. В практике проектирования используется программа «Ситис Солярис» для расчета инсоляции и КЕО.

5.2 Инсоляция территорий застройки

Детские, спортивные, оздоровительные и другие аналогичные площадки по требованиям СанПиН должны быть обеспечены прямым солнечным светом нормативной продолжительности (табл. 5.2.1).

Таблица 5.2.1

Нормируемая совокупность продолжительности инсоляции на территории жилой застройки

Нормируемые помещения	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 школинтернатов, зоны отдыха ЛПО стационарного типа (на 50% площади участка независимо от географической широты)	Северная зона (севернее 58° с.ш.)	2,5 ч, в том числе не менее 1 часа для одного из периодов в случае прерывистой инсоляции	22 апреля - 22 августа
	Центральная зона (58° с.ш. - 48° с.ш.)	2,5 ч, в том числе не менее 1 часа для одного из периодов в случае прерывистой инсоляции	
	Южная зона (южнее 48° с.ш.)	2,5 ч, в том числе не менее 1 часа для одного из периодов в случае прерывистой инсоляции	22 февраля - 22 октября

Для проектирования, обеспечения и оценки нормативной продолжительности инсоляции указанных площадок выполняется анализ проектных предложений по затенению территории застройки путём построения теней от зданий в каждый час светового дня и, при необходимости, внесения изменений в проектные решения.

Анализ проектных предложений включает в себя:

- построение конверта теней от здания (зданий);
- определение продолжительности облучения точки на территории, находящейся вблизи здания (группы зданий);

– определение свободной территории вокруг существующего здания с целью сохранения в нём нормативной продолжительности инсоляции, при размещении в застройке нового объекта строительства (определение, так называемой, «гарантийно-инсоляционной зоны»).

5.3 Определение продолжительности инсоляции точки на территории застройки с использованием инсографика

Под словами «точка на территории» будем понимать множество расчётных точек, расположенных на площадках различного назначения, анализ продолжительности инсоляции которых позволит установить процент территории площадки инсолируемый в течение светового дня. Изменяя конфигурацию застройки, расстояние между объектами или высоту зданий можно регулировать площадь инсоляции и обеспечивать нормативную инсоляцию исследуемой площадки: не менее половины площади, не менее 2,5 часов в день.

Конверт теней от здания (зданий) выполняется с использованием инсографика. Для этого инсографик разворачивают точкой О к югу, а ось инсографика ориентируют по направлению север-юг. Точку О инсографика совмещают с северным углом здания и вдоль направления солнечных лучей в каждый час суток строят тени от здания. При построении конверта теней вершины теней от здания высотой Н, м заканчиваются на дуге вершин теней той же высоты, рисунок 5.3.1. При этом границы теней от здания направлены либо параллельно солнечным лучам, либо параллельно граням здания. Анализ конверта теней позволяет оценить общую картину затенения – облучения придомовой территории и установить зоны с требуемой облученностью в течение дня для размещения детских, спортивных или других аналогичных площадок.

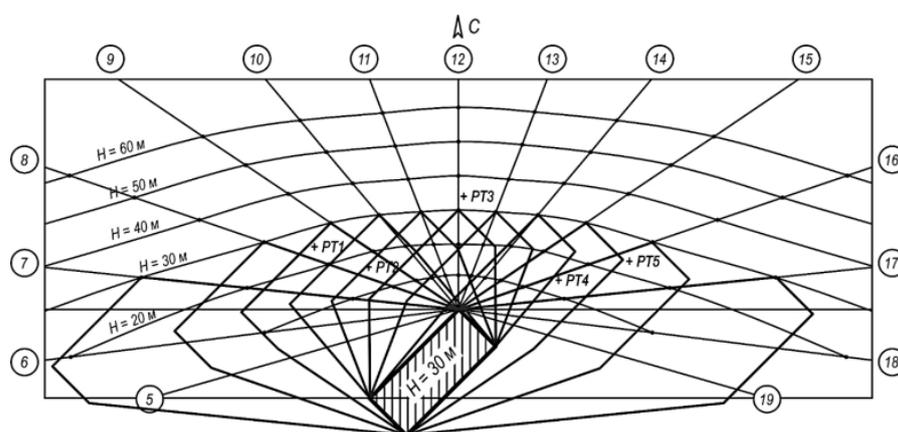


Рис. 5.3.1 Конверт теней от здания

В настоящее время для определения продолжительности инсоляции и уровня естественной освещенности применяются ряд компьютерные программы расчета.

Применение компьютерных программ расчета значительно облегчит оценку инсоляции помещений. В настоящее время известна только одна опубликованная программа РаИн 2013.

Программа «РаИн 2013» предусматривает варьирование конструктивными параметрами здания и светопроема, типом стеклопакетов, ориентацией светопроема, интенсивностью УФ радиации по часам суток и продолжительностью облучения. Итогом расчета является доза УФ радиации в воздухе помещения и на его поверхностях.

Программа «СИТИС: Солярис-Моделлер 10.00» - программа, предназначенная для выполнения расчета продолжительности инсоляции, уровня естественной освещенности, проверки выполнения рассчитанных значений нормативным требованиям и анализа затемняющих расчетную точку объектов. Светотехническая модель импортируется из цифровых информационных моделей в открытом формате VimML, создаваемых в программах BIM-моделирования. Программа может использоваться для просмотра и экспертной оценки светотехнических моделей в составе информационных моделей объектов строительства, и выполненных светотехнических расчетов.

Раздел 4. Инсоляция помещений и территорий. Солнцезащитные устройства.

Лекция 6. Общие сведения об солнцезащитных устройств.

6.1 Типы солнцезащитных устройств

Ведущее требование к современным объектам заключается в создании высокого уровня комфорта пребывающих людей. Сюда входит поддержание оптимального температурного режима и требуемой освещенности. Во избежание перегрева объекта и дискомфорта сегодня используют различные солнцезащитные устройства зданий. Все они отличаются по своему назначению, дизайну и техническим параметрам.

Солнцезащитные устройства необходимы для защиты от перегрева помещений в летние месяцы, для ограничения прямой и отраженной блескости, а также для распределения световых потоков, проходящих в помещении через световые проемы.

Как показывает практика, солнцезащитные средства применяются в основном как средство формальной выразительности здания, без учета его ориентации по сторонам горизонта, природных и климатических условий.

Многие здания проектируются вообще без учета инсоляции. В значительной степени это объясняется негативным отношением к солнцезащите как фактору, удорожающему строительство.

Иногда проектировщики весь светопроем заполняют солнцезащитными устройствами, что ограничивает связь с внешним миром и не пропускает благотворный спектр солнечной радиации, что значительно снижают освещенность при пасмурном небе и препятствуют аэрации помещений.

Наиболее негативным является увлечение большими площадями остекления, что идет в противовес уменьшению теплопотерь и экономии энергетических ресурсов. Это связано, с одной стороны, с несовершенством норм естественного освещения, которые устанавливают определенные значения КЕО при боковом освещении вне зависимости от глубины

помещения и с другой стороны - модой на «здания с большими площадями остекления», что порождает сложнейшую и дорогостоящую проблему солнцезащиты.

Оптимальное количество солнцезащитных устройств рационально не только в гигиеническом, функциональном, эстетическом, но и в экономическом отношении, так как единовременные затраты на их установку окупаются за счет снижения расходов на вентиляцию и искусственное охлаждение воздуха, повышения производительности труда и снижения травматизма.

Солнцезащитные устройства не должны ухудшать условия воздухообмена в помещениях, они должны быть легкими, удобными и надежными в эксплуатации, экономичными и не создавать затенение светопроемов в зимний период времени.

Солнцезащитные устройства в основном подразделяются на три основные группы:

- архитектурно-планировочные, включающие ориентацию и взаиморасположение зданий, конфигурацию зданий в плане, озеленение и обводнение территорий;

- конструктивные, представляющие собой затеняющие элементы зданий (козырьки, экраны и т.п.), солнцезащитные и светорегулирующие устройства, солнцезащитные изделия из стекла и пленок, а также солнцезащитные устройства для территорий;

- технические, включающие кондиционирование воздуха, принудительную вентиляцию, и водоразбрызгивающие установки.

Выбор солнцезащитных устройств должен производиться в определенной последовательности. Сначала рассматривают возможности только архитектурно-планировочных средств и если эти средства не позволяют решить задачу, то выбирают стационарные конструктивные устройства. Когда помещения требуют высокого светового комфорта и необходимой защиты от перегрева в течение всего светового периода суток и

года, то используют регулируемые солнцезащитные устройства в совокупности с теплозащитными стеклами. При особых требованиях к световому комфорту и к тепловой защите помещений применяют совокупность солнцезащитных изделий, теплозащитных стекол и технических средств регулирования микроклимата (кондиционирование воздуха, радиационное охлаждение и т.д.).

В настоящее время наиболее распространенными являются конструктивные солнцезащитные устройства (экраны, лоджии, козырьки и др.), монолитно связанные с зданием, которые в летний период превращаются из затеняющих средств в дополнительные источники перегрева помещений.

Солнцезащитные устройства подразделяются на постоянные, являющиеся элементами зданий, и временные, устраиваемые в процессе эксплуатации зданий, а по конфигурации – на горизонтальные, вертикальные, наклонные и комбинированные

Требования по ограничению избыточного теплового воздействия инсоляции распространяются на жилые комнаты отдельных квартир или комнаты коммунальных квартир, общежитий ДДУ, учебные помещения общеобразовательных школ, школ-интернатов, ПТУ и других средних специальных учебных заведений, ЛПУ, санаторно-оздоровительных и учреждений социального обеспечения, имеющих юго-западную и западную ориентации светопроемов.

На территории жилой застройки 3-го и 4-го климатических районов защита от перегрева должна быть предусмотрена не менее чем для половины игровых площадок, мест размещения игровых и спортивных снарядов и устройств, мест отдыха населения.

Ограничение избыточного теплового воздействия инсоляции помещений и территорий в жаркое время года должно обеспечиваться соответствующей планировкой и ориентацией зданий, благоустройством территорий, а при невозможности обеспечения солнцезащиты помещений ориентацией необходимо предусматривать конструктивные и технические

средства солнцезащиты (кондиционирование, внутренние системы охлаждения, жалюзи и т.д.). Ограничение теплового воздействия инсоляции территорий должно обеспечиваться затенением от зданий, специальными затеняющими устройствами и рациональным озеленением.

Меры по ограничению избыточного теплового воздействия инсоляции не должны приводить к нарушению норм естественного освещения помещений.

Защита от солнца - одна из главных задач, которая должна быть решена еще на стадии проектирования здания, позволяющая внести разнообразие в его архитектуру. Важно удовлетворить потребность человека в дневном свете и защитить его жилище от перегрева в летний перегревный период (рис. 6.1.1).

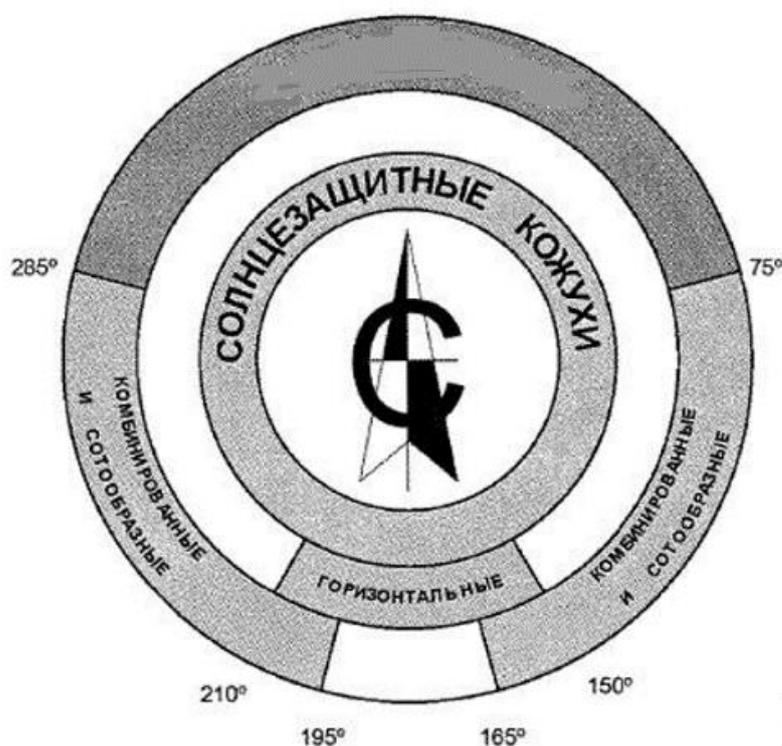


Рис 6.1.1. Рекомендации по применению СЗУ при различных ориентациях фасадов

Проектирование солнцезащитных устройств (СЗУ) производится согласно требованиям СП 370.1325800.2017 “Устройства солнцезащитные зданий”, пользуясь соответствующей для решения задач солнечной картой для конкретного района строительства (рис. 6.1.2).

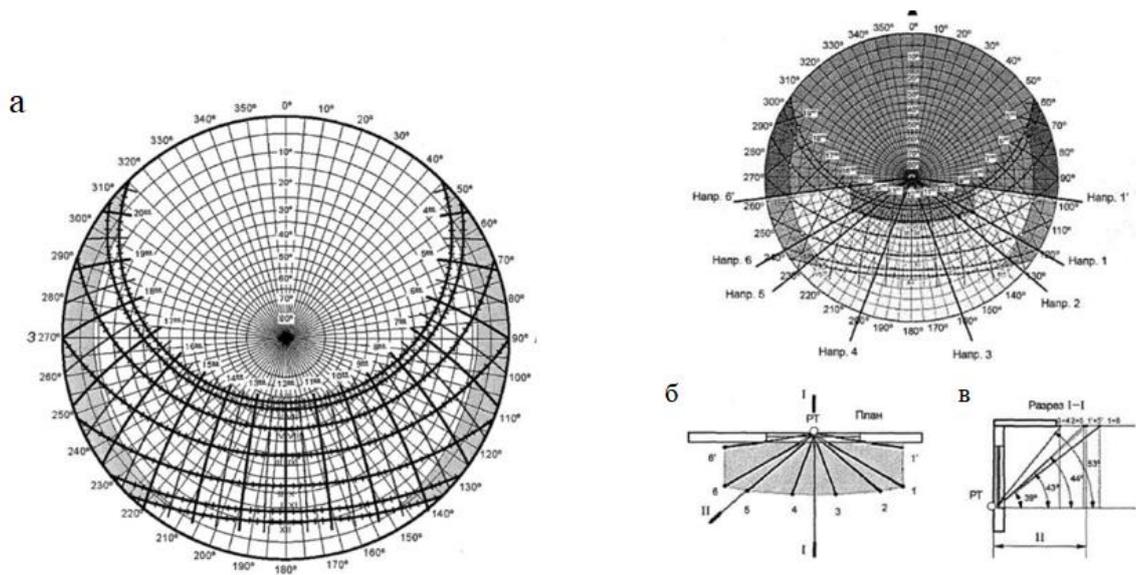


Рис. 6.1.2. Солнечная карта для 52° с.ш., решение задач по формообразованию козырька: а - солнечная карта; б - план козырька; в - разрез козырька

СЗУ предназначены для защиты помещения от избытка теплоступления в летний жаркий период эксплуатации, они также выполняют функцию декорации, повышающей эстетическое решение фасадов зданий (рис. 6.1.3), 6.1.4, 6.1.5).

Классификация солнцезащитных устройств:

- по назначению: теплозащитные, светорегулирующие, теплосветорегулирующие;
- по месторасположению относительно остекления: наружные, внутренние, межстекольные;
- по степени подвижности затеняющей плоскости: стационарные и регулируемые;
- по объемно-пространственной структуре: горизонтальные, вертикальные, ячеистые, экранные.

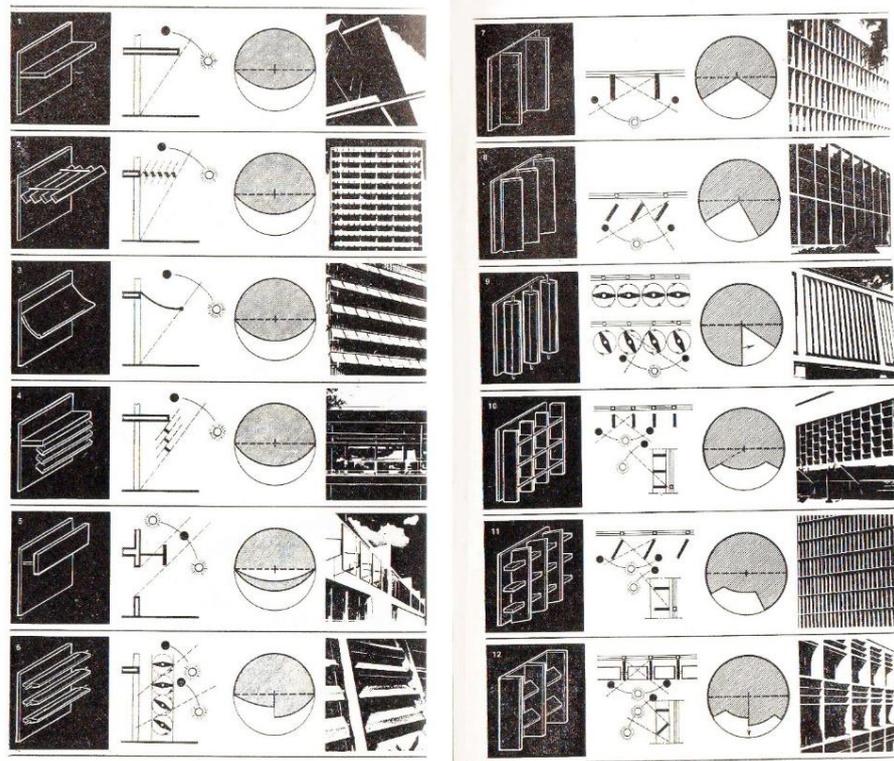


Рис. 6.1.3 Типы СЗУ, степень защиты окон

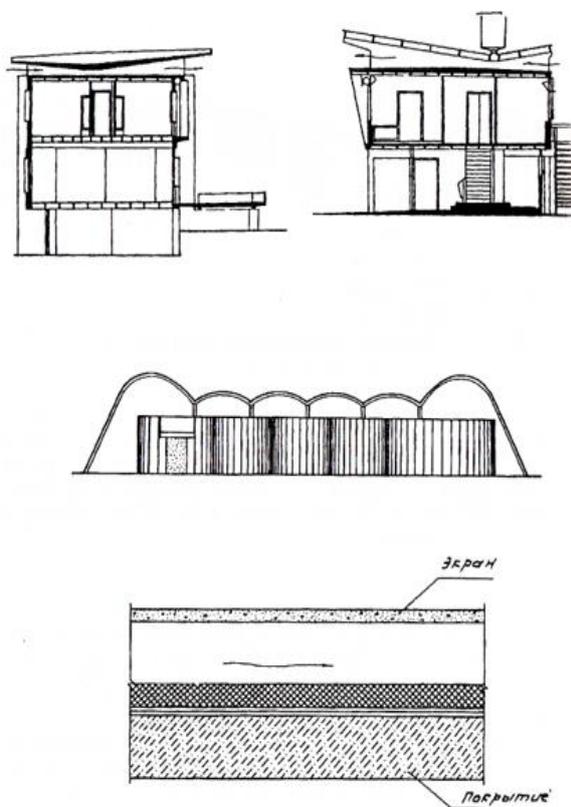


Рис. 6.1.4. Зарубежный опыт конструкции солнцезащитные устройств крыши.
Загородный дом в Сан-Жан-Де-Мон во Франции, Руиба в Алжире

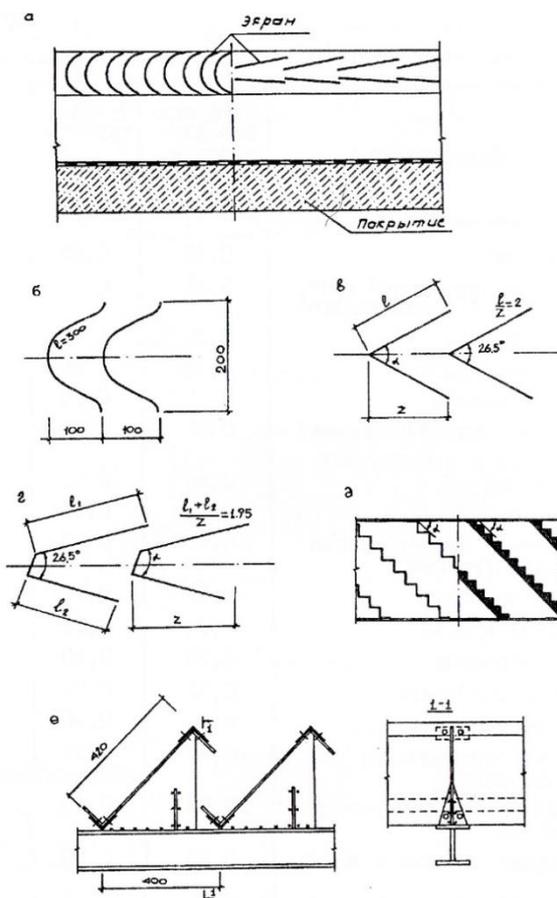


Рис. 6.1.5 Варианты солнцезащитных экранов типа жалюзи для крыши

а - крыша с солнцезащитным экраном типа «жалюзи», б – из параболических пластин, в – из плоских элементов (под углом), г – из двойного ряда плоских пластин под углом друг к другу, д – жалюзи с двухсторонним и односторонним зубчатым профилем

Выбор солнцезащитных устройств зависит от ориентации и назначения затеняемых помещений, траектории движения солнца в данном районе, местных климатических условий (табл. 6.1.1, 6.1.2).

Таблица 6.1.1

Сравнительный характер разных видов солнцезащитных устройств

Вид солнцезащитного устройства	Недостатки	Преимущества
Внутренние	Являются не сильной защитой от попадания солнечной радиации, поэтому во внутрь	Не вызывают трудностей при монтаже и дальнейшем использовании со временем.

	посещения попадает значительное число тепла.	
Внешние	Природный характер пагубно влияет на данный тип солнцезащитного устройства, для регулировки требуются отдельные электронные и механические приборы.	Являются более результативными в плане солнцезащиты от перегрева внутреннего помещения за счёт природного вентиляции.
Межстекольные	Могут быть установлены только в специально отведённых местах заданных при проектировании	Имеет преимущество первых двух видов

Таблица 6.1.2

Виды и назначение СЗУ

Наименование СЗУ	Применяемая эффективность	Область применения	Материал
1 – Архитектурно-планировочные системы			
Расположение здания на местности и относительное расположение друг от друга	Защита от перегрева и светового дискомфорта	Любые здания и сооружения	
Устройство зелёных насаждений и обводнение территорий	Улучшение окружающего микроклимата	Скверы, улицы, придомовая территория	Газоны, кустарники, искусственные водоёмы
Использование защитного покрытия из нетеплоёмкого материала	Улучшение окружающего микроклимата	Скверы, улицы, придомовая территория	Песок, галька, покрытия с встроенным дренажем
2 – Конструктивные системы			

• Затеняющие элементы зданий			
Вид ограждающих систем стен	Защита от перегрева и светового дискомфорта	Здания общественного и промышленного назначения	
• Солнцезащитные и светорегулирующие устройства			
Стационарные наружные	Защита от перегрева и светового дискомфорта	Здания общественного и промышленного назначения	Бетон
Регулируемые наружные	Защита от перегрева и светового дискомфорта	Здания общественного и промышленного назначения	Пластмасса
Регулируемые межстекольные	Защита от перегрева и светового дискомфорта	Здания жилого, общественного и промышленного назначения	Пластмасса, алюминий
Регулируемые внутренние	Защита от перегрева и светового дискомфорта	Любые здания	Ткань
3 – Технические устройства			
Кондиционирование воздуха	Защита от перегрева и светового дискомфорта	Здания жилого, общественного и промышленного назначения	
Водоналивные крыши-ванны	Защита от перегрева и светового дискомфорта	Здания общественного и промышленного назначения	

Водоразбрызгивающие системы	Защита от перегрева и светового дискомфорта	Здания общественного и промышленного назначения	
-----------------------------	---	---	--

Солнцезащитные устройства позволяют снизить отопление в зимний период и кондиционирование в летний период за счёт:

- снижения теплопоступлений в помещения в тёплый период года (пассивное охлаждение);
- снижения теплопотерь и дополнительные теплопоступления в помещения в холодный период года (пассивный солнечный обогрев);
- повышения зрительного комфорта (устранение слепящей яркости) и обеспечение визуального контакта с внешней средой в течение всего года.

Данные советы общеприняты и для любого климатического региона Российской Федерации имеют все шансы быть принятыми. Но придерживаясь данным советам возможно исключить возможность появления стандартных ошибок при конструировании СЗУ:

- жалюзи с вертикальными ламелями не могут использоваться на южных фасадах зданий;
- жалюзи с горизонтальными ламелями – на северных;
- все фасады здания не могут быть с однотипными СЗУ и т.п.

Анализ конструкций СЗУ показывает, что:

- горизонтальные СЗУ наиболее эффективны при южной ориентации окон;
- вертикальные СЗУ целесообразно применять при ориентации окон на север, северо-восток и северо – запад;
- комбинированные СЗУ эффективны при юго-западной и юго-восточной ориентациях;
- СЗУ общего положения целесообразны при юго-западной, западной и юго-восточной ориентации;

– солнцезащитные 3D структурные покрытия универсальны – для любой ориентации фасада.

6.2 Здания с кинетическими фасадами

Для поддержания комфортных условий внутри помещений современные здания должны уметь быстро реагировать на изменения наружного климата и индивидуальные требования пользователей. Этому способствует использование кинетической архитектуры. Рассматриваются некоторые инновационные системы, позволяющие адаптироваться к различным условиям и повышать энергоэффективность объекта.

Кинетические фасады могут принимать множество форм на протяжении многих лет. Часто они являются посредником между эстетикой и полезностью, выдвигая потрясающие визуальные эффекты наряду с защитой окружающей среды. Одним из наиболее цитируемых примеров такого посредничества является Башня «Аль-Бахар» архитекторов «Aedas» в Абу-Даби рис. 6.2.1. Зонообразные панели фасада открываются и закрываются в ответ на движение солнца, защищая тех, кто находится в здании, от жары и бликов, уменьшая потребность в кондиционировании воздуха и делая здание более устойчивым. Сами панели не только эстетически привлекательны по дизайну, но и вдохновлены традиционными исламскими системами затенения, уважающими культурное наследие.



Рис. 6.2.1 Башня «Аль-Бахар» в Абу-Дабби

Кинетические фасады используются также для поддержания температуры. Еще одним знаковым примером такого подхода является выставочный зал «Kiefer Technic» от «Ernst Giselbrecht + Partner», в котором представлены 112 больших металлических плиток. Люди, находящиеся в здании, могут контролировать эти условия изнутри здания, адаптируя фасад так, чтобы он точно соответствовал их предпочтениям (рис. 6.2.2).



Рис. 6.2.2 Выставочный зал «Kiefer Technik»

Раздел 5. Строительная и архитектурная акустика, защита от шума

Лекция 7. Строительная и архитектурная акустика, защита от шума.

Строительная акустика и защита от шума

Строительная акустика изучает источники шума, шумовые характеристики и их распространение в зданиях.

Шум - беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью временной и спектральной структуры.

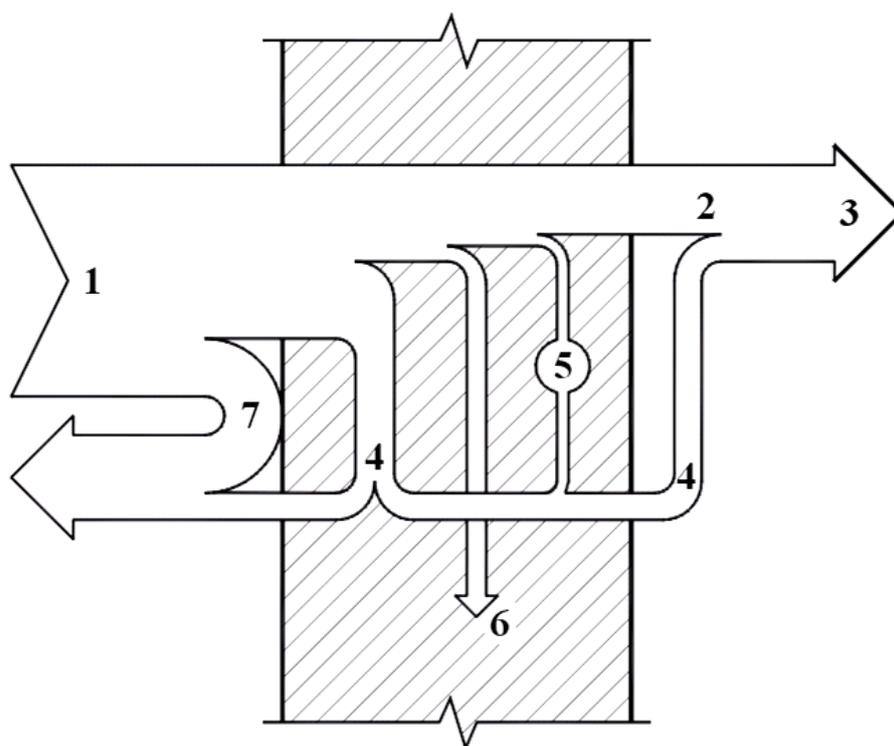
Строительная акустика рассматривает вопросы звукоизоляции помещений, т.е. защиту помещений от внешних шумов, и вопросы снижения шума в помещениях, в которых находится источник шума. Передача звука происходит по воздуху (воздушный шум), а также через строительные конструкции (структурный шум).

Со всех сторон человека окружают звуки. Слыша звук, человек может испытывать самые различные эмоции – радость, страх, беспокойство. Шум вызывает раздражение, затрудняет восприятие речи и музыки, в некоторых случаях является причиной глухоты и различных болезней.

Прикладная акустика состоит из двух частей – *акустика помещений и строительная акустика*.

7.1 Прохождение звука через ограждающие конструкции

Падающий на поверхность звук частично отражается, частично поглощается, частично проходит через перегородку (рис. 7.1.1).



*Рис. 7.1.1 Схема прохождения звука через ограждающую конструкцию:
 1 – падающий звук, 2 – звук, прошедший через щели и поры материала; 3 – суммарный звук, прошедший через конструкцию; 4 – звук, возникающий от колебания конструкции;
 5 – звуковая энергия, трансформирующаяся в тепловую; 6 – структурный шум; 7 – отраженный звук*

Всякий звук, проникающий в помещение называется шумом. С гигиенической точки зрения под шумом понимают звук, который мешает человеку в его деятельности и может вызвать нежелательные явления. Причины шума бывают внешние (городской транспорт, производственные процессы) и внутренние (люди, инженерное оборудование).

В помещениях различают прямой звук, идущий непосредственно от источника, и отраженный от поверхности. При многократных отражениях и суммировании энергии прямых и отраженных волн в помещении устанавливается звуковое поле с определенным уровнем звукового давления (I_p).

В зависимости от источника звука различают воздушный и ударный шумы. Воздушные шумы возникают и распространяются в воздухе (речь,

музыка). Ударные звуки возникают непосредственно в материале ограждения при механическом воздействии на него (ходьба, передвижение грузов).

Пути передачи шума от источника в помещение могут быть прямыми и косвенными. Косвенная передача шума образуется при колебании ограждающих конструкций, вызываемом ударным или воздушным звуком. Такой шум называется структурным. Он особенно заметен в строительных конструкциях, жестко связанных с вибрирующими механизмами.

Косвенные пути передачи звука зависят от многих причин, трудно поддающихся учету и расчету, создают дискомфортные условия во многих помещениях здания.

На рис. 7.1.2 показаны возможные пути передачи шума в здании

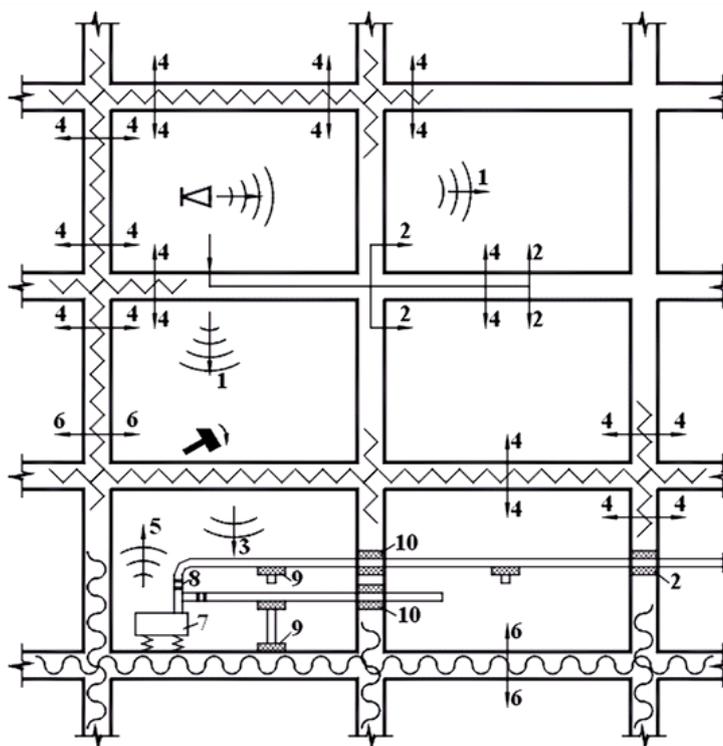


Рис. 7.1.2. Распространение шума в здании

7.2 Воздушный и ударные шумы

Современные гражданские здания оснащаются инженерным, санитарно-техническим и разнообразным бытовым механическим оборудованием, обеспечивающим комфортные условия труда, быта и отдыха трудящихся.

Причиной возникновения шума в зданиях являются как внутренние, так и внешние источники. Шум в зданиях распространяется по двум путям: через воздушные объемы и ограждения, разделяющие их (воздушная составляющая шума), по строительным конструкциям в виде звуковых вибраций (структурный шум). Воздушным шумом называется шум, который излучается источником, не связанным с конструкциями, вызывающим колебания воздуха данного помещения (громкоговоритель) (рис. 7.2.1). Структурным шумом называется шум, возбуждаемый ударами (вибрациями) источника в строительных конструкциях и излучаемого в воздух данного и смежных помещений (рис. 7.2.2)



Рис. 7.2.1 Механизм передачи воздушного шума

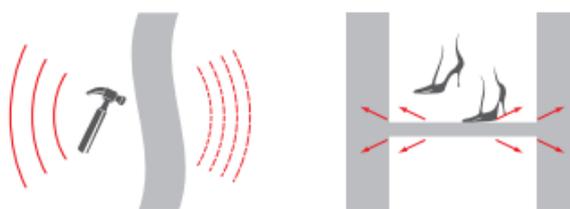


Рис. 7.2.2 Механизм передачи ударного шума

В зависимости от уровня и спектра шума различают несколько ступеней воздействия шума на человека;

I – шум с уровнями выше 120-140 дБ способен вызвать механическое повреждение органов слуха;

II – шум с уровнями 100-120 дБ на низких частотах и 80-90 дБ на средних и высоких частотах может вызвать необратимые изменения в органах слуха человека;

III – шум более низких уровней оказывает вредное воздействие на нервную систему человека, особенно занятого умственным трудом.

В соответствии с этими ступенями воздействия шума на человека производят его санитарное нормирование. При установлении предельно допустимых уровней шума в большинстве случаев исходят не из комфортных, а терпимых условий, при которых вредное действие шума на человека проявляется незначительно.

Мероприятия по уменьшению шума разрабатывают на основании акустических расчётов. При акустических расчётах решают такие задачи, как выявление источников шума, определение их шумовых характеристик, путей распространения шума, а также ожидаемых уровней звукового давления в расчётных точках помещений, установление величин требуемого снижения уровня звукового давления в этих точках, выбор средств снижения уровня шума и др.

По отношению к ограждающим конструкциям источники шума подразделяются на внешние и внутренние, находящиеся внутри зданий.

Основными источниками внешнего шума для зданий являются транспортные потоки на улицах и дорогах, железнодорожный, водный и воздушный транспорт, промышленные и энергетические предприятия и их отдельные установки, а также внутриквартальные источники шума (трансформаторная подстанция, центральные тепловые пункты, спортивные и игровые площадки и др.)

Источниками внутреннего шума в зданиях различного назначения являются технологическое и инженерное оборудование (лифты, вентиляторы, насосы, громкий разговор, игры на музыкальных инструментах, работа станков и оборудования и др.).

Источники шума можно условно разделить на отдельные и комплексные, состоящие из ряда отдельных источников.

Проникающие в помещения жилых, общественных и промышленных зданий шумы от различных источников не должны превышать нормативных величин, установленных в сводах правил, стандартах или санитарных нормах в зависимости от функционального назначения помещений.

Нормируемыми параметрами постоянного шума являются уровни звукового давления L , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц.

Шумы, распространяющиеся в зданиях, подразделяются на воздушные и ударные (корпусные).

Для борьбы с шумом используются следующие методы: борьба с шумом в источнике, звукопоглощение и звукоизоляция.

7.3 Оценка звукоизоляции ограждения

Звукоизоляцией называется ослабление шума, обеспечиваемое ограждением.

Меры достижения звукоизоляции:

достаточные звукоизолирующие качества ограждения;

объемно – планировочные решения;

конструктивные решения;

размещение оборудования.

В настоящем примере расчета рассматриваются вопросы нормирования и расчета звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий. Расчет стен и перегородок производится по показателю звукоизоляции от воздушного шума I_B , а междуэтажных перекрытий – от воздушного I_B и ударного I_Y шума СП 51.13330.2011 (СНиП 23-03-03) «Защита от шума».

Нормируемым параметром звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий является индекс изоляции воздушного шума ограждающей конструкцией I_B в дБ.

Индекс изоляции воздушного шума I_B в дБ ограждающей конструкцией с известной (рассчитанной или измеренной) частотной характеристикой изоляции воздушного шума определяется по формуле

$$I_B = 50 + \Delta_B$$

где Δ_B - поправка, определяемая путем сравнения (рассчитанной или измеренной) частотной характеристики изоляции воздушного шума ограждающей конструкцией с нормативной частотной характеристикой изоляции воздушного шума (рис.7.3.1).



Рис. 7.3.1. Нормативная частотная характеристика изоляции воздушного шума ограждающей конструкции

Для построения кривой расчетной частотной характеристики изоляции воздушного шума определяется поверхностная плотность конструкции P_{Π} , кг/м²:

$$P_{\Pi} = \gamma \cdot h$$

где γ – плотность материала однослойного ограждения, кг/м³; h – толщина ограждения, м.

По графикам (рис. 7.3.2 а, б) определяются изоляция воздушного шума R_B , и частота f координаты точки В.

На координатной сетке (рис. 7.3.3) наносится точка В. Из точки В влево откладывается прямая ВА, вправо проводится прямая ВС с наклоном 7,5 дБ на октаву. При этом изоляция воздушного шума R_C (ордината точки С) равна 60 дБ.

На координатную сетку с расчетной частотной характеристикой изоляции от воздушного шума наносится кривая с нормативными показателями (см. рис. 43).

Для вычисления поправки Δ_B в дБ необходимо на график с нормативной частотной характеристикой изоляции воздушного шума (рис. 7.3.4) нанести рассчитанную частотную характеристику изоляции

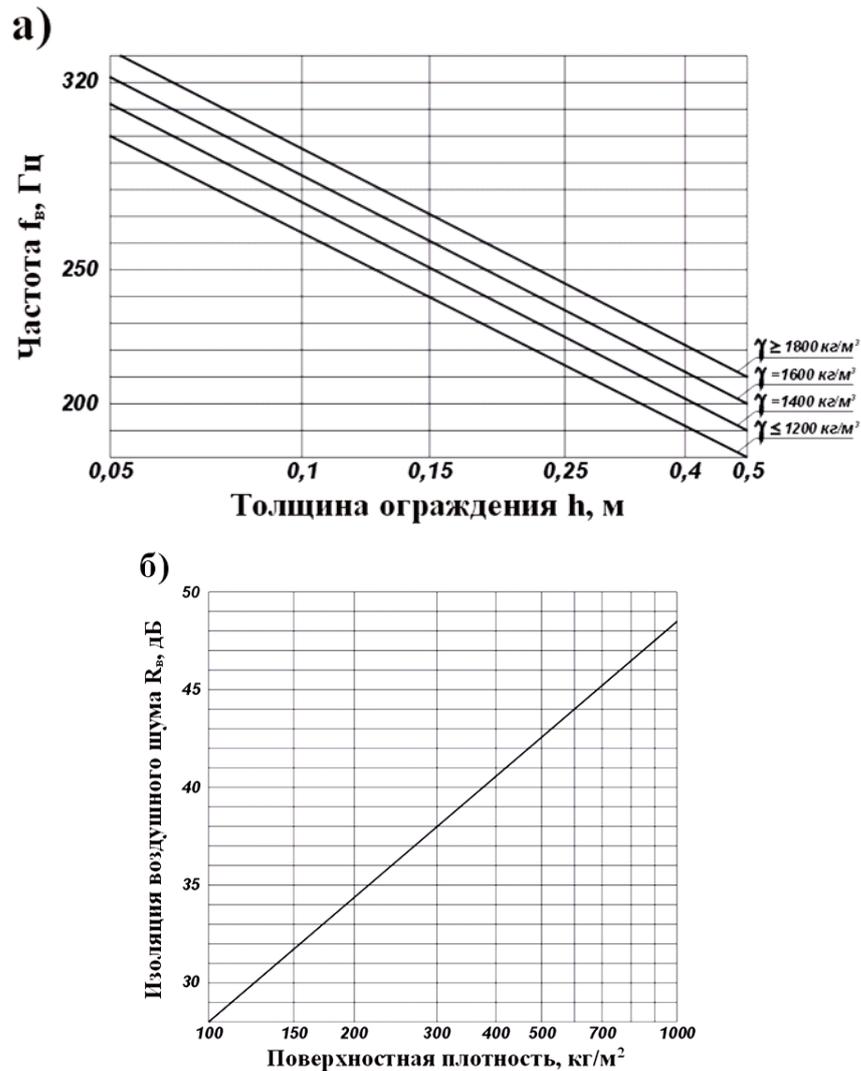


Рис. 7.3.2 Графики для определения координат точки В.

Плотность γ в $\text{кг}/\text{м}^3$; 1- $\gamma \geq 1800 \text{ кг}/\text{м}^3$; 2- $\gamma = 1600 \text{ кг}/\text{м}^3$;

3 - $\gamma = 1400 \text{ кг}/\text{м}^3$; 4- $\gamma = 1200 \text{ кг}/\text{м}^3$

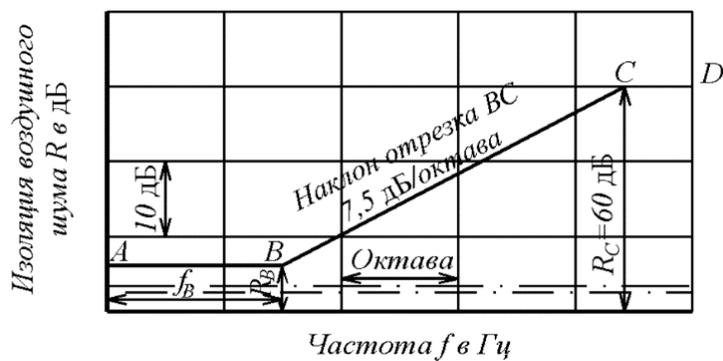


Рис. 7.3.3 Частотная характеристика изоляции воздушного шума однослойным плоским ограждением

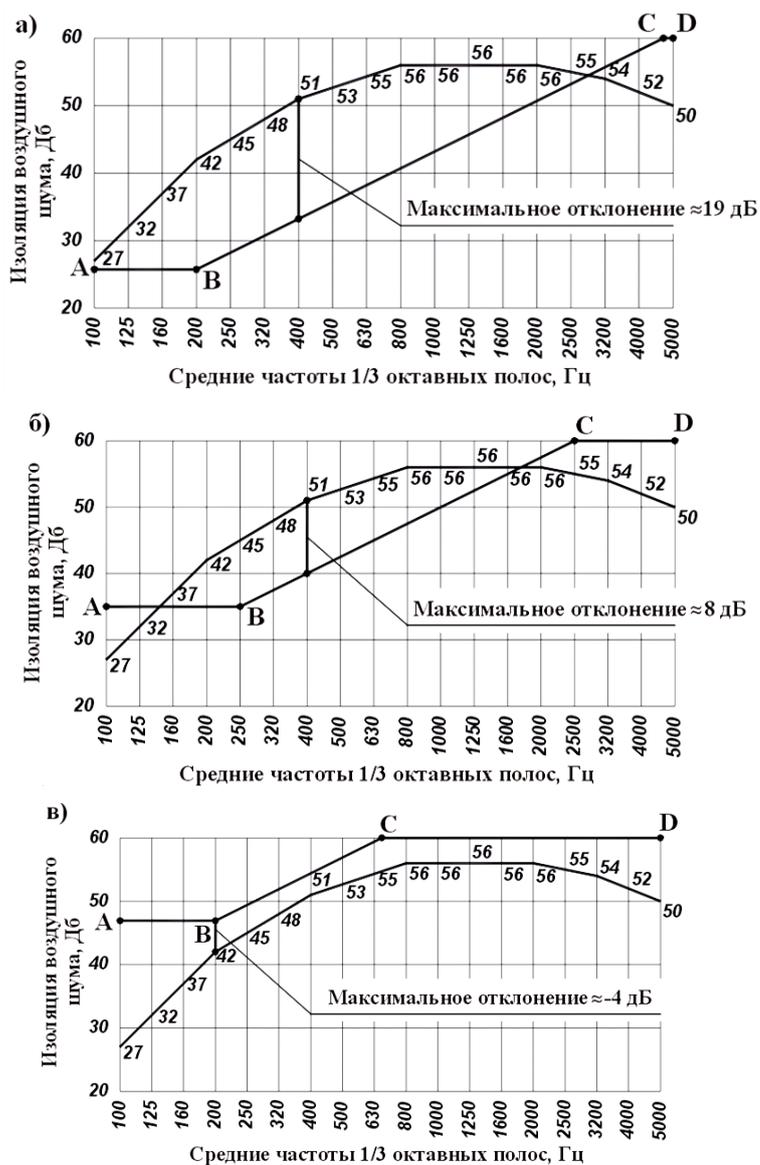


Рис. 7.3.4 Пример частотной характеристики изоляции воздушного шума перегородки между отдельными комнатами

воздушного шума ограждающей конструкции и определить среднее неблагоприятное отклонение нанесенной частотной характеристики от нормативной частотной характеристики. Неблагоприятными отклонениями считаются отклонения вниз от нормативной частотной характеристики. Среднее неблагоприятное отклонение принимается равным 1/18 суммы неблагоприятных отклонений.

Если среднее неблагоприятное отклонение близко, но не превышает 2 дБ, а максимальное неблагоприятное отклонение не превышает 8 дБ, то поправка $\Delta_B = 0$.

Если среднее неблагоприятное отклонение превышает 2 дБ или максимальное неблагоприятное отклонение превышает 8 дБ, то нормативная частотная характеристика смещается вниз (на целое число децибел) так, чтобы среднее и максимальное неблагоприятное отклонения от смещенной нормативной частотной характеристики не превышали указанные величины. В этом случае поправка Δ_B отрицательна и равна величине смещения нормативной кривой.

Если среднее неблагоприятное отклонение значительно меньше 2 дБ или неблагоприятные отклонения отсутствуют, нормативная частотная характеристика смещается вверх (на целое число децибел) так, чтобы среднее неблагоприятное отклонение от смещенной нормативной частотной характеристики приближалось, но не превышало 2 дБ, а максимальное неблагоприятное отклонение не превышало 8 дБ.

В этом случае поправка Δ_B положительна и равна величине смещения нормативной частотной характеристики. Результаты расчетов рекомендуется представлять в табличной форме.

Также производится расчет звукоизоляции конструкций от ударного шума.

При проектировании ограждающих конструкций зданий необходимо принимать значения их индекса изоляции воздушного шума не менее, чем нормируемое значение по СП 51.13330.2011 Защита от шума. Значения

нормативных индексов изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями жилых к общественных зданий приведены в СП.

Объемно-планировочные методы защиты от шума следующие:

- размещение с наименее шумной стороны наиболее уязвимых с точки зрения шума помещений (детская, спальня, кабинет);
- группирование шумовыводящих помещений (лифтовые шахты, вентиляционные камеры и т.п.);
- по возможности вынос источников шума за пределы здания;
- устройство экранов между шумовыделяющими помещениями;
- вынос источников шума за пределы зданий;
- рациональные габариты помещения (чем меньше и ближе к квадрату, тем меньше шум).

К техническим мероприятиям звукоизоляции относятся защита от воздушного шума и уменьшение изгибных колебаний.

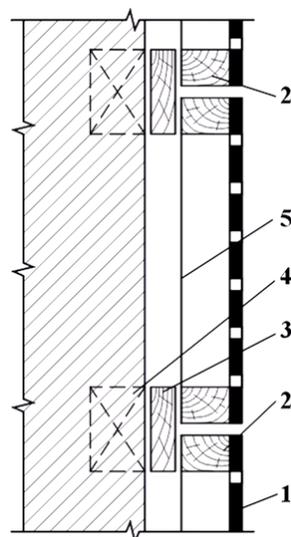
Для достижения необходимой звукоизоляции от возможного шума, следует не допускать в ограждении щелей, отверстий и неплотностей сопряжений.

Уменьшить изгибные колебания возможно:

- увеличением толщины стены $\delta_{ст.}$;
- повышением массы ограждения;
- подбором материала ограждения.

Плотный материал отражает от своей поверхности до 99 %.

При применении многослойных конструкций, состоящих из двух слоев (стенок), разделенных воздушной прослойкой, звукоизолирующая способность отдельных конструкций лучше, если стенки имеют различную толщину или выполнены из разных по массе материалов (рис. 7.3.5).



*Рис. 7.3.5 Слоистая (акустически неоднородная) звукоизоляционная ограждающая конструкция:
1 - перфорированный лист, 2 - каркас, 3 - рейки, 4 - деревянные пробки, 5 - ткань*

В процессе проектирования зданий и сооружений важно учитывать следующие рекомендации по конструированию ограждений, обеспечивающих нормативную звукоизоляцию.

Элементы ограждений рекомендуется проектировать из материалов с плотной структурой, не имеющей сквозных пор. Ограждения, выполненные из материалов со сквозной пористостью, должны иметь наружные слои из плотного материала, бетона или раствора.

Внутренние стены и перегородки из кирпича, керамических и шлакобетонных блоков рекомендуется проектировать с заполнением швов на всю толщину (без пустошовки) и оштукатуренными с двух сторон безусадочным раствором.

Пол на звукоизоляционном слое (прокладках) не должен иметь жестких связей (звуковых мостиков) с несущей частью перекрытия, стенами и другими конструкциями здания, т. е. должен быть «плавающим». Деревянный пол или плавающее бетонное основание пола (стяжка) должны быть отделены по контуру от стен и других конструкций здания зазорами шириной 1-2 см, заполняемыми звукоизоляционным материалом или изделием, например, мягкой древесно-волокнистой плитой, погонажными изделиями из вспученного полиэтилена и т.п.

В конструкциях перекрытий, не имеющих запаса звукоизоляции, не рекомендуется применять покрытия полов из линолеума на волокнистой подоснове, снижающих изоляцию воздушного шума на 1 дБ.

В конструкциях каркасно-обшивных перегородок следует предусматривать точечное крепление листов к каркасу с шагом не менее 0,3 м. Если применяют два слоя листов обшивки с одной стороны каркаса, то они не должны склеиваться между собой. Шаг стоек каркаса и расстояние между его горизонтальными элементами рекомендуется принимать не менее 0,6 м.

Стыки между внутренними ограждающими конструкциями, а также между ними и другими примыкающими конструкциями должны быть запроектированы таким образом, чтобы в них при строительстве отсутствовали и в процессе эксплуатации здания не возникали сквозные трещины, щели и неплотности, которые резко снижают звукоизоляцию ограждений.

Уязвимыми частями ограждающих конструкций зданий с точки зрения звукоизоляции являются окна и двери. В этой связи при проектировании дверей, окон и ворот следует обращать особое внимание на принятие мер по повышению их изоляции от воздушного шума.

Повышение изоляции воздушного шума дверями и воротами может быть достигнуто за счет увеличения поверхностной плотности их полотна, за счет плотной пригонки полотна к коробке, за счет устранения щели между дверью (воротами) и полом при помощи порога с уплотняющими прокладками или фартука из прорезиненной ткани или резины, а также за счет применения уплотняющих прокладок в притворах дверей (ворот).

В настоящее время наиболее целесообразным является применение готовых конструкций шумозащитных окон, снабженных вентиляционными элементами с глушителями шума. Подбор шумозащитного окна должен проводиться на основе акустического расчета требуемого снижения внешнего шума.

7.4 Защита зданий от городских транспортных шумов

Основными источниками внешнего шума являются транспорт, а также некоторые виды производства и строительство. В городах, на магистралях, на станциях В портах, на аэродромах внешней шум создают главным образом транспортные средства.

Установленная интенсивность шума (в дБА) от транспортных средств составляет: для легкового автомобиля 70-80, автобуса 80-85, грузового автомобиля 80-90, мотоцикла 90-95, моторной лодки 90-95, поезда метро 90-95, обычного поезда 95 -100, самолета на взлете 110-130,

Основной принцип разработки мероприятий по защите от транспортного шума заключается в функциональном зонировании придорожных территорий с учетом допустимых уровней звука в дневной или ночной периоды времени.

Величина эквивалентного уровня транспортного шума, образующегося на эксплуатируемой дороге, зависит от следующих факторов:

- транспортные факторы: количество транспортных средств (интенсивность движения), состав движения, эксплуатационное состояние транспортных средств, объем и характер груза, применение звуковых сигналов;

- дорожные факторы: плотность транспортного потока, продольный профиль (подъемы, спуски), наличие и тип пересечений и примыканий, вид покрытия и шероховатость, ровность покрытия, поперечный профиль и наличие насыпей, выемок, число полос движения, наличие разделительной полосы, наличие остановочных пунктов для транспорта;

- природно-климатические факторы: атмосферное давление, влажность воздуха, температура воздуха, скорость и направление ветра, турбулентность воздушных потоков, осадки.

Допустимые значения уровней шума на территориях, примыкающих к жилым зданиям, зданиям общественного назначения (лечебные, учебные, гостиницы и т.п.) в дневной (с 7-00 до 23-00 ч) и ночной (с 23-00 до 7-00 ч) периоды времени регламентируются санитарными нормами СН

2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

Мероприятия по защите прилегающей территории от транспортного шума определяются категорией автомобильной дороги, интенсивностью движения, характером территории и ее застройки (табл. 7.4.1).

Таблица 7.4.1

Мероприятия по шумозащите прилегающей территории от транспортного шума

Типы (категория) дорог	Характеристики Застройки прилегающей территории	Мероприятия по шумозащите прилегающей территории от транспортного шума
Загородные автомобильные дороги	Отдельные малоэтажные здания и строения	<ul style="list-style-type: none"> - создание буферных зон; - трассирование с использованием существующих форм рельефа; - устройство выемок мелкого заложения традиционного очертания с пологими откосами, не круче 1:3 – 1:4; - устройство «шумозащитных выемок»: выемок мелкого заложения до 1(2) м с крутым внешним откосом со стороны защищаем территории; - шумозащитные валы; - шумозащитные экраны малой высоты
Пригородные участки автомобильных дорог: подходы к крупным городам и в зоне не больших населенных	Малоэтажная застройка средней плотности	<ul style="list-style-type: none"> - устройство выемок; - устройство «шумозащитных выемок»; - устройство выемок с подпорной стенкой; - шумозащитные валы; - шумозащитные экраны малой и средней высоты; - комбинация указанных выше мероприятий; - в случае автомобильных дорог с высокой

пунктов		<p>интенсивностью движения частичная или полная изоляция проезжей части (тоннели, галереи);</p> <p>- комбинация указанных выше мероприятий</p>
Городские улицы и дороги	Плотная многоэтажная застройка	<p>- организация движения грузовых автомобилей вне селитебных территорий (выделение городских дорог грузового движения);</p> <p>- полное или частичное (по времени) ограничение или запрещение движения грузовых автомобилей;</p> <p>- организация движения ограничение скорости, до 30 км/час «успокоение движения»;</p> <p>- развитие общественного транспорта</p> <p>- шумозащитные экраны средней и большой высоты;</p> <p>- полная или частичная изоляция проезжей части (тоннели, галереи);</p> <p>- комбинация указанных выше мероприятий</p>
Улицы и дороги в центральной части крупных городов фасадами зданий	Плотная многоэтажная застройка с малым расстояниями между фасадами зданий	<p>- шумозащитные экраны большой высоты;</p> <p>- полная изоляция проезжей части (тоннели, галереи);</p> <p>- комбинация указанных выше мероприятий</p>

Раздел 5. Строительная и архитектурная акустика, защита от шума

Лекция 8. Архитектурная акустика.

8.1 Акустика зальных помещений

Акустика помещений исследует условия, обеспечивающие хорошую слышимость речи и музыки в помещениях, и разрабатывает архитектурно-планировочные и конструктивные решения, обеспечивающие эту слышимость.

Звук – это механическое колебание воздуха, возникающее при колебаниях какого-либо тела (источника звука). Колебания распространяются в воздухе по всем направлениям в виде звуковых волн. Скорость звука в воздухе принимают равной 340 м/с, в воде 1450 м/с, в стали 5100 м/с.

Уровень звукового давления L_p – характеризует восприятие звука человеком. Единица измерения – бел (Б).

$$L_p = 20 \lg \frac{P}{P_0}$$

где P – звуковое давление звука данной частоты; P_0 – давление звука частотой 1000 Гц на пороге слышимости.

Акустическое решение проектируемого или реконструируемого зала прежде всего зависит от его функционального назначения и вместимости. Однако при акустическом проектировании используются и другие принципы, которые являются общими для залов различного назначения. К ним относятся:

- соблюдение основных пропорций зала;
- расчеты времени реверберации;
- расчеты геометрических отражений звука;
- моделирование акустики зала;
- разработка мероприятий по улучшению диффузности звукового поля

в зале.

Из перечисленных методов наиболее оптимальным является метод моделирования.

Независимо от назначения зала в них должны быть обеспечены достаточно низкий уровень шума, отсутствие эха, порхающего эха и тембровые искажения.

8.2 Принципы акустического проектирования зальных помещений

Процесс акустического проектирования зальных помещений должен включать:

выбор габаритов и формы помещения при соблюдении общих требований к объемно-планировочному решению залов;

проверку достоверности глобальной оценки акустики зала по статистической теории;

расчет частотной характеристики времени реверберации зала для выявления соответствия его объемному оптимуму и проведение необходимой коррекции проекта в части конструкций ограждений;

графический анализ чертежей зала с необходимой коррекцией проекта в части формы и очертаний его ограждений;

разработку мероприятий по улучшению диффузности звукового поля в зале;

расчет локальных акустических критериев на предмет соответствия их зонам оптимумов с дополнительной, в случае необходимости, коррекцией проекта;

оценку шумового режима зала с разработкой необходимых мероприятий по его улучшению;

оценку электроакустического режима зала с разработкой необходимых мероприятий.

оценку электроакустического режима зала с разработкой необходимых мероприятий.

При проектировании аудиторий, залов собраний, а также залов оперных и драматических театров и кинотеатров необходимо создавать такие условия передачи звука, которые обеспечивали бы наилучшую слышимость музыки и речи.

Слышимость в залах большой вместимости зависит от мощности и размещения источника звука, от объема и формы помещения, от очертания и фактуры ограждающих конструкций, которые определяют положение и рассеивание звуковой энергии при отражении ими падающих звуковых волн. Все эти факторы учитываются при архитектурном конструировании зала, а наука, которая занимается разработкой оптимальных условий слышимости в помещениях массового пользования изучается в разделе архитектурной акустики.

Нормативные документы допускают возможность выбора вариантов проектных решений, исходя из комплекса требований, предъявляемых к проектируемому или реконструируемому объекту с целью обеспечения доступа к нему и использования его маломобильными гражданами.

В зависимости от расчетного числа инвалидов, от региональных особенностей проектирования и функциональной структуры здания или сооружения рекомендуется предусматривать один из двух вариантов организации доступности:

- доступность для инвалидов любого места обслуживания здания, любого пригодного для инвалидов места приложения труда. При этом должно предусматриваться устройство: общих универсальных путей движения, доступных для всех категорий населения, в том числе инвалидов; специально выделенных и приспособленных для нужд инвалидов мест обслуживания; специально приспособленных мест приложения труда;

- выделение преимущественно или только в уровне первого этажа специальных помещений и функциональных зон, приспособленных и оборудованных для инвалидов. При этом предусматривать устройство

специальных входов, специально обустроенных путей движения и мест обслуживания.

Формирование архитектурной среды для нужд инвалидов и других маломобильных групп населения должно осуществляться, исходя из 4-х критериев:

- доступность,
- безопасность,
- информативность,
- комфортность.

При этом не должно быть ущемления соответствующих прав и возможностей других людей, находящихся в этих зданиях.

Критерий доступности содержит требования:

- беспрепятственного движения по коммуникационным путям, помещениям и функциональным зонам;
- беспрепятственного достижения места проживания, трудоустройства или обслуживания;
- возможности воспользоваться местами отдыха, ожидания и сопутствующего обслуживания.

Критерий безопасности обеспечивает создание условий проживания, посещения места обслуживания или труда без риска быть травмированным, а также нанести вред другим людям, общественному и личному имуществу.

Основными требованиями критерия безопасности являются:

- возможность избежать травм и излишней усталости из-за свойств архитектурной среды зданий;
- возможность своевременного опознавания мест и зон риска;
- специальное оборудование мест пересечений путей движения или их исключение (по возможности);
- мероприятия по предупреждению потребителей о зонах, представляющих потенциальную опасность;

- обеспечение безопасности при пожаре и в других экстремальных ситуациях.

Критерий информативности должен обеспечивать возможность своевременного получения информации и соответствующего реагирования на нее.

Требования критерия информативности включают в себя:

- использование средств информирования, соответствующих особенностям восприятия различных групп потребителей;
- обеспечение своевременного распознавания ориентиров в архитектурной среде общественных зданий;
- обеспечение идентификации места нахождения посетителя и мест, являющихся целью его посещения;
- возможность эффективной ориентации как в светлое, так и в темное время суток на всем пути следования по зданию.

Размещение и характер исполнения элементов информационного обеспечения должны учитывать:

- расстояние, с которого сообщение может быть эффективно воспринято;
- углы поля наблюдения, удобные для восприятия зрительной информации;
- ясное и контрастное изображение, а при необходимости - рельефность изображения;
- соответствие применяемых символов общепринятому значению (в том числе - международному);
- исключение помех восприятию информации (исключение бликов на указателях и слепящего освещения, совмещение зон действия различных акустических источников информации, учет акустической тени).

8.3 Расчет времени реверберации

Одним из важнейших показателей, характеризующих акустические качества помещений, является *реверберация*, сущность которой заключается в

снижении плотности звуковой энергии в помещении после прекращения звучания основного звука. Реверберация является следствием многократных отражений звуковых волн от внутренних поверхностей (стен, потолка, кресел и т.п.) помещения.

Единицей реверберации является время, выраженное в секундах. Промежуток времени, в течение которого после прекращения работы источника звука до момента, когда его уровень звукового давления уменьшится на 60 дБ, называется *временем стандартной реверберации* (T, с). Слишком продолжительная реверберация делает помещения гулкими, слишком короткая - глухими. Время реверберации зависит от объема помещения, общего звукопоглощения его ограждений и объектов, находящихся в нем.

Расчет времени реверберации позволяет установить, требуется ли для обеспечения оптимума реверберации в проектируемом зале изменить его объем или отделку.

Для концертных и оперных залов расчет времени реверберации производится на частотах 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Гц. В остальных случаях достаточно определить время реверберации для частот 125, 500 и 2000 Гц.

Оптимальное время реверберации на средних частотах (500 - 1000 Г) для залов различного назначения в зависимости от объема, приведено на рис. 8.3.1.

Расчет времени реверберации производится согласно положениям СП 51.13330.2011 (СНиП 23-03-03) «Защита от шума».

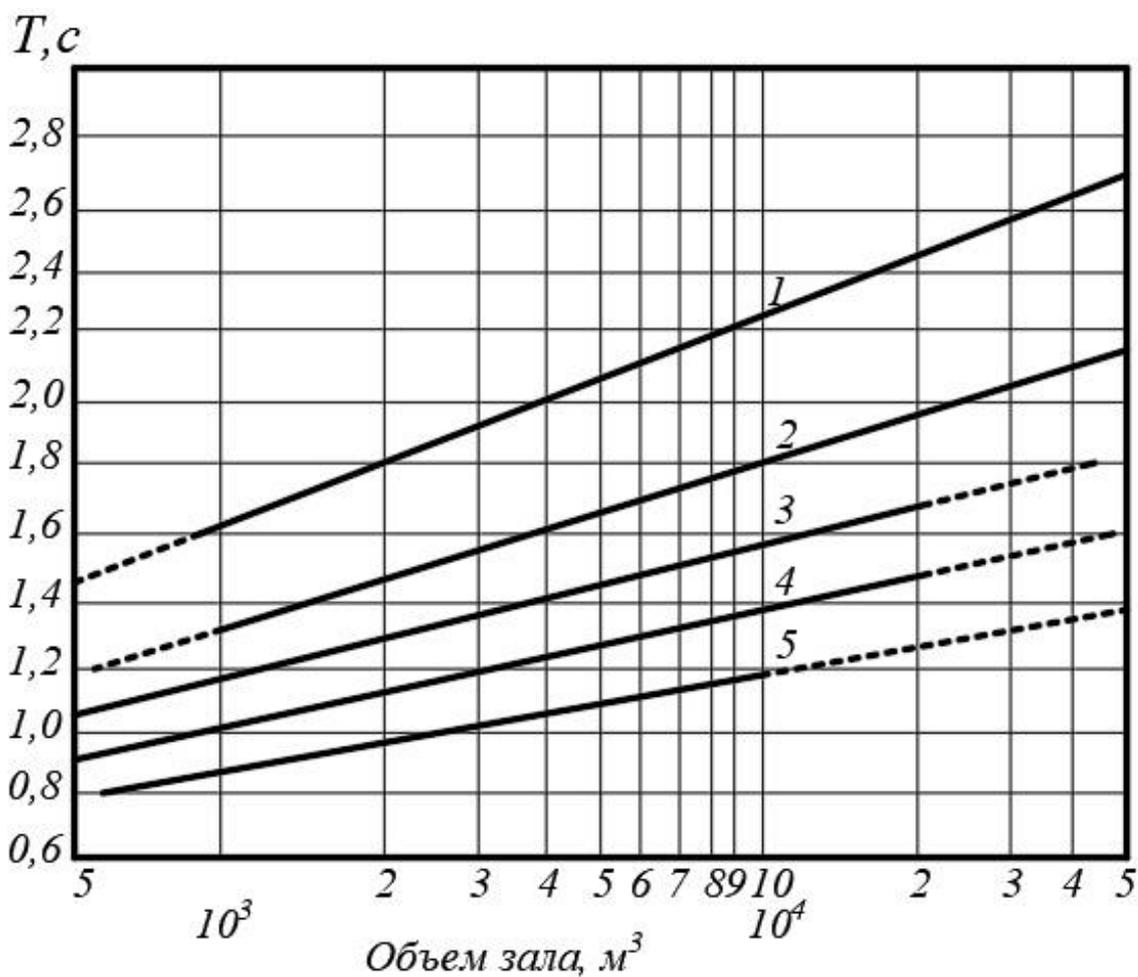


Рис. 8.3.1 Зависимость оптимального времени реверберации на средних частотах (500 - 1000 Гц) для залов различного назначения от их объема:

1 - залы для ораторий и органной музыки; 2 - залы для исполнения симфонической музыки; 3 - залы для исполнения камерной музыки, залы для оперных театров; 4 - залы многоцелевого назначения, залы музыкально - драматических театров, спортивные залы; 5 - лекционные залы, залы заседаний, залы драматических театров, кинозалы

Для получения достаточной диффузности звукового поля следует правильно выбрать форму и пропорцию зала.

Основные размеры и пропорции зала должны выбираться из следующих условий:

$$L \leq L_{\text{доп}} ; \quad B = S_n / L ; \quad H = V / S_n ; \quad 1 < L/B < 2 ; \quad 1 < B/H < 2 ,$$

где L - длина зала по его центральной оси, м;

$L_{\text{доп}}$ - предельно допустимая длина зала, м;

B и H - соответственно средние ширина и высота зала, м;

V - общий воздушный объем зала, м³;

S_n - площадь пола зала, м².

Критерием разборчивости речи является слоговая артикуляция, для определения которой применяются так называемые артикуляционные испытания, позволяющие получить процент разборчивости речи.

Отношение правильно записанных слогов к общему количеству переданных и определяет процент разборчивости речи. Разборчивость считается отличной при 96% правильно воспринимаемых слогов, хорошей - при 95-85%, удовлетворительной - при 84-75%, трудно разборчивой - при 74-65% и неудовлетворительной - при 65% и ниже.

Слоговая артикуляция зависит от уровня громкости речи, времени реверберации, уровня шума в окружающем пространстве (шумовой фон) и формы помещения.

Для определения речевой артикуляции (PA) используют следующую формулу

$$PA = 0,96 K_1 K_2 K_3 K_4$$

где K_1 – коэффициент учитывающий влияние уровня громкости на разборчивость речи;

K_2 – коэффициент, учитывающий влияние времени реверберации;

K_3 – коэффициент, учитывающий помехи вследствие шумового фона;

K_4 – коэффициент, учитывающий влияние на разборчивость речи формы помещения.

Для проверки допустимости применения в расчетах характеристик исследуемого зала методов статистической акустики в нормируемом диапазоне частот 125 - 4000 Гц следует рассчитать критическую частоту, Гц, выше которой наблюдается достаточное количество собственных мод (частот) воздушного объема, по формуле

$$f_{кр} = 125 \sqrt[3]{180/V}$$

Если расчет показал, что $f_{кр} = 125$ Гц, то время реверберации, T , в зале следует определить в шести октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 125, 250, 500, 1000, 2000 и 4000 Гц: в диапазоне 125 - 1000 Гц по формуле

$$T = \frac{0,163 V}{-S \ln(1 - \alpha_{ср})};$$

в диапазоне 2000 - 4000 Гц по формуле

$$T = \frac{0,163 V}{-S \ln(1 - \alpha_{ср}) + nV},$$

где V - объем зала, м³;

$\alpha_{ср}$ - средний коэффициент звукопоглощения в зале;

S - общая площадь ограждающих конструкций в зале, м²;

n - коэффициент, учитывающий поглощение звука в воздухе. В октаве 2000 Гц

$n = 0,009$; в октаве 4000 Гц $n = 0,022$.

Для расчета времени реверберации зала надо предварительно подсчитать его воздушный объем, общую площадь внутренних поверхностей и общую эквивалентную площадь звукопоглощения, которая находится по формуле:

$$A_{общ} = A_{пост} + A_{пер} + A_{доб},$$

где $A_{пост}$ - сумма произведений площадей отдельных поверхностей на их коэффициент звукопоглощения для данной частоты (постоянное звукопоглощение);

$A_{пер}$ - сумма звукопоглощения, слушателей и кресел;

$A_{доб}$ - слагаемое, учитывающее добавочное звукопоглощение, связанное с тем, что в расчетах не учитывается ряд реально существующих звукопоглотителей (осветительная аппаратура, воздушные полости, щели в плинтусах, дверях, окнах, каменной кладке, трещины в штукатурке, вентиляционные решетки и т.п.).

При определении суммарной величины эквивалентной площади звукопоглощения следует считать заполнение зрительских мест 70 %.

8.4 Оценка звукового поля построением звуковых отражений по лучевому эскизу зала, размещение звукопоглотителей в зальных помещениях

Для обеспечения диффузного звукового поля зальные помещения, используя подобный закон отражения света от зеркальной плоскости, согласно которому:

а) угол падения равен углу отражения;

б) падающий и отраженный звуковые лучи лежат в одной плоскости, перпендикулярной отражающей поверхности (рис.8.4.1), проектируются с членением внутренних поверхностей (рис. 8.4.4, 8.4.5).

Явление эхо возникает в случае, когда время запаздывания звука отстает от времени прямого распространения на 0,05 сек и более, т.е. на 17 м пути.

Приближенная оценка формы и размеров помещений с акустической точки зрения состоит из анализа звукового поля на основе принципов геометрической акустики, т.е. в рассмотрении распространения прямых и отраженных звуковых волн и построении так называемого лучевого эскиза (рис. 8.4.1).

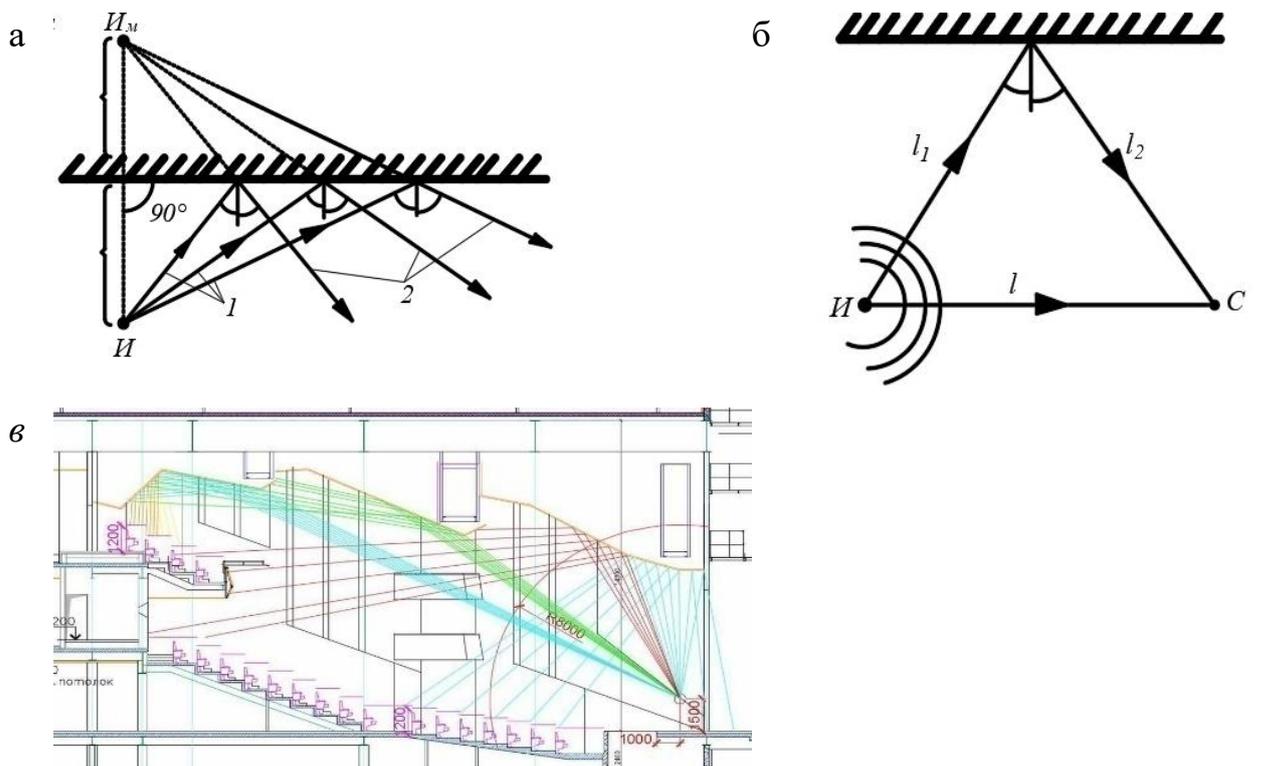


Рис. 8.4.1 Построение отраженных звуковых лучей с помощью мнимого источника (*а, б*), *И* – источник звука, *И_м* – мнимый источник звука, *в* – построение лучевого отражения потолка сложной формы

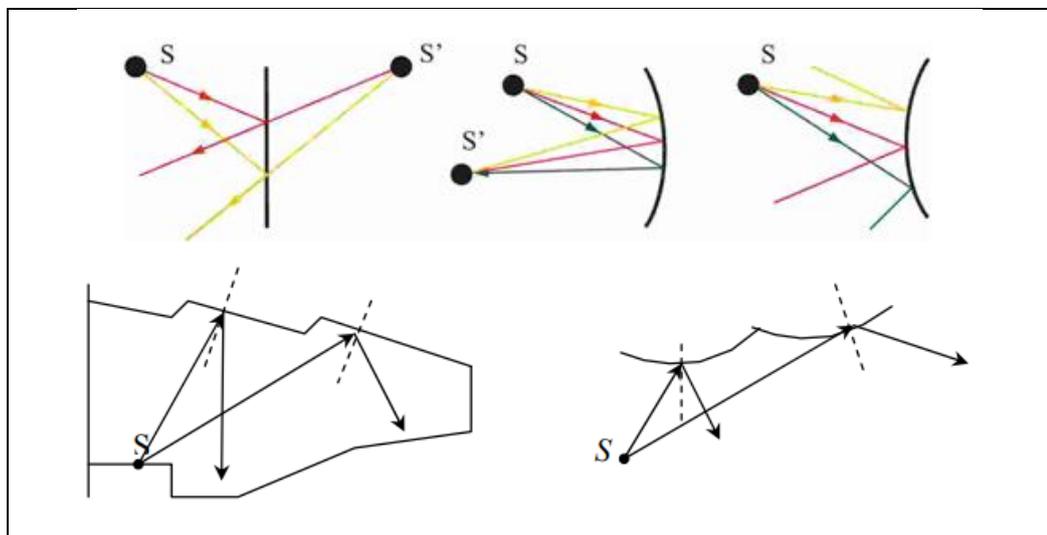


Рис. 8.4.2. Схема отражение звуковых лучей от стен и поверхностей потолка разной формы

Диффузность звукового поля, комфортность слышимости речи зданий с большим объемом в значительной степени зависит от объемно-пространственной формы зала, архитектурного членения и отделки звукопоглощающими материалами внутренних вертикальных стен и потолков (рис. 8.4.3 - 8.4.6). Реверберация при применении громкоговорителей также регулируется путем выбора формы зала и покрытия звукопоглотителей.

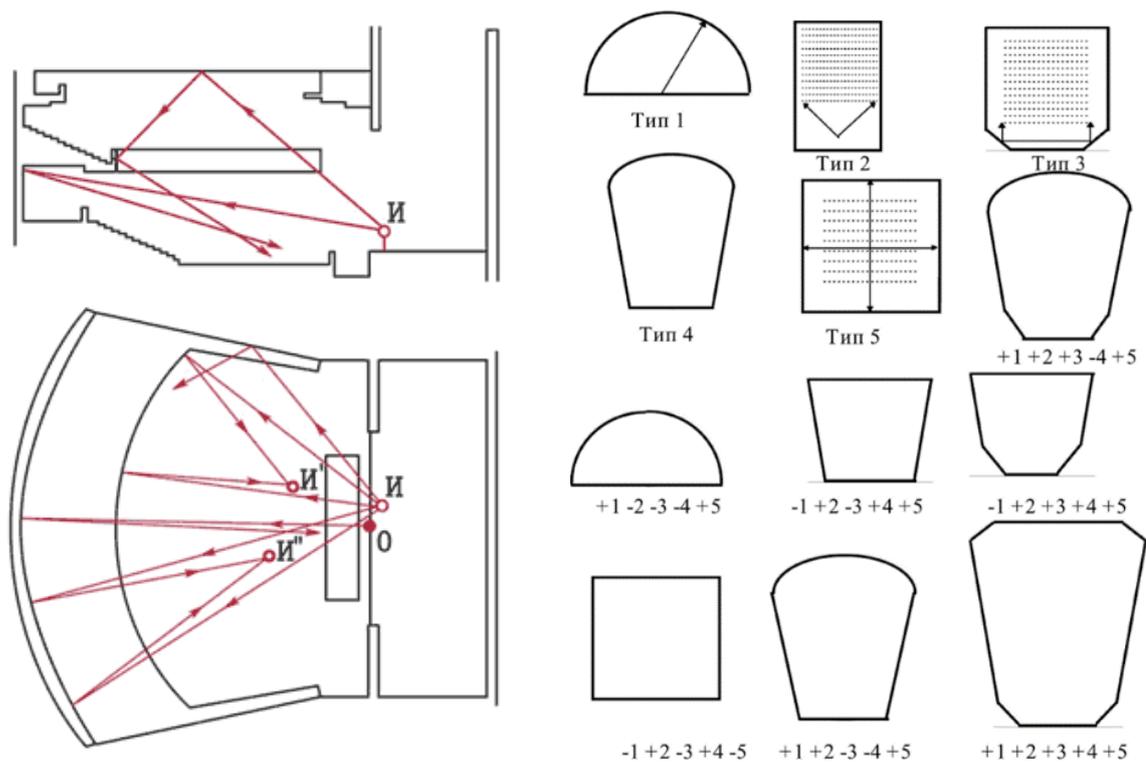


Рис. 8.4.3 Поэтапное развития формы залов зданий

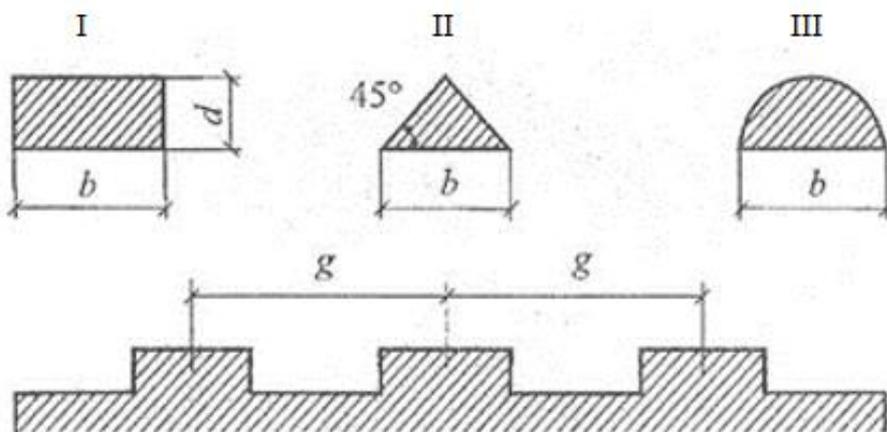


Рис. 8.4.4 Формы и размеры пластических архитектурных членений, обеспечивающие рассеивание отраженного звука

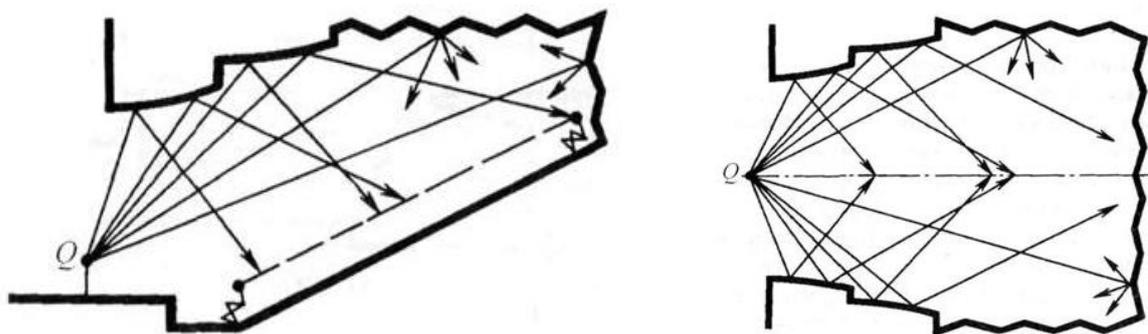


Рис. 8.4.5 Пример членения поверхности потолка и боковых стен зала (схемы продольного разрез и плана)

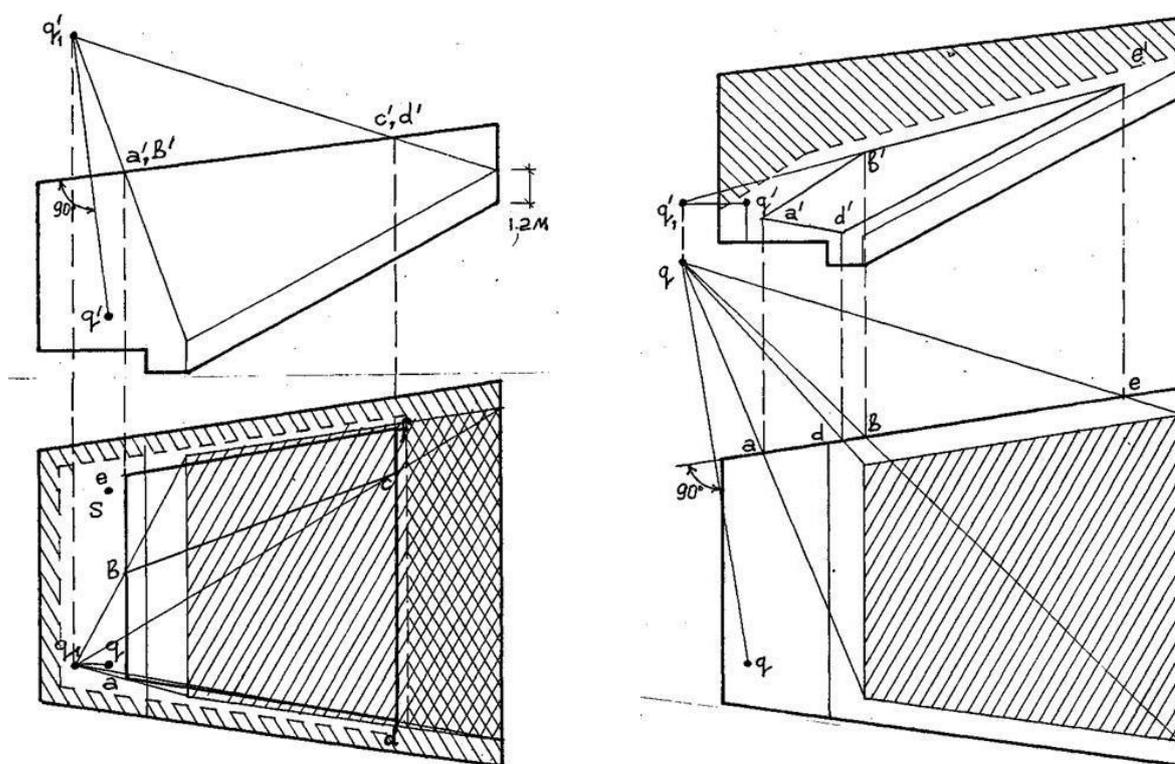


Рис. 8.4.6 Рекомендуемые зоны размещения звукопоглотителей в зальных помещениях заштрихованы: а - на стенах, б - потолке

Акустическое решение проектируемого или реконструируемого зала прежде всего зависит от его функционального назначения и вместимости. Однако при акустическом проектировании используются и другие принципы, которые являются общими для залов различного назначения. К ним относятся:

- соблюдение основных пропорций зала;

- расчеты времени реверберации;
- расчеты геометрических отражений звука;
- моделирование акустики зала;
- разработка мероприятий по улучшению диффузности звукового поля в зале.

В настоящее время при проектировании помещений, наиболее требовательных к качеству звучания, таких как концертные и театральные залы активно применяются методы компьютерного акустического моделирования.