

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ – МСХА имени К.А. Тимирязева**

СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

Курс лекций

*для студентов специальности 08.03.01 – Строительство,
направленности: Промышленное и государственное строительств и
Экспертиза и управление недвижимостью*

Новочеркасск

Лик

2022

УДК 69:53 (075)
ББК 38.113
М 69

Рецензенты:

Жарницкий В.Я. доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева;
Мурзенко А.Ю. кандидат технических наук, доцент,
главный специалист «Центр строительной экспертизы и оценки»

Михеев П.А.

М 69 Строительная физика: курс лекций для студентов образовательного направления 08.03.01 – «Строительство» / П.А. Михеев; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева – Москва, Новочеркасск: Лик, 2022. – 139 с.

ISBN 978-5-907391-77-2

Курс лекций соответствует содержанию дисциплины «Строительная физика» рабочей программы дисциплины, изучаемой студентами в 3 семестре. Строительная физика – совокупность научных дисциплин, охватывающих изучение физических явлений и процессов, связанных с возведением и эксплуатацией конструкций зданий и сооружений.

Курс лекций предназначен для студентов образовательного направления 08.03.01 – «Строительство», направленности: «Промышленное и гражданское строительство» и «Экспертиза и управление недвижимостью».

УДК 69:53 (075)
ББК 38.113

ISBN 978-5-907391-77-2

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева, 2022
© Михеев П.А., 2022

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Строительная физика» изучается студентами образовательного направления 08.03.01 – «Строительство» в третьем семестре и является продолжением общего курса, который формирует базовые компетенции для последующих архитектурно-строительных и организационно-технологических модулей дисциплин учебного плана специальности.

В соответствии с рабочей программой целью дисциплины «Строительная физика» является приобретение студентами теоретических знаний и практических навыков теплотехнического расчета ограждающих конструкций, а также приемов рациональных решений теплозащиты наружных ограждающих конструкций, звукоизоляции, освещенности, инсоляции и солнцезащиты, звукоизоляции и акустики помещений и элементов шумозащиты зданий с учетом различных природных и искусственных условий. А также навыков в сфере разработки проектной и рабочей документации, контроля соответствия разрабатываемых проектов и технической документацией заданию, стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам в области строительной теплотехники и теплозащиты зданий и приобретение алгоритма проектирования комфортной световой, тепловой и акустической среды в зданиях в соответствии с действующими нормативными документами.

Курс лекций включает материал и представлен в четырех разделах: «Строительная климатология», «Строительная теплотехника», «Строительная светотехника» и «Строительная и архитектурная акустика».

Курс лекций представлен в полном соответствии с последовательностью учебного материала рабочей программы дисциплины, разработанной кафедрой «Сельскохозяйственное строительство и экспертиза объектов недвижимости» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Список литературы содержит учебно-методические разработки и нормативные издания, отражающие последние достижения строительной физики.

Курс лекций предназначен для бакалавров образовательного направления 08.03.01 – «Строительство», направленности: «Промышленное и гражданское строительство» и «Экспертиза и управление недвижимостью».

Составитель

Лекция 1. СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА – ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЛИМАТОЛОГИИ

План лекции.

- 1.1. Строительная физика – общие понятия и положения.
- 1.2. Строительная климатология – термины и определения. Особенности климата Российской Федерации.
- 1.3. Основные факторы климата и их воздействие на здания и сооружения.
- 1.4. Строительно-климатическое районирование.

1.1. Строительная физика – общие понятия и положения

Строительная физика – совокупность научных дисциплин, охватывающих изучение физических явлений и процессов, связанных с возведением и эксплуатацией конструкций зданий и сооружений. Это определяет назначение строительной физики – как области знания, с помощью которой разрешаются противоречия, возникающие в строительной практике.

В строительную физику входят строительная климатология, теплофизика, светотехника, инсоляция, строительная акустика и др. (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Структура дисциплины «Строительная физика»

Исходя из структуры дисциплины, определяются её функции, которые заключаются в применении существующих методов и научных подходов для обеспечения защиты зданий и сооружений от природно-климатических и техногенных воздействий (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Функции дисциплины «Строительная физика»

Наряду с требованиями прочности, долговечности, безопасности проектируемые здания и сооружения должны отвечать комфортным условиям среды обитания человека – функциональным, физическим, физиологическим, эстетическим. В частности к физическим показателям качества среды, относятся: температура, влажность, освещенность, звукоизоляция и др.

1.2. Строительная климатология – термины и определения. Особенности климата Российской Федерации

Наука о климате называется «климатологией», а её раздел – «Строительная климатология» изучает закономерности воздействия климата на архитектурные и конструктивные решения зданий, структуры городов и поселений, технологии возведения зданий. Строительная климатология позволяет обосновать целесообразные проектные решения зданий, их комплексов и городской застройки с учетом особенностей климата.

Климат – это многолетний, устойчивый режим погоды в данной местности, влияющий на человека. Климат и условия существования человека,

здоровье, привычки, жизненный уклад взаимосвязаны, при этом влияние климата исключить невозможно. Климатические характеристики данной местности и изменения погоды непосредственно или опосредованно влияют, в первую очередь на здоровье человека, особенности питания, культуру, а также на хозяйственную деятельность и образ жизни (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Влияние климата на человека

В климатологии применяется понятие «годовой ход», который используется для характеристики изменения параметров основных факторов климата в течение года.

Продолжительность характерных видов погоды определяет основные черты климата, которые влияют на архитектурные и конструктивные решения зданий. Создание в помещениях комфортной внутренней среды зависит от теплотехнических качеств ограждающих конструкций, планировочного решения зданий, размеров их отдельных элементов (окна, фонари) и т.д.

В соответствии с СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» использует следующие термины и определения:

альбедо – (от позднелат. albedo – белизна) величина, характеризующая рассеивающую или отражательную способность поверхностей, оценивается как отношение отраженной радиации к суммарной радиации;

базовая скорость ветра – скорость ветра, измеренная на высоте 10 м над землей на открытой поверхности без близлежащих препятствий;

вектор скорости – величина, характеризующаяся числовым значением (модулем) и направлением воздушного потока;

влажесодержание – отношение массы водяного пара к массе сухого воздуха (массовая доля водяного пара);

длинноволновое (земное) излучение – радиация земной поверхности и атмосферы с длиной волн выше 3 мкм;

климатическое воздействие – влияние окружающей среды (метеорологических воздействий) на строительный объект в виде изменения показателей температуры воздуха, действия ветра, осадков и других климатиче-

ских параметров;

направление ветра – направление, откуда перемещается воздух;

обеспеченность – интегральная повторяемость значений климатического параметра ниже или выше их определенных пределов;

относительная влажность – отношение парциального давления водяного пара к давлению насыщенного водяного пара при той же температуре;

отраженная радиация – часть суммарной солнечной радиации, отраженной от подстилающей поверхности;

парциальное давление водяного пара – часть атмосферного давления, создаваемого водяным паром;

повторяемость – отношение числа случаев со значениями, входящими в расчетный интервал, к общему числу членов ряда;

преобладающее направление ветра – наиболее часто наблюдаемое направление ветра в данной местности за многолетний период времени, сезон или год;

прямая радиация – часть суммарной солнечной радиации, поступающей на поверхности в виде пучка параллельных лучей, исходящих непосредственно от видимого диска солнца;

рассеянная радиация – часть суммарной солнечной радиации, поступающей на поверхности со всего небосвода после рассеяния в атмосфере;

скорость ветра в порыве – самая высокая мгновенная скорость ветра, наблюдаемая за период определения среднего значения.

скорость ветра – модуль вектора скорости движения воздуха относительно земной поверхности; чаще всего подразумевается – в горизонтальной плоскости.

солнечная радиация – электромагнитная радиация Солнца, распространяющаяся в пространстве в виде электромагнитных волн со скоростью около 300000 км/с и проникающая в земную атмосферу.

средний год – год, содержащий почасовые средние многолетние значения метеорологических элементов;

средняя скорость ветра по румбам – определяется делением суммы скоростей в румбе на сумму случаев с ветром румба;

стандартный год – фактический исторический год, средние месячные температуры которого наиболее близки к многолетней средней температуре;

суммарная солнечная радиация – совокупность прямой и рассеянной солнечной радиации, поступающей в естественных условиях на горизонтальную земную поверхность;

температура воздуха – характеристика теплового состояния воздуха, то есть кинетической энергии его молекулярных движений, измеряемая с помощью физических эффектов, связанных с изменениями разностей этой энергии;

энергетическая облученность поверхности солнечной радиацией –

величина, характеризующаяся приемом солнечной радиации со всей полусферы, равная приему прямой и рассеянной солнечной радиации на горизонтальной и наклонной плоскостях;

энтальпия – характеристика внутренней энергии состояния воздуха.

Климат Российской Федерации характеризуется четким разделением на теплые и холодные сезоны года. С севера на юг прослеживается уменьшение температурных перепадов и потепление климата. Восточная часть страны холоднее, чем западная. Это связано с тем, что на западную часть наибольшее влияние оказывает океан, который смягчает климат. В стране определяются четыре климатических пояса: арктический; субарктический; умеренный; субтропический.

В пределах каждого пояса выделяют зональные типы климата, сменяющиеся в направлении с севера на юг, и климатические области, направленные с запада на восток. Влияние на климат оказывают, прежде всего, рельеф и близость к океану, при этом требования к строительству в этих зонах разные и определяются климатическими факторами.

1.3. Основные факторы климата и их воздействие на здания и сооружения

Основные факторы климата в этом случае могут быть сформированы следующим образом:

- годовой ход среднемесячных температур;
- годовой ход амплитудных колебаний температур в характерные периоды года (зима и лето);
- годовой ход относительной влажности воздуха;
- годовой ход скорости и направлений ветра;
- годовой ход солнечной радиации.

Для учета при проектировании температурных и влажностных характеристик климата в нормативную литературу вводится понятие «климатическое районирование», которое определяется по следующим основным параметрам:

- по среднемесячным температурам воздуха в январе и июле;
- по средним скоростям ветра за три зимних месяца;
- по среднемесячной относительной влажности воздуха в июле и январе.

Первая группа климатических районов соответствует климату севера, вторая – климату умеренных широт, третья – южному, четвертая – климату горных районов.

Ветер – движение воздуха относительно земной поверхности. Критерием оценки ветра являются его скорость и повторяемость направления движения по румбам (8 основных румбов).

Направление ветра – направление, откуда перемещается воздух. Повторяемость движения воздуха (ветра) иллюстрируется «розой ветров».

Роза ветров – это многоугольник, отражающий повторяемость ветра по

румбам в абсолютных значениях или в процентах от расчетного периода, как правило, года (рисунок 1.4).

Анализ розы ветров позволяет оценить силовые характеристики ветра, влияющие на условия проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

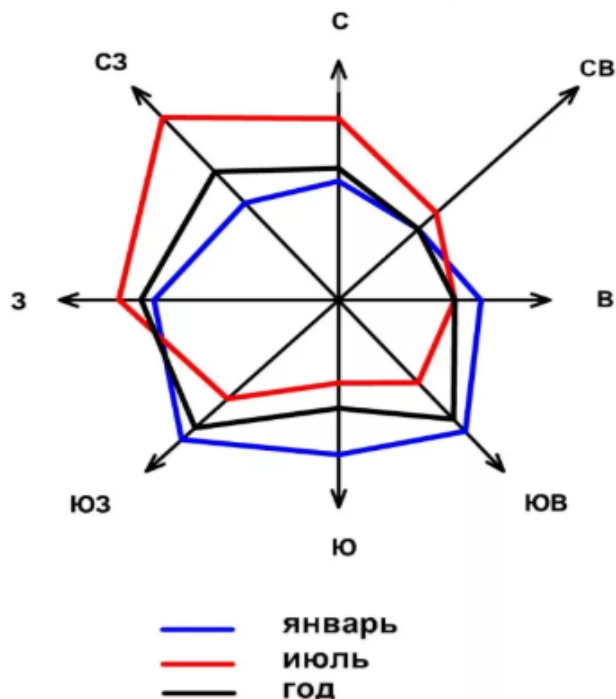


Рисунок 1.4 – Пример построения розы ветров

Так, например, нормальное ветровое давление, определяемое по формуле $W=0,5 \cdot p \cdot v^2$, где v – скорость ветра, м/с; p – плотность воздуха, кг/м³, на поверхность размером 1м×1м будет равно: при $v = 10$ м/с – 60 Па, при 20 м/с – 240 Па; при 30 м/с – 540 Па, а при 40 м/с уже 960 Па.

Однако, наряду воздействием ветра как нагрузки, в архитектурно-климатическом анализе важно рассматривать совместное воздействие на человека и архитектурную среду температуры и ветра с точки зрения интенсивности теплообменных процессов «человек – среда – здание». Неблагоприятные сочетания этих климатических параметров необходимо учитывать при формировании структуры города и архитектурном решении зданий. Так, например, в переходные сезоны года, при температуре наружного воздуха, близкой к 0°C, и относительной влажности 70% и более необходима защита пешехода от любого ветра. Зимой при температуре до –15°C защита желательна. Защита обязательна при следующих сочетаниях температуры и скорости:

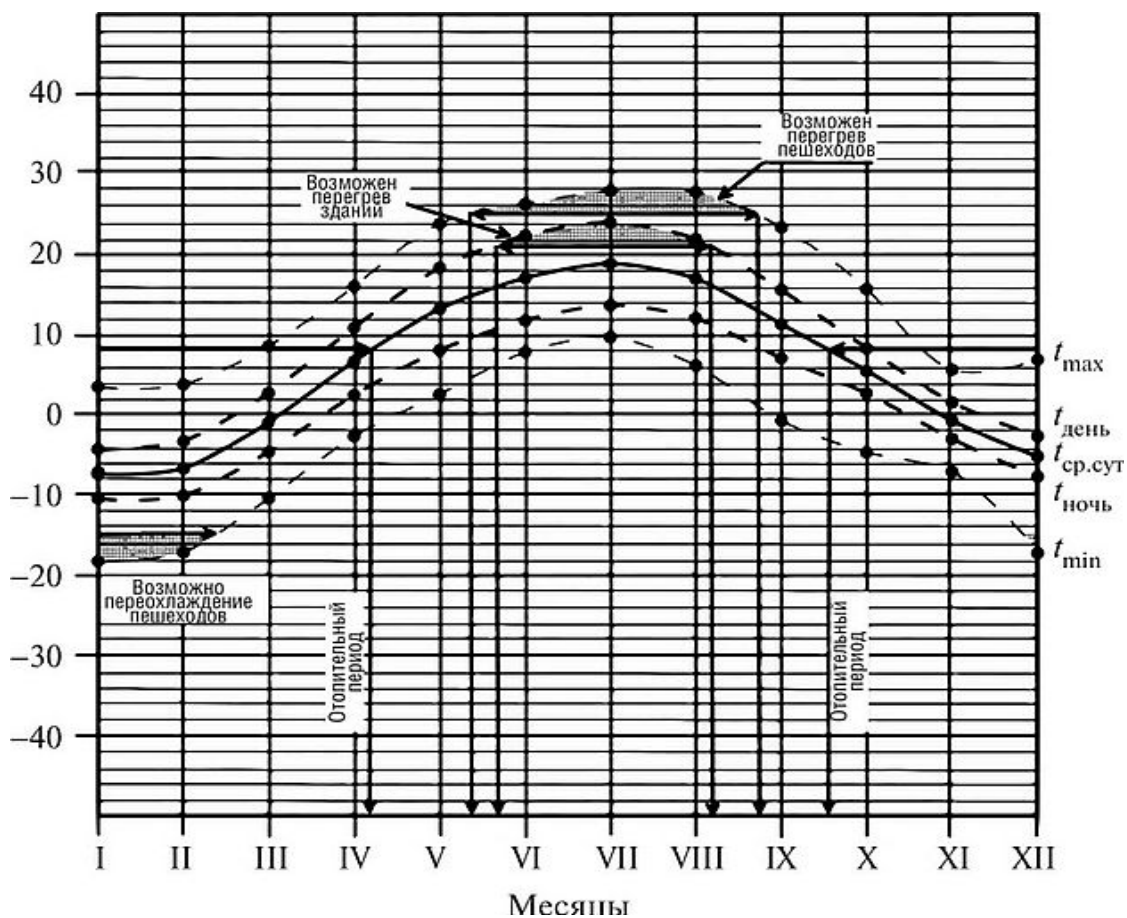
– температура, °С	–15...–20	–20...–25	–25...–30	–30...–35	ниже –35;
– скорость ветра, м/с	до 3,5	3,0	2,0	1,5	0,0

Температура воздуха – характеристика теплового состояния воздуха, то есть кинетической энергии его молекулярных движений, измеряемая с помощью физических эффектов, связанных с изменениями разностей этой

энергии.

В климатологии используется целый ряд температурных показателей. Различают среднемесячную температуру, абсолютную температуру, среднюю температуру за сутки или за ряд суток, амплитуды колебаний температур за определенный период, температуру отопительного периода и т. д. Эти данные используются для различных вариантов теплотехнических расчетов (расчет сопротивления теплопередаче, расчет теплоустойчивости ограждений и т. д.). С точки зрения архитектурно-климатического анализа также важно определить средние максимальные и минимальные температуры воздуха по месяцам.

Графическое изображение годового хода климатических элементов позволяет наглядно проследить изменения климата по месяцам (рисунок 1.5).



1.5 – Годовой ход температуры воздуха

Рассматривая фактор температуры, следует остановиться на таком понятии микроклимата города как «городской остров тепла» (рисунок 1.6).

Городской остров тепла – площадь во внутренней части большого города, характеризующаяся повышенными по сравнению с периферией температурами воздуха, распространения тепла в пространстве в виде факела. Остров тепла это некое куполообразное воздушное образование с особыми микроклиматическими условиями внутри, которое распространяется по территории города неравномерно.

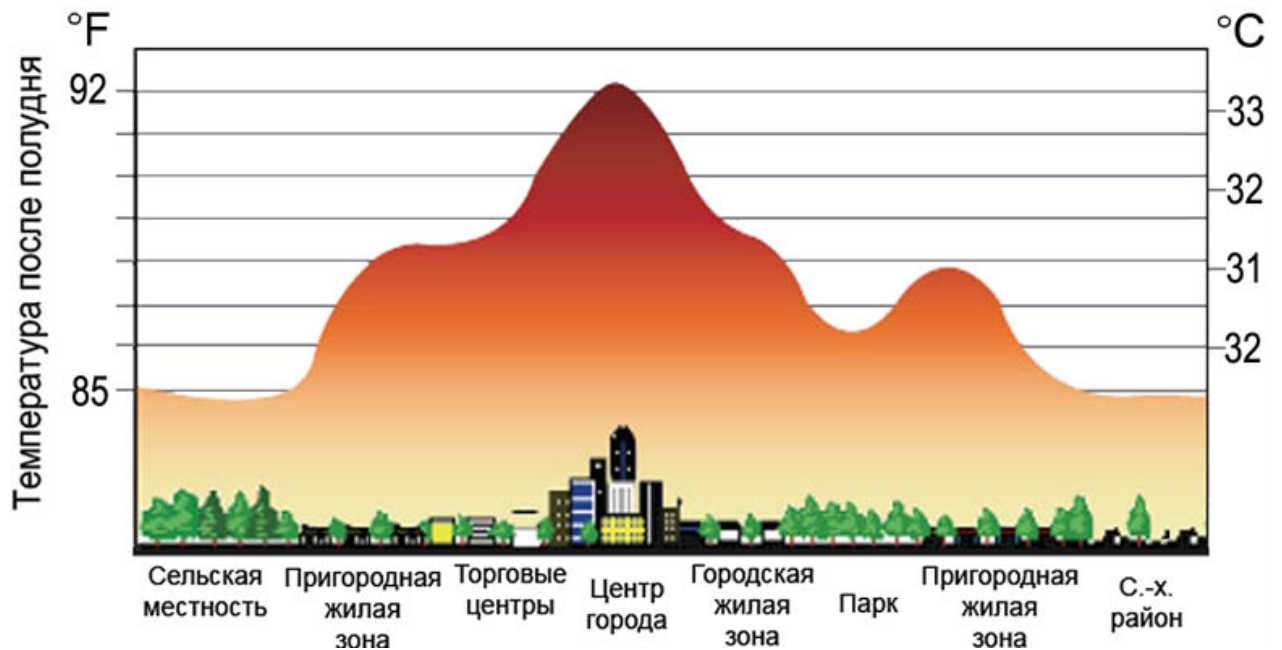


Рисунок 1.6 – Городской остров тепла

Установлено семь причин формирования городского острова тепла, влияющих на любой городской климат (рисунок 1.7).

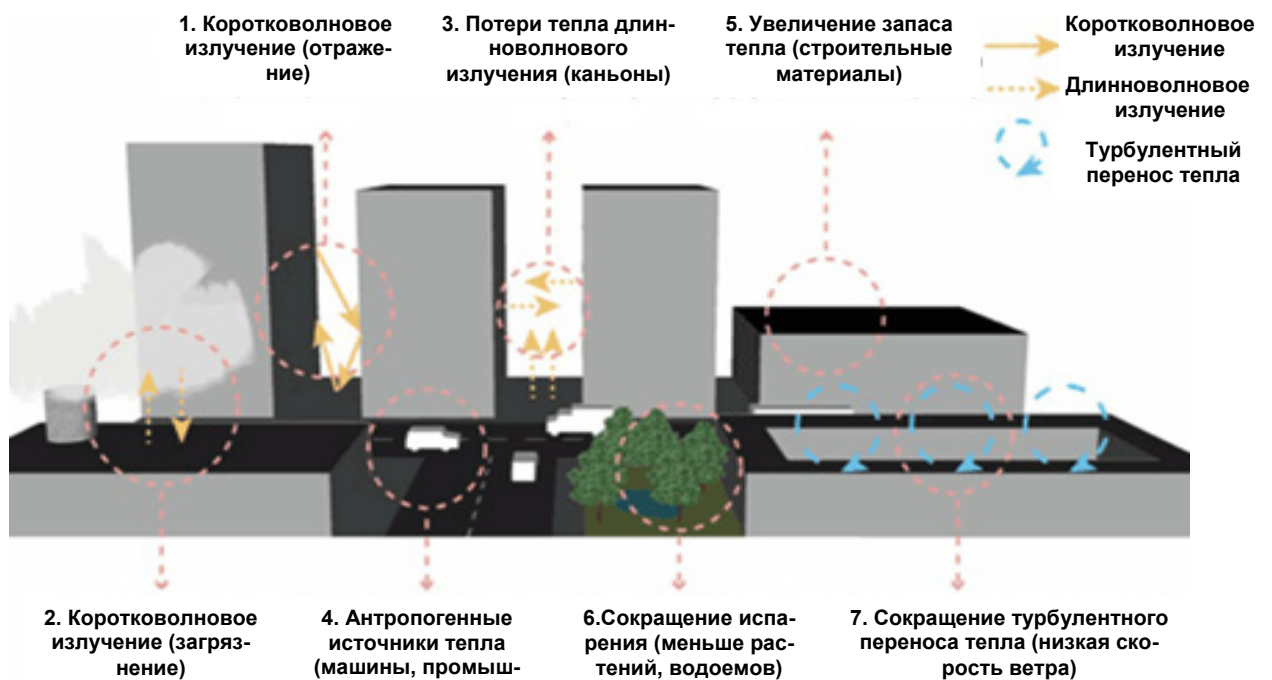


Рисунок 1.7 – Причины формирования городского острова тепла

Влажность воздуха. Различают абсолютную и относительную влажность воздуха. *Абсолютная влажность* характеризуется количеством влаги в граммах на кубический метр воздуха. *Относительная влажность* характеризуется насыщенностью воздуха водяным паром в процентах, а именно – это отношение парциального давления p водяного пара, содержащегося в возду-

хе при данной температуре, к давлению насыщенного пара p_0 при той же температуре

$$\varphi = \frac{p}{p_0} 100\%.$$

Парциальное давление водяного пара – это давление, которое производил бы водяной пар, если бы все остальные газы отсутствовали.

К другим характеристикам влажности воздуха также относятся: *удельная влажность* – масса водяного пара в граммах в 1 кг влажного воздуха (г/кг) и *точка росы* – температура, при которой воздух достигает состояния насыщения при данном содержании водяного пара и неизменном давлении (°С).

Солнечная радиация. Солнечная радиация – ведущий климатообразующий фактор и практически единственный источник энергии для всех физических процессов, происходящих на земной поверхности и в ее атмосфере. В строительстве и архитектуре солнечная радиация является важнейшим средовым фактором – от нее зависит ориентация зданий, их конструктивные, объемно-планировочные, колористические, пластические решения и многие другие особенности.

Согласно ГОСТ Р 55912—2020 «Климатология строительная» приняты следующие определения и понятия, связанные с солнечной радиацией:

- *прямая радиация* – часть суммарной солнечной радиации, поступающей на поверхности в виде пучка параллельных лучей, приходящих непосредственно от видимого диска солнца;
- *рассеянная солнечная радиация* – часть суммарной солнечной радиации, поступающей на поверхности со всего небосвода после рассеяния в атмосфере;
- *отраженная радиация* – часть суммарной солнечной радиации, отраженной от подстилающей поверхности (фасадов, кровель зданий и др.);
- *интенсивность солнечной радиации* – количество солнечной радиации, проходящее за единицу времени через единичную площадку, расположенную перпендикулярно лучам.

Падающий на определенные поверхности тепловой поток от прямой и рассеянной солнечной радиации выражаются в Вт/м² или в МДж/м². Количество тепла, поступающего от действия солнечной радиации, зависит в основном от географической широты местности, ее высоты над уровнем моря, расположения поверхности относительно горизонтальной плоскости, ориентации рассматриваемой поверхности по сторонам горизонта и времени года.

При проектировании зданий и сооружений следует учитывать рассеивающую или отражательную способность (альбедо) поверхностей, примерные значения альбедо некоторых материалов приведены в таблице 1.1.

Осадки и снежный покров. В градостроительном проектировании весьма важными задачами являются учет интенсивных осадков при проектировании дождевого стока с городских территорий и учет снегозаносов городских территорий при метелях.

Таблица 1.1 – Значения альбедо некоторых материалов

Поверхность	Вид отражения	Коэффициент отражения
Алебастр	диффузное	0,92
Серебро полированное	направленное	0,88–0,93
Белая гипсовая поверхность	диффузное	0,85
Стеклозеркало	направленное	0,72–0,85
Алюминий полированный	направленное	0,65–0,75
Бумага белая матовая	направленно-рассеянное	0,60–0,70
Оштукатуренная поверхность	диффузное	0,40–0,45
Тес (дерево свежее)	направленно-рассеянное	0,35–0,42
Песок белый сухой	диффузное	0,24–0,32
Тес старый, посеревший	направленно-рассеянное	0,12–0,16
Песок белый мокрый	диффузное	0,11–0,20
Асфальтовое покрытие сухое	смешанное	0,10–0,18
Асфальтовое покрытие мокрое	направленно-рассеянное	0,06–0,08
Черный бархат	диффузное	0,01–0,03

В архитектурно-строительном проектировании зданий на первый план выходят задачи проектирования водоотвода с кровли с учетом интенсивности осадков, увлажнение стен зданий косыми дождями (дожди с ветром) и учет снеговых нагрузок на здания.

В последние годы все чаще случаются экстремальные отклонения от средних значений и выпадают обильные осадки, что вызывает серьезные осложнения в жизнедеятельности городов:

- переполнение системы ливневых стоков и подтопление отдельных городских территорий;
- экстремальный подъем уровня воды в реках и каналах, сопровождающийся подтоплением территорий или разрушением мостов;
- переполнение системы водоотвода с кровель зданий, что приводит к замачиванию фасадов, протечек кровель и даже их разрушению;
- обильные снегозаносы транспортных магистралей, парализующие жизнь города.

Данные о сумме осадков за год, максимальных осадках за месяц, а также о количестве дней в году со снежным покровом и о его средней высоте используются для проектирования ливневой канализации на городских территориях и водостоков с крыш зданий, а также для статических расчетов конструкций покрытий зданий.

1.4. Строительно-климатическое районирование

В основу принципов строительно-климатического районирования положено выделение зон, границы которых определяются в соответствии с географическим распределением конкретных значений климатических характеристик, влияющих на тепловой баланс зданий и биоклиматическую комфортность территории застройки: скорости ветра и температуры воздуха зи-

мой (январь) и температуры и влажности воздуха летом (июль).

Согласно действующему строительно-климатическому районированию территория бывшего СССР делится на четыре климатических района, которые, в свою очередь, подразделены на 16 климатических подрайонов. Первый климатический район включает обширные территории Крайнего Севера, Восточной Сибири и Забайкалья с суровым и холодным климатом; второй – умеренные широты с умеренно холодным климатом; третий – часть южных районов с очень теплым летом; четвертый – южный берег Крыма и Закавказье с мягкими зимами и жарким летом, а также западную часть юга Краснодарского края (жаркое влажное лето).

Климатические данные января и июля являются в основном показателем степени континентальности климата. Вместе с тем, даже в пределах климатических подрайонов, охватывающих значительные территории, климатические характеристики далеко не одинаковы, особенно в областях, расположенных на границах подрайонов. Поэтому при проектировании в пунктах, расположенных вблизи границ климатических подрайонов, следует учитывать строительно-климатические требования для обоих смежных подрайонов.

Кроме строительно-климатических районов, на территории России выделяется северная строительно-климатическая зона. Районирование северной строительно-климатической зоны, проведенное Научно-исследовательским институтом строительной физики (НИИСФ), основано на следующих показателях: абсолютная минимальная температура воздуха, температура наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,98 и 0,92, сумма средних суточных температур за отопительный период. По суровости климата на территории северной строительно-климатической зоны выделены районы суровые, наименее суровые и наиболее суровые. Целью выделения этой зоны служит, в первую очередь, определение требований к теплоизоляции ограждающих конструкций зданий, проектирование систем отопления и источников теплоснабжения. С точки зрения архитектурной климатологии эти вопросы имеют второстепенное значение и относятся к строительной климатологии.

При проектировании домов, в том числе систем вентиляции, отопления, кондиционирования и т.п., требуется информация о климатических параметрах местности расположения здания, собранная в СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» в виде таблиц и карт по направлениям:

- климатические параметры холодного и теплого периода года;
- средняя месячная и годовая температура воздуха;
- максимальная суточная амплитуда температуры воздуха в июле;
- среднее месячное и годовое парциальное давление водяного пара;
- суммарная солнечная радиация (прямая и рассеянная) и др.

В зависимости от сочетания средней месячной температуры воздуха в январе и июле, средней скорости ветра за три зимних месяца, средней месячной относительной влажности воздуха в июле территория страны поделена на климатические районы I-IV и подрайоны А-Д (таблица 1.2 и рисунок 1.8).

Таблица 1.2. – Климатическое районирование для строительства

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, %
I	IA	от -32 и ниже	-	от +4 до +19	-
	IB	от -28 и ниже	5 и более	от 0 до +13	Более 75
	IV	от -14 до -28	-	от +12 до +21	-
	IIГ	от -14 до -28	5 и более	от 0 до +14	Более 75
	IIД	от -14 до -32	-	от +10 до +20	-
II	IIА	от -4 до -14	5 и более	от +8 до +12	Более 75
	IIБ	от -3 до -5	5 и более	от +12 до +21	Более 75
	IIВ	от -4 до -14	-	от +12 до +21	-
	IIГ	от -5 до -14	5 и более	от +12 до +21	Более 75
III	IIIА	от -14 до -20	-	от +21 до +25	-
	IIIБ	от -5 до +2	-	от +21 до +25	-
	IIIВ	от -5 до -14	-	от +21 до +25	-
IV	IVА	от -10 до +2	-	от +28 и выше	-
	IVБ	от +2 до +6	-	от +22 до +28	50 и более в 15 ч
	IVВ	от 0 до +2	-	от +25 до +28	-
	IVГ	от -15 до 0	-	от +25 до +28	-

Примечание – Климатический подрайон IIД характеризуется продолжительностью холодного периода года (со средней суточной температурой воздуха ниже 0°С) 190 дней в году и более

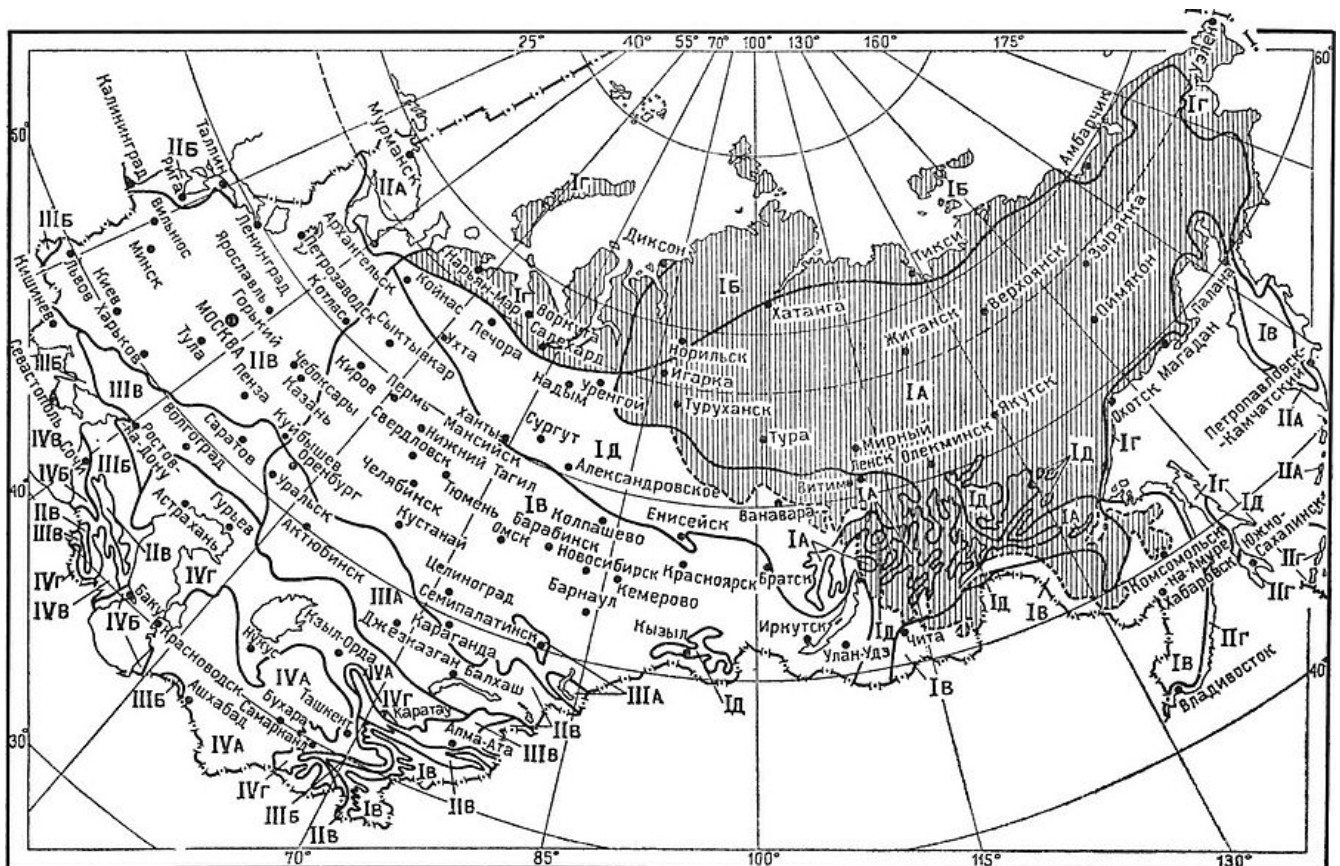


Рисунок 1.8 – Схематическая карта климатического районирования территории бывшего СССР для строительства (заштрихована северная строительно-климатическая зона)

Климатическое районирование является необходимой предпосылкой для решения двух основных архитектурно-строительных проблем:

- наилучшего приспособления зданий и застройки к климатическим особенностям района строительства;
- наилучшего использования ресурсов природной энергии (солнца, ветра, термальной энергии и др.).

Для улучшения качества внешней среды в городах необходимо:

- устраивать санитарно-защитные зоны;
- взаимно располагать промышленные и жилые зоны с учетом направления господствующих ветров;
- равномерно располагать на территории зеленые массивы и водоемы;
- обеспечивать необходимую аэрацию и инсоляцию территорий.

Микроклимат в помещениях создается двумя основными способами:

- мерами архитектурно-планировочных и конструктивных решений зданий (естественные или пассивные меры);
- мерами искусственной климатизации – освещением, отоплением, вентиляцией и кондиционированием воздуха (активные или искусственные меры).

Внутренний микроклимат зависит от воздушного, теплового, влажностного, светового и шумового режимов в помещении. Дискомфорт наступает при жаре, холоде, недостатке или избытке влажности воздуха, недостаточной или избыточной интенсивности воздухообмена в помещении, недостаточной освещенности, излишней яркости, шуме и т.д.

Комфортными являются следующие параметры среды:

- температура воздуха 18–22°С;
- относительная влажность воздуха 30–60 %;
- скорость движения воздуха 0,25–0,5 м/с;
- уровень шума 30–60 дБ;
- значение коэффициента естественной освещенности при боковом освещении 1,0–1,5 %;
- уровень искусственной освещенности 250–350 лк.

Указанные значения зависят от времени года, интенсивности выполняемой работы, а также требований техники и технологии производства.

Контрольные вопросы

1. Структура дисциплин и функции строительной физики.
2. Строительная климатология – влияние климата на человека.
3. Основные факторы климата, воздействующие на здания.
4. Ветер, температура, влажность – влияние на здания и сооружения.
5. Солнечная радиация, перечислите виды солнечной радиации.
6. Осадки и снежный покров – влияние на жизнедеятельность города.
7. Приведите принципы строительного-климатического районирования.
8. Меры для улучшения качества внешней среды в городах.
9. Перечислите меры для создания микроклимата в помещениях.

Лекция 2. СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА. ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА В ПОМЕЩЕНИИ

План лекции.

- 2.1. Понятие микроклимата жилища. Условия теплового комфорта в помещении.
- 2.2. Виды теплообмена.
- 2.3. Схема теплообмена человека с окружающей средой.

2.1. Понятие микроклимата жилища. Условия теплового комфорта в помещении

Микроклимат жилища – это искусственно создаваемые климатические условия для защиты от неблагоприятного (внешнего) воздействия и создания зоны комфорта одетому в легкую одежду и находящемуся длительное время в сидячем положении человеку. В холодный период эти условия в основном зависят от теплофизических свойств ограждений (стен, потолка, пола) и системы отопления. В жаркое время года оптимальные условия могут быть созданы только при подаче в помещение кондиционированного воздуха.

Факторы, влияющие на человека в помещении представлены в виде схемы на рисунке 2.1.

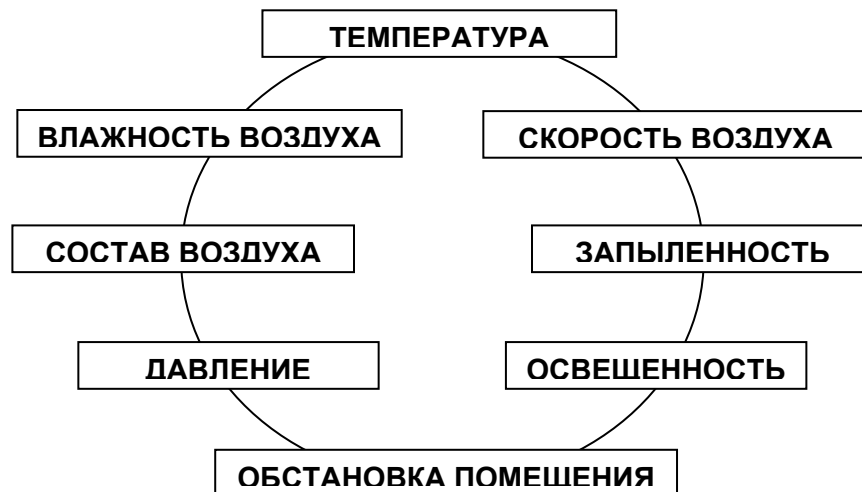


Рисунок 2.1 – Факторы, влияющие на человека в помещении

Оптимальные параметры микроклимата – это сочетание значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают нормальное тепловое состояние организма при минимальном напряжении механизмов терморегуляции и ощущение комфорта не менее чем у 80% людей, находящихся в помещении.

Микроклимат жилища определяется основными физическими параметрами: температурой, влажностью и скоростью движения воздуха, температурой окружающих поверхностей.

К параметрам микроклимата, которые необходимо обеспечить для комфортного состояния человека в помещении, относятся:

- температура внутреннего воздуха в помещении;
- радиационная температура внутренних поверхностей ограждений;
- подвижность воздуха в помещении, особенно вдоль пола;
- относительная влажность воздуха;
- кратность воздухообмена в помещении (изменчивость воздуха в течение часа);
- интенсивность излучения поверхностью тела человека.

Обеспечение экологического комфорта в жилых зданиях в значительной степени зависит от наружных климатических условий. Учитывая это, следует ориентироваться на отдельные критерии комфортности окружающей среды, систематизированные в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Биоклиматические критерии оценки факторов окружающей природной среды

Факторы среды	Комфорт	Дискомфорт	
		перегрев	охлаждение
Относительная влажность, %	30 - 70	Менее 30 Более 70	Более 80
Температура воздуха, °С	14-30 (южные районы)	Более 30	30-35 при скорости ветра 1,5 м/с
	12-26 (в умеренном климате)	Более 26	-25 при скорости ветра 2 м/с; -15 при скорости ветра 3,5 м/с
Скорость ветра, м/с	0,5 - 3,0	Менее 0,5 Более 3,0	Более 5 при отрицательной температуре и снегозаносах

Комфорт – это условия жизни, обеспечивающие удобство, спокойствие, уют.

Проблемам определения численных значений параметров комфортного микроклимата посвящено большое количество исследований. В отечественной литературе существует понятие условий комфортности, точнее три условия тепловой комфортности.

В 70-х годах прошлого века ВОЗ впервые ввела термин «синдром больных зданий (СБЗ)» (от англ. *Sick Building Syndrome*(SBS)), связанный с загрязнением воздуха в закрытых помещениях. В настоящее время 30–70% зданий в различных странах мира имеют проблемы с загрязнением воздуха, не связанные с производственно-технологическим процессом.

Первое условие комфортности температурной обстановки устанавливает область сочетаний температуры внутреннего воздуха $t_{в}$ и радиационной температуры помещения t_{R} , при которых человек, находясь в центре рабочей зоны, не испытывает ни перегрева, ни переохлаждения.

Первое условие комфортности оперирует понятиями температуры внутреннего воздуха $t_{в}$ и радиационной температуры помещения t_{R} – усредненная температура внутренних поверхностей помещения. Остальные параметры внутреннего воздуха и индивидуальные характеристики человека не учитываются.

Таким образом первое условие комфортности является уравнением теплового баланса организма человека и окружающей среды, и определяет такие сочетания параметров окружающей среды, при которых количество тепловой энергии, вырабатываемой организмом Q , равно количеству теплоты отдаваемой в окружающую среду:

$$Q = Q_o + Q_k + Q_u + Q_{исп} + Q_в,$$

где Q_o – теплопроводность через одежду;

Q_k – конвекция при обдуве воздухом тела человека;

Q_u – излучение на окружающие поверхности;

$Q_{исп}$ – испарение влаги с поверхности кожи;

$Q_в$ – нагрев вдыхаемого воздуха.

По данным многолетних и обширных исследований датский профессор Оле Фангер получил формулу энергетического баланса организма человека, которая учитывает значительное количество параметров окружающего микроклимата и индивидуальные характеристики человека (уравнение Фангера)

$$\begin{aligned} \frac{M}{A}(1 - \eta) - 0,35(1,92t_s - 25,3 - p_a) - \frac{E}{A} - 0,0023 \frac{M}{A}(44 - p_a) - \\ - 0,0014 \frac{M}{A}(34 - t) = \frac{t_s - t_{cl}}{0,18I_{cl}} = 3,4 \times 10^{-8} [(t_{cl} + 273)^4 - \\ - (t_{mrt} = 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a), \end{aligned}$$

где: M – уровень теплопродукции;

A – площадь поверхности тела;

η – коэффициент полезной деятельности механической работы мышц;

t_s – средневзвешенная температура кожи;

p_a – парциальное давление водяных паров в окружающем воздухе;

E – теплопотери вследствие испарения пота;

I_{cl} – термосопротивление от кожи до наружной поверхности одежды;

f_{cl} – отношение поверхностей одетого и обнаженного того же человека;

t_a – температура воздуха;

t_{mrt} – средняя радиационная температура;

h_c – коэффициент конвективного переноса тепла;

t_{cl} – средняя температура наружной поверхности одетого человека.

В уравнении учтены три параметра окружающей среды: температура, влажность и подвижность воздуха. В тоже время не учтен такой важный параметр, как газовый состав воздуха.

Второе условие комфортности устанавливает допустимые температуры нагретых и охлажденных поверхностей при нахождении человека в непосредственной близости от них.

С математической точки зрения, второе условие комфортности определяет границы изменения переменных, входящих в первое условие комфортности. Действительно, не все сочетания параметров окружающего воздуха, удовлетворяющих первому условию комфортности, являются комфортными

для человека. Например, можно подобрать температуру внутреннего воздуха и радиационную температуру помещения, при которых организм человека будет находиться в тепловом балансе с окружающей средой, но большие значения радиационной температуры будут вызывать дискомфорт и перегрев отдельных участков тела.

Не вдаваясь в особенности изменения предельных значений, можно выделить следующие границы параметров первого условия комфортности (одежда от 0,5 до 1,0 C_{lo} ; легкая работа; масса человека от 40 до 110 кг):

1. Температура внутреннего воздуха: 14°C – 27°C.
2. Относительная влажность внутреннего воздуха: 30% – 70%.
3. Скорость движения воздуха: 0,07 м/с – 0,6 м/с.
4. Расход воздуха на 1 человека: 0,2 м³/ч – 0,6 м³/ч.

Третье условие комфортности: *Параметры внутреннего микроклимата должны иметь возможность индивидуального регулирования с целью соответствия субъективным ощущением комфорта потребителя.*

На комфортную для организма температуру внутреннего воздуха влияют тип одежды и величина метаболизма.

Величина метаболизма человека зависит от многих факторов: активности, массы, роста, питания, возраста и так далее. Поэтому определение значения этой величины для конкретного человека с медицинской точки зрения невозможно. Так же невозможно заранее определить, какой тип одежды выберет человек, какой у него будет рост, вес и фактор конструкции.

Например, если метаболизм человека будет по каким-либо причинам отличаться от расчетного, или он наденет костюм с большей плотностью, или его физическая активность будет несколько больше, чем обычно все это приведет к тому, что температура в помещении не будет комфортной, несмотря на выполнение первого, и второго условий комфортности.

Поэтому для удовлетворения потребностей конкретного человека, чтобы индивидуальный уровень теплопродукции соответствовал теплопотерям в окружающую среду, параметры микроклимата должны устанавливаться индивидуально.

Таким образом:

1. Первое условие комфортности должно рассматриваться как условие энергетического и воздушного баланса человека и окружающей среды.
2. Комфортные параметры внутреннего микроклимата зависят от индивидуальных характеристик и требований людей.
3. Параметры внутреннего микроклимата должны иметь возможность индивидуального регулирования с целью соответствия субъективным ощущением комфорта потребителя.

2.2. Виды теплообмена

Теплообменом называют процесс теплопереноса, который протекает самопроизвольно, причиной его является неоднородное температурное поле в пространстве.

Температурным полем называют систему значений температуры в рассматриваемый момент времени для всех точек пространства.

Уравнение поля температур в общем виде записывают как:

$$T=F(x,y,z,\tau),$$

где T – температура; x, y, z – пространственные координаты; τ – время.

Если поле температур не изменяется с течением времени, то оно считается стационарным. Выделяют три вида теплообмена (рисунок 2.2):

- теплопроводность;
- конвекция (конвективный обмен теплом);
- излучение (теплообмен при излучении).



Рисунок 2.2 – Виды теплообмена

Теплопроводность. Теплопроводностью называют теплоперенос, который осуществляют молекулы и атомы вещества при хаотическом (тепловом) их движении.

Допустим, что вдоль оси Z в материале имеется градиент температуры, тогда в этой среде появляется поток тепла, который удовлетворяет уравнению Фурье:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dz},$$

где: q – плотность потока тепла, проходящего сквозь единицу поверхности перпендикулярную оси Z , Вт/м²;

$\frac{dT}{dz}$ – проекция температурного градиента на ось Z , °С/м;

λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м°С.

Знак минус в уравнении обозначает то, что поток тепла происходит в направлении уменьшения температуры, то есть получается, что знаки потока тепла и градиента температуры противоположные.

Поток тепла направлен нормально к изотермической поверхности, его положительное направление аналогично направлению наибольшего убывания температуры. Теплопроводность численно равна количеству теплоты, проходящей за единичное время сквозь единицу изотермической поверхно-

сти, если градиент температуры равен одному кельвину на метр. Чем больше λ , тем больше возможность материала к проведению тепла.

У металлов теплопроводность уменьшается при увеличении температуры (исключение составляет алюминий). Теплопроводность металлов изменяется от 2,3 до 420 Вт/(м К). У диэлектриков λ с ростом температуры увеличивается, это связано со структурой вещества, которое не является монолитом. На теплопроводность пористых материалов оказывает влияние влажность. При увеличении влажности растет теплопроводность. Для газов при увеличении температуры теплопроводность увеличивается, при этом у данных веществ теплопроводность почти не зависит от давления. У жидкостей при увеличении температуры λ уменьшается (исключение - вода). Для воды при увеличении температуры от 0 до 90⁰С λ растет, при дальнейшем увеличении температуры λ уменьшается.

Конвекция. Конвективным теплообменом (конвекцией) называют перенос тепла, при относительном перемещении макроскопических частей жидкостей или жидкостей по отношению к твердым телам. На практике конвекция сопровождается переносом тепла молекулами, а иногда и лучистым теплообменом. Практически значимой является конвекция: жидкости и поверхности твердого тела; газа и поверхности жидкости.

Выделяют два вида конвекции:

- свободную (естественную);
- вынужденную.

Свободная конвекция вызывается действием неоднородного поля внешних массовых сил (поля гравитации, инерции, электромагнитного поля). В связи с разными плотностями возникают архимедовы силы. При свободной конвекции сила движения вызвана градиентом плотности жидкости в том месте, где она контактирует с поверхностью тела, обладающего температурой отличной от температуры вдали от него.

Вынужденная конвенция идет при воздействии внешней поверхностной движущей силы, приложенной на границе системы, или однородного поля массовых сил, приложенных внутри жидкости. При этом процесс обтекания жидкостью поверхности происходит с более высокой (низкой) температурой, чем температура самой жидкости. При вынужденной конвекции скорость перемещения жидкости выше, чем при свободной, следовательно, при одинаковом изменении температур, передается большее количество теплоты.

Увеличение потока тепла связывают с необходимостью расходования энергии, затрачиваемой на перемещение жидкости. Конвективный перенос тепла имеется везде: в атмосфере Земли; в водах морей и океанов; в процессе обмена теплом с окружающей средой человека и животного; в технике в тепловых двигателях, котлах, печах, холодильниках и т.д.

Плотность потока тепла в процессе передачи тепла пропорциональна изменению температуры между жидкостью и поверхностью тела:

$$q = \alpha(t_{1c} - t_{2c}),$$

где α – коэффициент теплообмена.

Коэффициент теплообмена зависит от: поля действующих сил (типа конвекции); режима течения жидкости (ламинарное течение или турбулентное); скорости перемещения жидкости; геометрии твердого тела; физических параметров жидкости, например, теплопроводности, теплоемкости, плотности, вязкости.

Теплообмен излучением. Перенос теплоты при помощи электромагнитного поля называют теплообменом излучением.

Тепловое излучение (лучистый теплообмен) является сложным процессом, в котором преобразование энергии происходит два раза: тепловая энергия переходит в энергию электромагнитных волн; движение волн; поглощение электромагнитных волн веществом или телом. Процесс излучения происходит в виде испускания (поглощения) фотонов. При излучении электромагнитное поле уносит от источника излучения энергию.

Излучение связано с температурой. При увеличении температуры растет внутренняя энергия тела, следовательно, увеличивается интенсивность излучения. Кроме этого излучение зависит от вещества, состояния поверхности тела. Для газов излучение связано с толщиной излучающего слоя и давления. Многие твердые тела излучают все длины волн. Чистые металлы и газы способны излучать энергию определенных интервалов длин волн (селективное излучение).

2.3. Схема теплообмена человека с окружающей средой

Независимо от того, спит человек или бодрствует, организм постоянно расходует энергию, мерой измерения которой принят Джоуль, однако относительно физиологии, расчеты ведутся в килокалориях $1 \text{ ккал} = 4,184 \text{ Джоуля}$. Даже в состоянии полного покоя для поддержания таких процессов, как расщепление пищи, дыхание, работа внутренних органов и мышц, обновление клеток и др. тратится около 20 калорий на 1 кг веса у взрослого человека.

Жизнедеятельность человека сопровождается непрерывным выделением теплоты в окружающую среду. Ее количество зависит от степени физического напряжения в определенных климатических условиях и составляет от 85 Дж/с (в состоянии покоя) до 500 Дж/с (при тяжелой работе). Для того чтобы физиологические процессы в организме протекали нормально, выделяемая организмом теплота должна полностью отводиться в окружающую среду. Нарушение теплового баланса может привести к перегреву либо к переохлаждению организма и, как следствие, потери трудоспособности, быстрой утомляемости, потери сознания и тепловой смерти. Температура тела человека зависит от степени нарушения теплового баланса и уровня энергозатрат при выполнении физической работы. Температурный режим кожи играет основную роль в теплоотдаче.

Нормальное тепловое самочувствие имеет место, когда тепловыделение ($Q_{\text{ТП}}$) человека полностью воспринимается окружающей средой ($Q_{\text{ТО}}$), т.е. когда имеет место тепловой баланс $Q_{\text{ТП}} = Q_{\text{ТО}}$. В этом случае температура

внутренних органов остается постоянной. Если теплопродукция организма не может быть полностью передана окружающей среде ($Q_{mn} > Q_{mo}$), происходит рост температуры внутренних органов и такое тепловое самочувствие характеризуется понятием жарко.

Теплоизоляция человека, находящегося в состоянии покоя (отдых – сидя или лежа), от окружающей среды приведет к повышению температуры внутренних органов уже через 1 ч на 1,2 °С. Теплоизоляция человека, производящего работу средней тяжести, вызовет повышение температуры уже на 5 °С и вплотную приблизится к максимально допустимой. В случае, когда окружающая среда воспринимает больше теплоты, чем ее воспроизводит человек ($Q_{mn} < Q_{mo}$), то происходит охлаждение организма.

Теплообмен между человеком и окружающей средой осуществляется конвекцией (Q_k) в результате «омывания» тела воздухом, теплопроводностью (Q_m), излучением на окружающие поверхности ($Q_{из}$) и в процессе тепломассообмена при испарении влаги, выводимой на поверхность кожи потовыми железами ($Q_{ис}$) и при выдыхании (Q_B) (рисунок 2.3).

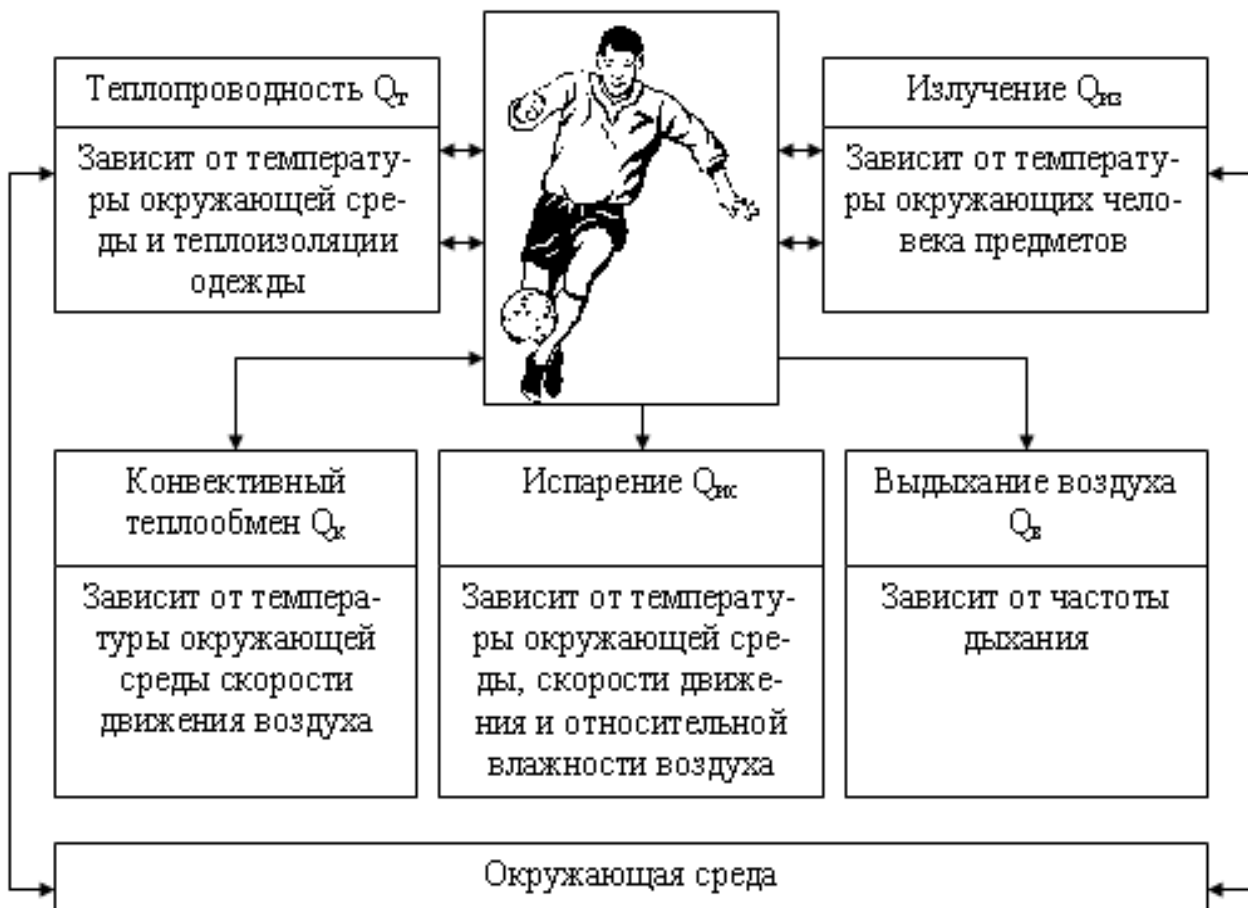


Рисунок 2.3 – Теплообмен между человеком и средой

Передача теплоты конвекцией тем больше, чем ниже температура окружающей среды и чем выше скорость движения воздуха. Заметное влияние оказывает и относительная влажность воздуха, так как коэффициент тепло-

проводности воздуха является функцией атмосферного давления и влагосодержания воздуха. Следовательно, величина и направление конвективного теплообмена человека с окружающей средой определяется в основном температурой окружающей среды, атмосферным давлением, подвижностью и влажностью воздуха. Теплопроводность тканей человека мала, поэтому основную роль в процессе транспортирования теплоты играет конвективная передача с потоком крови.

Частота дыхания человека непостоянна и зависит от состояния организма и его физической нагрузки. В состоянии покоя она составляет 12... 15 вдохов-выдохов в минуту, а при тяжелой физической нагрузке достигает 20...25. Объем одного вдоха-выдоха является функцией производимой работы. В состоянии покоя с каждым вдохом в легкие поступает около 0,5 л воздуха. При выполнении тяжелой работы объем вдоха-выдоха может возрастать до 1,5...1,8 л.

Таким образом, количество теплоты, выделяемой человеком с выдыхаемым воздухом, зависит от его физической нагрузки, влажности и температуры окружающего (вдыхаемого) воздуха.

Основными параметрами, обеспечивающими процесс теплообмена человека с окружающей средой, как было показано выше, являются параметры микроклимата. Процессы регулирования тепловыделений для поддержания постоянной температуры тела человека – терморегуляция, позволяют сохранять температуру внутренних органов постоянной, близкой к 36,5°C. Процессы регулирования тепловыделений осуществляются в основном тремя способами: биохимическим путем; путем изменения интенсивности кровообращения и интенсивности потовыделения.

Терморегуляция биохимическим путем заключается в изменении интенсивности происходящих в организме окислительных процессов. Например, мышечная дрожь, возникающая при сильном охлаждении организма, повышает выделение теплоты до 125...200 Дж/с.

Терморегуляция путем изменения интенсивности кровообращения заключается в способности организма регулировать подачу крови (которая является в данном случае теплоносителем) от внутренних органов к поверхности тела путем сужения или расширения кровеносных сосудов. Кровообращение при высокой температуре среды может быть в 20...30 раз больше, чем при низкой. В пальцах кровообращение может изменяться даже в 600 раз.

Терморегуляция путем изменения интенсивности потовыделения заключается в изменении процесса теплоотдачи за счет испарения. Испарительное охлаждение тела человека имеет большое значение.

В обычных условиях на большей части поверхности тела человека происходит неощутимое потоотделение, возникающее в результате диффузии воды без активного участия потовых желез. Исключение составляют поверхности ладоней, подошв и подмышечных впадин (составляющие примерно 10 % поверхности тела), на которых пот выделяется непрерывно.

Параметры микроклимата оказывают непосредственное влияние на тепловое самочувствие человека и его работоспособность (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Влияние дискомфорта микроклимата на человека

Так, понижение температуры и повышение скорости воздуха способствуют усилению конвективного теплообмена и процесса теплоотдачи при испарении пота, что может привести к переохлаждению организма. Повышение скорости воздуха ухудшает самочувствие, так как способствует усилению конвективного теплообмена и процессу теплоотдачи при испарении пота.

При повышении температуры воздуха возникают обратные явления. Установлено, что при температуре воздуха более 30°C работоспособность человека начинает падать. Предельная температура вдыхаемого воздуха, при которой человек в состоянии дышать в течение нескольких минут без специальных средств защиты, около 116 °С. Переносимость человеком температу-

ры, как и его теплоощущение, в значительной мере зависит от влажности и скорости окружающего воздуха. Чем больше относительная влажность, тем меньше испаряется пота в единицу времени и тем быстрее наступает перегрев тела. Особенно неблагоприятное воздействие на тепловое самочувствие человека оказывает высокая влажность при $t_{oc} > 30^{\circ}\text{C}$, так как при этом почти все выделяемая теплота отдается в окружающую среду при испарении пота. При повышении влажности пот не испаряется, а стекает каплями с поверхности кожного покрова. Возникает так называемое проливное течение пота, изнуряющее организм и не обеспечивающее необходимую теплоотдачу.

Недостаточная влажность воздуха также может оказаться неблагоприятной для человека вследствие интенсивного испарения влаги со слизистых оболочек, их пересыхания и растрескивания, а затем и загрязнения болезнетворными микроорганизмами. Поэтому при длительном пребывании людей в закрытых помещениях рекомендуется ограничиваться относительной влажностью в пределах 30...70 %.

Вопреки установившемуся мнению величина потовыделения мало зависит от недостатка воды в организме или от ее чрезмерного потребления. Считается допустимым для человека снижение его массы на 2...3 % путем испарения влаги – *обезвоживание организма*. Обезвоживание на 6 % влечет за собой нарушение умственной деятельности, снижение остроты зрения; испарение влаги на 15...20 % приводит к смертельному исходу.

Вместе с потом организм теряет значительное количество минеральных солей (в 1 л пота содержится 2,5...2,6 г хлорида натрия) и водорастворимых витаминов (С, В₁, В₂), что приводит к сгущению крови и ухудшению работы сердца. При высокой температуре воздуха легко расходуется углеводы, жиры, разрушаются белки.

Параметры микроклимата оказывают существенное влияние и на производительность труда. Производительность труда человека при температуре 29,4°C снижается на 13 %, а при температуре 33,6°C на 35 % по сравнению с производительностью при 26°C.

Оптимальные и допустимые нормы параметров микроклимата установлены санитарными нормами №4088 и ГОСТ 12.1.005_ "Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования".

При нарушении параметров микроклимата, разрабатывается комплекс технических мероприятий или медико-профилактических и индивидуальных защитных мер (рисунков 2.5).

Основным методом обеспечения требуемых параметров микроклимата и состава воздушной среды является применение систем вентиляции, отопления и кондиционирования воздуха.

Вентиляция – организованный и регулируемый воздухообмен, обеспечивающий удаление из помещения отработанного воздуха и подачу на его место свежего. Естественная неорганизованная вентиляция осуществляется за счет разности давления снаружи и внутри помещения. Для жилых помещений смена воздуха (инфильтрация) может достигать 0,5-0,75 объема в час, для промышленных 1,0-1,5 объема в час.



Рисунок 2.5 – Система мер защиты микроклимата от дискомфортных температур

Кондиционирование – искусственная обработка воздуха с целью поддержания оптимальных микроклиматических условий независимо от характера технологического процесса и условий внешней среды. В ряде случаев при кондиционировании воздух проходит дополнительную специальную обработку – обеспыливание, увлажнение, озонирование и др. Кондиционирование воздуха обеспечивает как безопасность жизнедеятельности, так и параметры технологических процессов, где не допускаются колебания температуры и влажности среды.

Контрольные вопросы.

1. Перечислить параметры, обеспечивающие комфортное состояние человека в помещении.
2. Первое условие температурной комфортности.
3. Второе условие температурной комфортности устанавливает...
4. Третье условие температурной комфортности – это...
5. Перечислите виды теплообмена.
6. Теплопроводностью называют...
7. Конвективным теплообменом (конвекцией) называют...
8. Теплообменным излучением называют...
9. Особенности теплообмена между человеком и окружающей средой.
10. Влияние дискомфорта микроклимата на человека.
11. Меры защиты микроклимата от дискомфортных температур.

Лекция 3. ТЕПЛОЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

План лекции.

- 3.1. Задачи теплозащиты зданий и сооружений.
- 3.2. Теплопередача в нестационарных условиях.
- 3.3. Теплоустойчивость ограждающих конструкций.
- 3.4. Требования по теплозащите здания в целом.
- 3.5. Воздухопроницаемость, паропроницаемость ограждающих конструкций.

3.1. Задачи теплозащиты зданий и сооружений

Задачи теплозащиты зданий и сооружений следующие:

- обеспечение комфортной температуры воздуха в помещениях (оптимально 20-22°C):

- обеспечение требуемой температуры внутренних поверхностей, ограждающих помещение: стены – минимум 16–18°C (если температура ниже, то появляется ощущение сквозняка около стен, на стенах возможно выпадение конденсата); полов – оптимально 22–24°C;

- накопление тепла в ограждающих конструкциях (тепловая инерция). Быстрый нагрев и быстрое охлаждение помещений под влиянием солнечного тепла являются отрицательным качеством ("барачный микроклимат");

- обеспечение нормальной относительной влажности воздуха в помещении (50–60%); менее 40% – сухость слизистой оболочки, более 60% – парниковый микроклимат;

- ограничение движения воздуха: максимально – 0,2 м/с, больше 0,2 м/с – возникает ощущение сквозняка.

Теплозащита должна обеспечить комфорт в помещении как в зимних (защита от холода), так и в летних условиях (защита от перегрева), что очень значимо при создании комфортных условий исходя из требований экономии энергии. В этой связи велико значение теплозащиты, отвечающее требованиям охраны окружающей среды. Чем меньше сжигается топлива, тем меньше выбросы вредных газов (углекислый газ CO_2 , угарный газ CO , оксиды азота и серы), которые в соединении с атмосферной влагой образуют кислоты, выпадающие в виде кислотных дождей разрушающих природную среду, здания и сооружения, тем самым теплозащита становится элементом защиты природной среды.

Задачи обеспечения комфортного температурно-влажностного режима решаются двумя способами.

Первый способ – это создание такого архитектурно-планировочного и конструктивного решения зданий, которое обеспечивало бы минимальные теплопотери и максимальные поступления тепла от Солнца зимой и минимальные теплопоступления в здание в летнее время.

Второй способ – это оборудование здания современными надежными

системами отопления, вентиляции и охлаждения воздуха.

Таким образом, инженеры-строители и архитекторы проектируя здания и конструкции, решают задачу комфортного температурно-влажностного режима первым способом. При этом от качественного решения этой задачи, зависит энергоэкономичность работы инженерного оборудования.

3.2. Теплопередача в нестационарных условиях

Создание в помещениях зданий комфортной внутренней среды зависит в частности от теплотехнических качеств наружных ограждающих конструкций. Для упрощения теплотехнических расчетов их обычно проводят для случая установившегося потока тепла, принимая внутреннюю и наружную расчетные температуры постоянными.

Строительная теплотехника изучает процессы передачи тепла и воздухопроницаемости через ограждающие конструкции зданий, а также влажностный режим ограждающих конструкций, связанный с процессом передачи тепла. Общая схема физико-климатических воздействий на стены зданий приведена на рисунке 3.1.

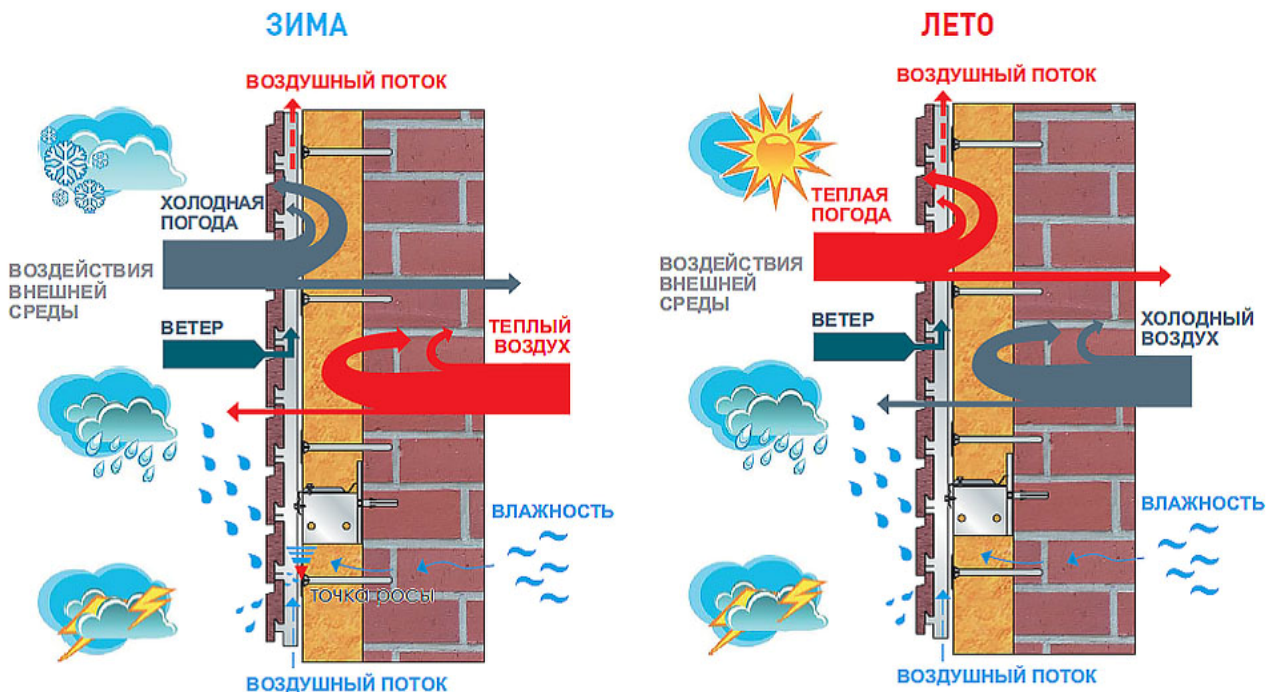


Рисунок 3.1 – Основные физико-климатические воздействия на стены зданий

К воздействиям наружного климата относятся солнечная радиация, температура и влажность воздуха, дожди и ветер. Внутренние воздействия на ограждения зданий складываются из температуры и влажности внутреннего воздуха и парциального давления водяного пара.

Таким образом, тепловое состояние ограждающих конструкций, определяется переменными во времени внешними температурными воздействиями и требованиями стабильности параметров внутренней среды и является

основным объектом расчетов и моделирования в задачах проектирования тепловой защиты зданий.

При этом обычно разделяются теплофизические расчеты для условий холодного времени года с учетом наиболее низких температур наружного воздуха, которые принято называть *расчетами теплозащиты зданий*, и условий для южных регионов страны в теплое время года с учетом периодического нагрева и охлаждения при ежедневном облучении здания солнцем, которые принято называть *расчетами теплоустойчивости*.

В первом случае для расчетов температурных полей в ограждающих конструкциях обычно принимаются условия постоянства температур наружной и внутренней сред и установившейся теплопередачи, а во втором случае условия установившейся периодичности теплопередачи.

В результате физико-климатических воздействий, в наружных стенах зданий возникают три основных физических процесса, которые следует учитывать при проектировании теплозащиты зданий: теплопередача, паропроницаемость и воздухопроницаемость.

3.3. Теплоустойчивость ограждающих конструкций

Тепловой поток (теплопередача) от одной поверхности ограждающей конструкции к другой возникает при разности температур Δt на противоположных поверхностях ограждений. Направление потока тепла – от поверхности с высокой температурой к поверхности с более низкой температурой. Зимой – из помещения на улицу, летом возможен обратный поток тепла, особенно при облучении фасадов зданий солнечной радиацией.

В простейшем виде ограждающая конструкция здания по своей расчётной схеме представляет плоскую конструкцию (стенку), ограниченную параллельными поверхностями. Она разделяет воздушные среды с разными температурами. Через плоскую однослойную ограждающую конструкцию поток тепла проходит перпендикулярно к её поверхности (рисунок 3.2).

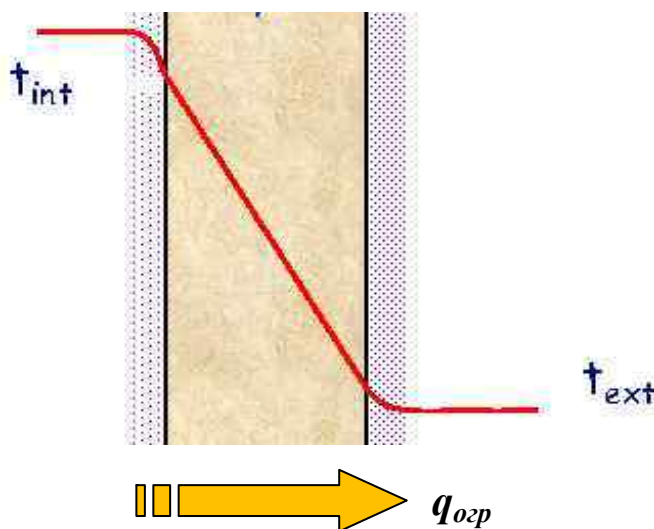


Рисунок 3.2 – Перенос теплового потока через однослойную стенку

Удельный тепловой поток ($q_{огр}$, Вт/м²) – количество тепла, проходящего через 1 м² площади ограждения за 1 час, прямо пропорционален разности температур на противоположных сторонах ограждения Δt в °С и обратно пропорционален сопротивлению теплопередаче конструкции ограждения R_{mk} , (м² °С)/Вт (термическое сопротивление):

$$q_{огр} = (t_{int} - t_{ext})/R_{mk},$$

где t_{int} и t_{ext} – расчётная температура внутренней и наружной поверхности ограждающей конструкции.

Зная удельный тепловой поток, можно вычислить общее количество теплоты $Q_{огр}$, Дж, которое передается через плоскую стенку с площадью поверхности F за время τ

$$Q_{огр} = \frac{(t_{int} - t_{ext})}{R_{mk}} \cdot F \cdot \tau.$$

Сопротивление теплопередаче ограждения показывает величину падения температуры при прохождении через конструкцию удельного теплового потока

$$R_{mk} = \delta/\lambda,$$

где δ – толщина ограждающей поверхности, м;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С).

Коэффициент теплопроводности λ – расчетная величина, показывающая количества тепла в Вт·с, которое проходит в стационарном режиме в 1 секунду через 1 м² слоя материала толщиной 1 м, когда разница температур на внешней и внутренней поверхности слоя составляет 1 Кельвин (1К≈1°С).

Закономерность – чем больше λ , тем больше теплопроводность, чем меньше λ , тем лучше теплоизоляция.

Для многослойных конструкций общее термическое сопротивление равно сумме значений термических сопротивлений последовательно расположенных однородных слоев (рисунок 3.3).

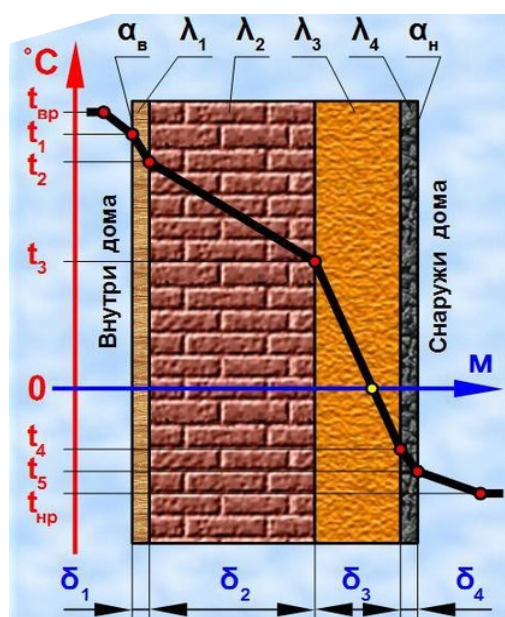


Рисунок 3.3 – К теплотехническому расчету многослойного ограждения

$$R = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^{i=n} R_i.$$

Оценка потока тепла из одной среды в другую, в частности воздушную, через ограждающую конструкцию предполагает дополнительно учет теплообмена между средой и поверхностью.

При условии различия температур сред внутренней и внешней по отношению к ограждению и постоянства их величин тепловой поток принято считать установившимся или стационарным, не изменяющим своей величины и направления.

Обычно в качестве таких температур принимается расчетная температура наружного воздуха в холодный период года t_{ext} , а также расчетная температура внутреннего воздуха t_{int} в соответствии с назначением помещения.

Постоянный тепловой поток через ограждение в направлении от внутренней к внешней среде можно определить в виде:

$$Q = K_o \cdot \Delta t,$$

где K_o – общий коэффициент теплопередачи ограждения;

Δt – разность температур внутренней и наружной среды $^{\circ}\text{C}$.

Тогда задача оценки потока тепла из одной среды в другую сводится к определению общего K_o коэффициента теплопередачи.

Величина, обратная общему коэффициенту теплопередачи обычно называется общим сопротивлением теплопередаче и равняется:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{ext}} = R_{int} + R + R_{ext} = R_{int} + \sum_{i=1}^{i=n} R_i + R_{ext},$$

где α_{int} и α_{ext} – коэффициент теплоотдачи, соответственно внутренней и наружной поверхности;

R_{int} и R_{ext} – сопротивление теплоотдаче, соответственно внутренней и наружной поверхности ограждающей конструкции;

R и $\sum R_i$ – термическое сопротивление однослойного и многослойного ограждения;

n – количество слоев ограждения.

Выражение для общего сопротивления теплопередаче R_0 представляет собой сумму сопротивлений переходов потока тепла последовательно от внутренней среды к внутренней поверхности ограждения, в толще ограждения и от наружной поверхности ограждения к наружной среде, а выражение для потока тепла из одной среды в другую примет вид:

$$Q = \frac{t_{int} - t_{ext}}{R_0}.$$

Основным условием теплотехнических расчетов является выполнение трех показателей тепловой защиты здания:

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;

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.

Условие энергосбережения – приведенное сопротивление теплопередаче R_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, ограждающих конструкций, а также окон и фонарей (с вертикальным остеклением или с углом наклона более 45°) следует принимать не менее нормируемых значений R_{red} , имеет вид:

$$R_0 > R_{req}$$

$$R_{req} = aD_d - b,$$

где D_d – продолжительность градусо-суток отопительного периода ($^\circ\text{C}$ сут.);
 a и b – коэффициенты, принимаемые по СНиП в зависимости от типа зданий и ограждающих конструкций.

Градусо-сутки отопительного периода D_d , определяют по формуле

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) z_{ht},$$

где t_{int} – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, $^\circ\text{C}$, принимаемая по ГОСТ 30494-2011;

t_{ht} , z_{ht} – средняя температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$, и продолжительность, сут, отопительного периода, принимаемые по СП 50.13330.2012.

Отопление зданий осуществляется при средней температуре наружного воздуха $\leq 8^\circ\text{C}$ в сутки.

Теплонакопительная способность стен играет большую роль, как для летней, так и для зимней теплозащиты зданий.

На рисунке 3.4 приведены схемы теплонакопительной способности стен при различных условиях размещения теплоизоляции.

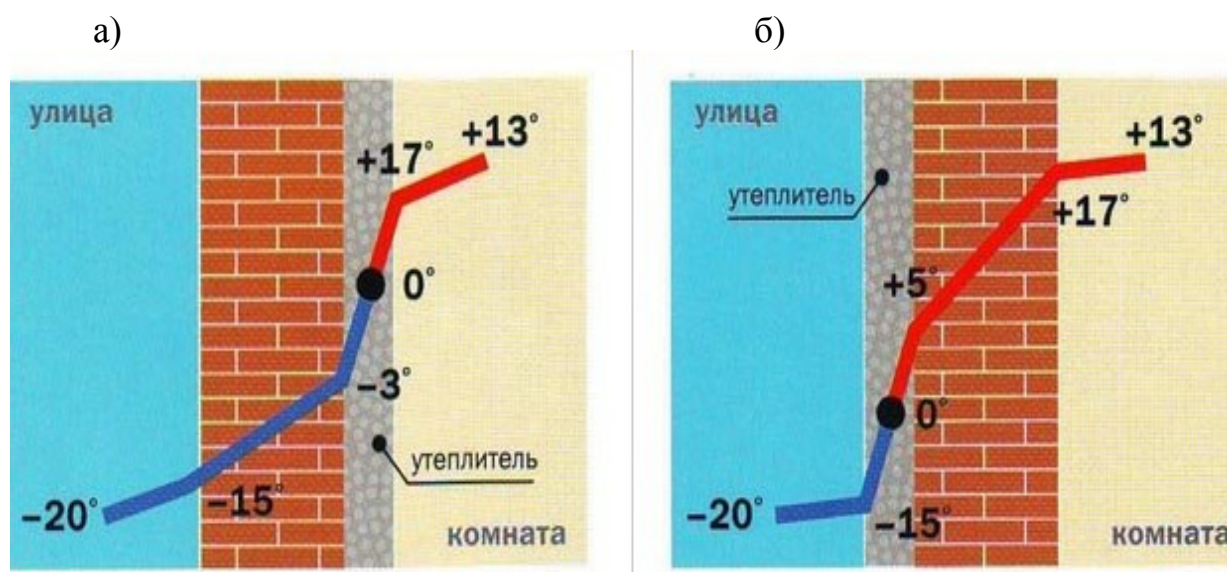


Рисунок 3.4 – Теплонакопительная способность стен

Летом: конструкции, ограждающие помещения, в течение дня накапливают часть тепловой энергии и отдают ее вечером и в ночные часы в охлаждающийся воздух помещения.

Теплонакопительная способность тем больше:

- чем больше поверхностная плотность конструкции (в $\text{кг}/\text{м}^2$);
- чем больше разность температур между конструкцией и воздухом.

Зимой: конструкции, ограждающие помещения в период работы отопления накапливают тепло и могут отдавать его в воздух помещения при отключения отопления. Кроме того, за счет теплонакопления вблизи стен не возникает сквозняков, а стена может излучать тепло.

В строительной теплотехнике существует 2 типа задач, а именно:

- прямая задача – определить толщину ограждающей конструкции, которая отвечала бы основным теплотехническим требованиям;
- обратная задача – ограждающая конструкция известна, и требуется проверить её теплотехнические свойства.

3.4. Требования по теплозащите здания в целом

Проект здания следует разрабатывать на основе требуемой величины удельного расхода тепловой энергии на отопление проектируемого здания. Выбор величин приведенного сопротивления теплопередаче отдельных элементов теплозащиты зданий следует начинать с требуемых значений, приведенных в СП 50.13330.2012 (СНиП 23-02-2003), которые направлены на обеспечении двух основных условий: санитарно-гигиенических и экономических:

Санитарно-гигиенические условия характеризуются тремя нормативными параметрами:

- минимально допустимой температурой внутреннего воздуха в помещении (t_{int}) при температуре наружного воздуха в наиболее холодную пятидневку года с обеспеченностью 92% (t_{ext}), т.е. в пятидневку, холодней которой бывают только пятидневки в 8% зим в данной местности. Для жилых помещений нормативное значение $t_{int} = 20^\circ\text{C}$;

- максимально допустимым перепадом (Δt_n) между температурой внутреннего воздуха (t_{int}) и температурой внутренней поверхности ограждающих конструкций дома. В жилых помещениях для поверхностей наружных стен нормативное значение – $\Delta t_n = 4^\circ\text{C}$, для покрытий и чердачных перекрытий – $\Delta t_n = 3^\circ\text{C}$ и для перекрытий над подвалами и подпольями – $\Delta t_n = 2^\circ\text{C}$. Этот показатель определяет возможность и интенсивность трех процессов: вероятность выпадения конденсата на внутренних поверхностях ограждающих конструкций, величину теплового потока через ограждение и интенсивность потерь тепла всеми внутренними поверхностями дома, включая кожу человека, путем инфракрасного излучения;

- температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции (за исключением вертикальных светопрозрачных конструкций) в зоне теплопроводных включений (диафрагм, перемычек, сквозных швов из раствора, сты-

ков панелей, ребер, шпонок и др.), в углах стен и оконных откосах, которая должна быть не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха при расчетной температуре наружного воздуха в холодный период года (t_{ext}).

Экономические условия характеризуются двумя нормативными показателями:

– удельным (на 1 м² отапливаемой площади дома, при перепаде температур $\Delta t_n = 1^\circ\text{C}$, за одни сутки) расходом тепловой энергии на отопление дома q_n , кДж/(м²·°C·сут). Нормативные значения q_n для индивидуальных жилых домов находятся в диапазоне 70 – 140 кДж/(м²·°C·сут) и определяются в зависимости от площади дома (больше площадь – меньше q_n) и его этажности (больше этажей – больше q_n);

– нормативным сопротивлением теплопередаче ограждающей конструкции R_{req} , м²·°C/Вт, которое определяется из условия оптимального соотношения стоимости материала теплоизоляционного слоя (единовременные затраты) и стоимости тепловой энергии, проходящей через конструкцию в отопительный период (эксплуатационные расходы).

В зависимости от конструктивной схемы здания, наружные стены подразделяются на три типа:

1. Несущие стены – воспринимают нагрузку от всего здания, имеют мощный фундамент заданной несущей способности.

2. Самонесущие стены – являются самостоятельным элементом здания, конструктивно соединены с несущими конструкциями здания, воспринимают нагрузку только от собственного веса, под эту нагрузку проектируется фундамент.

3. Навесные стены – это элементы фасада здания, закрепляемые к несущим конструкциям в пределах одного или нескольких этажей, могут выполняться из мелкоштучных изделий или в панельных вариантах.

В несущих стенах прочность и теплозащита обеспечиваются, как правило, одним и тем же материалом. Причем толщина такой стены часто определяется не требованием прочности, а обеспечением теплозащиты.

Толщина классических несущих стен из керамического или силикатного кирпича в 64 см (до перехода на повышенную теплозащиту) определялась необходимой теплозащитой. Такие стены имели большой запас прочности.

В навесных стенах прочность обеспечивается в пределах одного этажа и она менее выражена, чем в несущих стенах, то есть могут использоваться менее прочные материалы. Основное внимание в этом типе стен уделяется обеспечению теплозащиты и декоративной отделке фасадов. В навесных стенах появляется возможность значительно сократить толщину ограждения за счет использования высокоэффективных теплоизоляционных материалов.

Самонесущие стены занимают с этой точки зрения промежуточное положение.

Краткий анализ трех типов стен показал, что наружное ограждение должно обеспечивать несколько функций одновременно: прочность, теплозащиту и декоративные качества фасадов. В связи с этим, более детально рассмотрим функциональные слои наружных стен.

Функциональные слои наружных стен. В наружных стенах основными являются четыре функциональных слоя:

Конструкционный слой. Основное назначение слоя – обеспечить прочность стены. Выполняется из плотных, прочных материалов, имеющих, как правило, высокую теплопроводность и низкую паропроницаемость. Конструкционный слой выполняется из таких материалов, как кирпич, различные виды бетонов, железобетон, природные и искусственные камни, металл.

Теплоизоляционный слой. Основное назначение слоя – обеспечить теплозащитные характеристики стены. Выполняется из высокопористых материалов, которые имеют низкую прочность, низкую теплопроводность и высокую паропроницаемость. Теплоизоляционные слои выполняются из минераловолокнистых матов или плит, пенопластов, ячеистых бетонов и других аналогичных материалов.

Паро-, ветро-, влагоизоляционные слои. Это листовые или обмазочные материалы с избирательными характеристиками по проницаемости к водяному пару, ветру и влаге.

Облицовочные слои. Основное назначение слоя – декоративное завершение фасада. Выполняется из лицевого кирпича, плит из природного камня, керамических материалов, асбестоцементных изделий, из листов стекла, металла, полимеров, из декоративных штукатурок.

В зависимости от конструкции ограждения, различные слои или материалы могут выполнять несколько функций. Например, кирпич является конструктивно-теплоизоляционным материалом.

Выделенные виды сходны между собой теплофизическими процессами, которые проходят в ограждениях в условиях эксплуатации:

- однослойные (сплошные) стены;
- двухслойные стены с наружным утеплением;
- трехслойные стены с внутренним теплоизоляционным слоем;
- стены с невентилируемой воздушной прослойкой;
- стены с вентилируемой воздушной прослойкой.

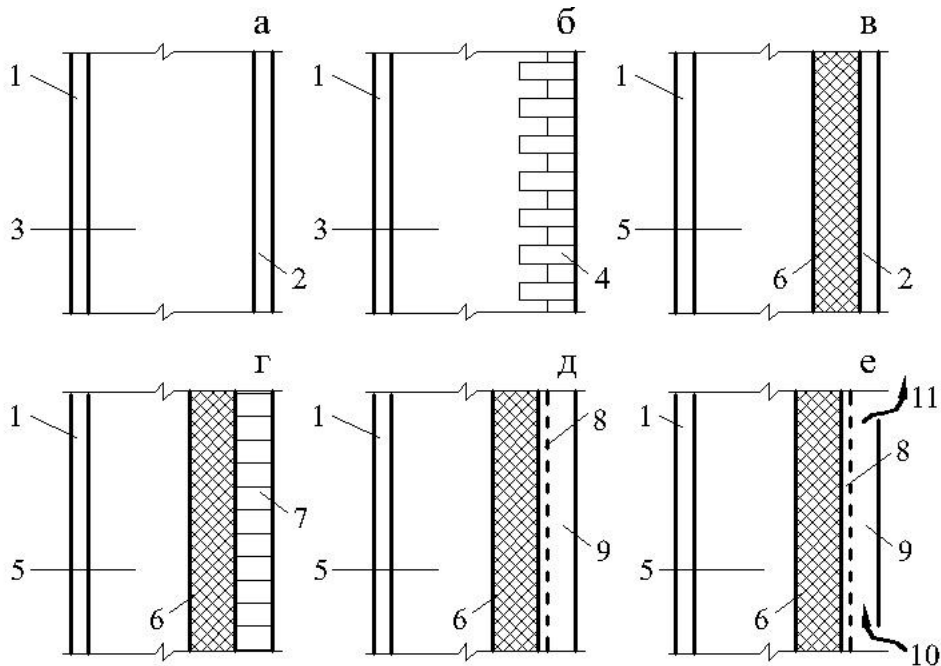
Каждый из видов наружных стен имеет свои особенности, достоинства и недостатки, имеет области наиболее эффективного использования. Задача проектировщика состоит в том, чтобы, исходя из требований к проекту, выбрать наиболее оптимальную конструкцию наружных стен.

Однослойные, или сплошные, стены выполняются из конструктивно-теплоизоляционных материалов, таких как кирпич, керамические пустотелые блоки, легкобетонные блоки и другие подобные материалы (рисунок 3.5, а и 3.5, б). Они могут иметь штукатурные слои с одной или двух сторон (рисунок 3.5, а) или наружный слой из лицевого кирпича, которые составляют сплошное сечение со стеной (рисунок 3.5, б).

Двухслойные стены (рисунок 3.5, в) состоят из конструкционного слоя, который выполняется из кирпича, бетонных блоков, монолитного бетона или железобетона, а также других аналогичных материалов.

Теплоизоляционный слой закрепляется на наружной стороне конструкционного слоя посредством клея или дюбелей. По теплоизоляционному слою

по сетке устраивается лицевой штукатурный слой (рисунок 3.5, в). В качестве теплоизоляционного слоя используются плиты из минеральных или стеклянных волокон, пенопласты или теплоизоляционные бетоны.



а, б – однослойные; в – двухслойные с наружным утеплением (штукатуркой по сетке); г – трехслойные с облицовочным слоем из кирпича (камня); д – с невентилируемой воздушной прослойкой; е – то же с вентилируемой; 1 и 2 – соответственно внутренняя и наружная штукатурка; 3 – конструктивно-теплоизоляционный материал; 4 – лицевой кирпич (камни), составляющие сплошное сечение со стеной; 5 – конструктивный материал; 6 – теплоизоляционный слой; 7 – лицевой кирпич (камни), связанные с конструктивным слоем гибкими связями; 8 – ветро-влагонепроницаемая пленка; 9 – листовые (плитные) облицовочные слои; 10 – приточное отверстие; 11 – вытяжное отверстие

Рисунок 3.5 – Схемы конструктивных решений наружных стен, как объектов теплозащиты

Трехслойные стены аналогичны двухслойным, однако в качестве лицевого слоя используется не штукатурка, а кирпич, природные или искусственные камни (рисунок 3.5, г). В качестве теплоизоляционного слоя используются аналогичные материалы, но их номенклатура и свойства будут отличаться.

Стены с воздушной прослойкой (вентилируемой и невентилируемой) (рисунок 3.5, д и 3.5, е), состоят из конструктивного слоя, теплоизоляционного слоя и ветро-влагонепроницаемой пленки, которая, в то же время, свободно выпускает водяные пары. Облицовочные плиты могут выполняться из природного камня, керамогранита, стекла, стали, полимеров и т.д.

Отличие фасада с вентилируемой прослойкой состоит в том, что у цоколя здания и у карниза воздушная прослойка сообщается с атмосферным воздухом (рисунок 3.5, е), за счет чего в прослойке создается движение воз-

духа, побуждаемое гравитационными силами (тепловым напором). Движение воздуха в прослойке усиливает удаление водяных паров из теплоизоляционного материала.

При проектировании стен с вентилируемой воздушной прослойкой следует руководствоваться следующими рекомендациями:

- воздушная прослойка должна быть толщиной не менее 60 и не более 150 мм, и ее следует размещать между наружным покровным слоем и теплоизоляцией;

- допускается толщина воздушной прослойки и 40 мм в случае обеспечения гладких поверхностей внутри прослойки;

- поверхность теплоизоляции, обращенную в сторону прослойки, следует закрывать стеклотканью или стеклотканью;

- наружный покровный слой стены должен иметь вентилируемые отверстия, площадь которых определяется из расчета 75 см^2 на 20 м^2 площади стен, включая площадь окон;

- при использовании в качестве наружного слоя облицовки из плит горизонтальные швы должны быть раскрыты (не должны заполняться уплотняющим материалом).

При проектировании зданий:

- воздухопроницаемость ограждающих конструкций зданий должна быть не более нормативных значений, указанных в СНиП. Требуемое сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций, также следует определять согласно СНиП;

- требуемое сопротивление паропроницанию наружных ограждающих конструкций следует определять согласно СНиП. Поверхность пола жилых и общественных зданий должна иметь показатель теплоусвоения не более нормативных величин.

- суммарная площадь окон жилых зданий согласно СНиП должна быть не более 18% от суммарной площади светопрозрачных и непрозрачных ограждающих конструкций стен, если приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачных конструкций меньше $0,56 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ и не более 25%, если светопрозрачных конструкций и более.

3.5. Воздухопроницаемость, паропроницаемость ограждающих конструкций

Воздухопроницаемость ограждающих конструкций. В соответствии с СП воздухоизоляционные свойства строительных материалов и конструкций характеризуются сопротивлением их воздухопроницанию R_{inf}^{des} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{кг}$, которое должно быть не менее нормируемого сопротивления воздухопроницанию R_{inf}^{des} , определяемого согласно СП 50.13330.2012.

Сопротивление воздухопроницанию многослойной ограждающей конструкции R_{inf}^{des} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{кг}$, следует определять по формуле

$$R_{inf}^{des} = R_{inf1} + R_{inf2} + \dots + R_{inf n},$$

где R_{inf1} , R_{inf2} , ..., $R_{inf n}$ – сопротивления воздухопроницанию отдельных сло-

ев ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$, принимаемые по СП.

Сопротивление воздухопроницанию заполнений светопроемов следует определять согласно СП 50.13330.2012 и сравнивать со значениями, полученными в результате сертификационных испытаний Приложения С.

Проверка ограждающих конструкций на соответствие требованиям СП по сопротивлению воздухопроницанию осуществляется следующим образом.

Определяют разность давлений воздуха Δp , Па, на наружной и внутренней поверхностях заполнения оконного проема на уровне пола первого надземного этажа проектируемого здания по формуле

$$\Delta p = 0,55H(g_{ext} - g_{int}) + 0,03g_{ext}v^2,$$

где H – высота здания (от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты), м;

g_{ext} , g_{int} – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, $\text{Н} / \text{м}^3$, определяемый по формулам:

$$g_{ext} = 3463 / (273 + t_{ext}); \quad g_{int} = 3463 / (273 + t_{int}),$$

t_{ext} и t_{int} – расчетная температура, соответственно наружно и внутреннего воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

v – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость, которых составляет 16 % и более (при стандартной высоте 10 м), принимаемая по СНиП; для зданий высотой свыше 60 м v следует умножать на коэффициент V изменения скорости ветра по высоте.

Паропроницаемость ограждающих конструкций. Большое влияние на теплозащитные свойства наружных ограждений оказывает влажностное состояние материала конструкции.

Увеличение влажности материала вызывает увеличение коэффициента теплопроводности и, следовательно, уменьшение сопротивления теплопередаче и уменьшает долговечность конструкции в целом. В качестве примера на рисунке 3.6 приведена зависимость коэффициента теплопроводности газосиликатных блоков разных марок от их влажности.

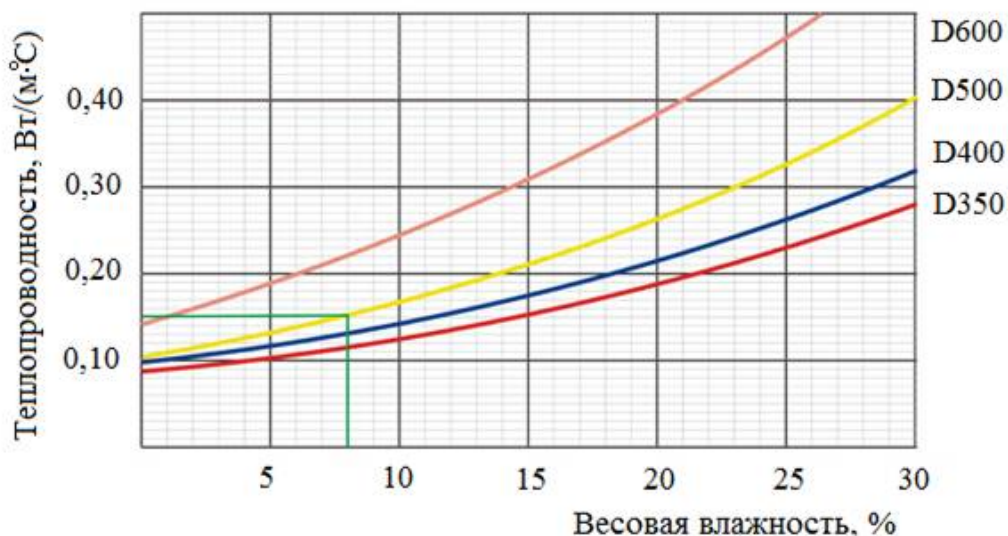


Рисунок 3.6 – Зависимость коэффициента теплопроводности газосиликатных блоков от влажности

То есть с увеличением влажности с 10% до 30% приводит к увеличению теплопроводности более чем вдвое, независимо от прочности силикатных блоков.

Очень часто конденсация влаги является основной причиной повышения влажности ограждения. Увеличение влажности материала способствует развитию плесени и грибков, коррозии, ухудшению морозостойкости и долговечности конструкций. В связи с этим правильная оценка влажностного режима ограждения и вовремя проведенные мероприятия по его улучшению позволяют повысить теплозащитные и эксплуатационные характеристики наружных ограждающих конструкций.

В строительных конструкциях могут содержаться различные виды влаги: строительная, грунтовая, метеорологическая, эксплуатационная, гигроскопическая и конденсационная.

После разового случайного увлажнения конструкция постепенно осушается, достигая состояния равновесного влагосодержания с окружающей средой. При систематическом увлажнении конструкция постоянно находится в переувлажненном состоянии. Наиболее частым видом увлажнения является увлажнение материала конструкции конденсационной влагой.

При разности парциальных давлений водяных паров внутреннего и наружного воздуха в толще ограждения возникает их диффузия. Способность материала пропустить водяные пары называется *паропроницаемостью*, которая характеризуется коэффициентом μ .

В холодный период года температура воздуха в отапливаемом помещении значительно выше температуры наружного воздуха. При сравниваемых значениях относительной влажности в помещении и снаружи теплый воздух всегда содержит большее количество водяного пара, чем холодный. В связи с этим парциальное давление водяного пара в воздухе помещения e_{int} будет выше давления водяного пара наружного воздуха e_{ext} . Разность этих давлений ($e_{int} - e_{ext}$) достигает $\approx 8-10$ мм рт. ст.

Величину парциального давления внутри помещения или наружного воздуха рассчитываем исходя из формулы

$$e_{int(ext)} = \varphi_{в(н)} \cdot E_{int(ext)} / 100, \%$$

где $\varphi_{в(н)}$ – относительная влажность воздуха внутри (снаружи) помещения;

$E_{int(ext)}$ – парциальное давление насыщенного водяного пара, принимаемое при температуре внутри (снаружи) помещения, Па.

Под влиянием разности парциальных давлений возникает поток водяного пара, направленный от внутренней поверхности конструкций к наружной.

При диффузии через ограждение водяной пар понижает свою упругость (парциальное давление) из-за сопротивления паропроницанию ограждающей конструкции R_{vp} , $m^2 \cdot ч \cdot Па / мг$:

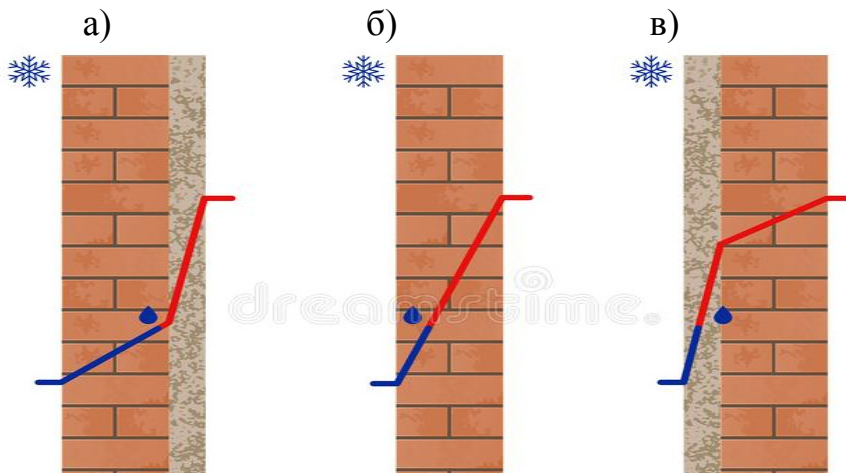
$$R_{vp} = \sum \delta_i / \mu_i$$

где μ_i – расчетный коэффициент паропроницаемости материала i -того слоя, $мг / (м \cdot ч \cdot Па)$ (принимается по приложению Д СП 23-101-2004).

Коэффициент паропроницаемости – это количество влаги в граммах,

которое проходит в единицу времени через слой материала площадью 1 м^2 и глубиной $\delta = 1\text{ м}$ при единичной разности парциальных давлений противоположных поверхностей слоя. Примеры коэффициентов паропроницаемости некоторых материалов: рубероида $\mu_{\text{руб}} = 0,00018\text{ г/ м ч мм рт. ст.}$; утеплителя $\mu_{\text{ут}} = 0,065(0,055)\text{ г/ м ч мм рт. ст.}$; кирпича $\mu_{\text{кирп}} = 0,014\text{ г/ м ч мм рт. ст.}$; раствора $\mu_{\text{раст}} = 0,012\text{ г/ м ч мм рт. ст.}$

Согласно СНиП 23-02-2003 плоскость возможной конденсации в однородном ограждении располагается на расстоянии, равном $2/3$ толщины конструкции от ее внутренней поверхности, а в многослойной совпадает с наружной поверхностью утеплителя (рисунок 3.7).



а – слой теплоизоляции внутри ограждения; б – однородное ограждение; в – слой теплоизоляции снаружи ограждения

Рисунок 3.7 – Плоскость возможной конденсации в ограждающей конструкции

Сопротивление паропроницанию воздушных прослоек в ограждениях следует принимать равным нулю.

Не проверяются на соответствие требованиям по паропроницанию:

а) однородные (однослойные) наружные стены помещений с сухим и нормальным режимами;

б) двухслойные наружные стены помещений с сухим и нормальным режимами, если внутренний слой стены имеет сопротивление паропроницанию более $1,6\text{ м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/мг}$.

Порядок расчета нормируемого сопротивления паропроницанию $R_{\text{vp}}^{\text{req}}$, $\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/мг}$:

– из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации

$$R_{\text{vp1}}^{\text{req}} = R_{\text{vp}}^e \cdot (e_{\text{int}} - E) / (E - e_{\text{ext}}); \quad (1)$$

– из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха

$$R_{\text{vp2}}^{\text{req}} = 0,0024 \cdot z_0 \cdot (e_{\text{int}} - E_0) / (r_w \cdot d_w \cdot D w_{\text{av}} + h), \quad (2)$$

где R_{vp}^e – сопротивление паропроницанию, части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$;

e_{int}, e_{ext} – парциальное давление водяного пара соответственно внутреннего и наружного воздуха, Па, определяемое по формулам

$$e_{int} = (j_{int}/100) \cdot E_{int} \quad \text{и} \quad e_{ext} = (j_{ext}/100) \cdot E_{ext}$$

j_{int}, j_{ext} – относительная влажность соответственно внутреннего и наружного воздуха, %;

E_{int}, E_{ext} – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, принимаемое при температуре соответственно t_{int} и t_{ext} ;

E – парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации, определяемое как

$$E = (E_1 \cdot z_1 + E_2 \cdot z_2 + E_3 \cdot z_3) / 12,$$

E_1, E_2, E_3 – парциальные давления водяного пара, Па, принимаемые по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов;

z_1, z_2, z_3 – продолжительность месяцев, соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов;

z_0 – продолжительность, сут., периода влагонакопления, принимаемая равной периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха;

E_0 – парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации, определяемое при средней температуре наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами;

r_w – плотность материала увлажняемого слоя, $\text{кг} / \text{м}^3$;

d_w – толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, м, принимаемая равной 2/3 толщины однородной стены или толщине теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции;

Dw_{av} – предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя, за период влагонакопления, %;

h – коэффициент, определяемый по формуле

$$h = 0,0024 \cdot z_0 \cdot (E_0 - e_0^{ext}) / R_{vp}^e,$$

здесь e_0^{ext} – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами.

Значения параметров в рассмотренной методике определяются по таблицам и приложениям СП.

Независимо от результатов расчета по условию (1) или условию (2) нормируемые сопротивления паропроницанию R_{vp1}^{req} и R_{vp2}^{req} во всех случаях должны приниматься не более $5 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$.

Явление поглощения влаги из воздуха пористыми ограждающими кон-

струкциями называется сорбционным увлажнением. Зависимость между сорбционной влажностью материала и относительной влажностью воздуха определяется экспериментально и изображается в виде изотерм сорбции (рисунок 3.8).

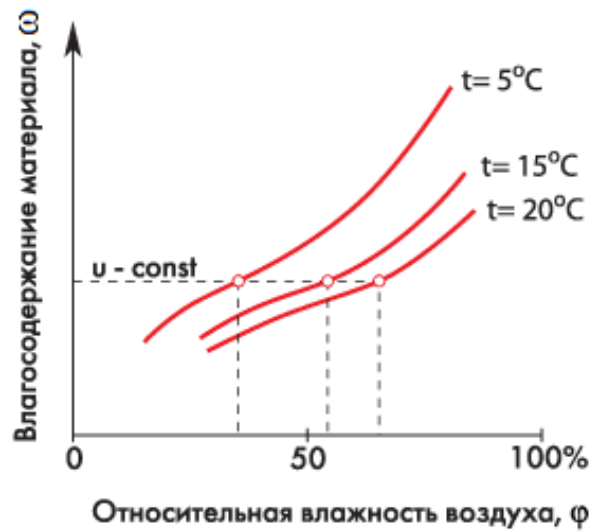
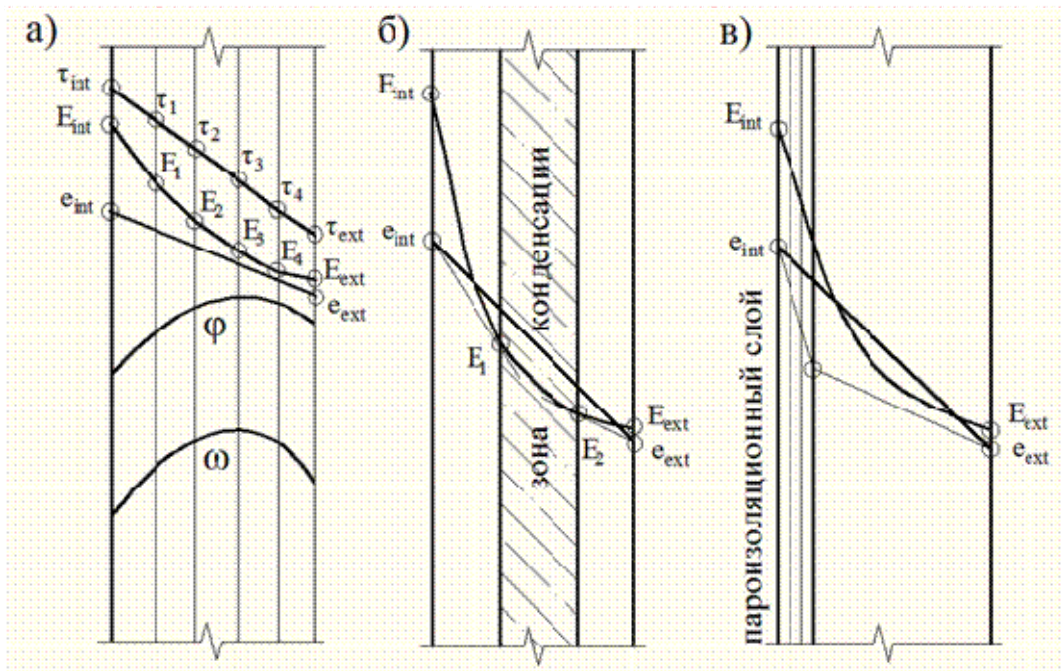


Рисунок 3.8 – Определение значений температуры и относительной влажности воздуха, обеспечивающих постоянство влагосодержания капиллярно-пористых материалов, на основе анализа изотерм сорбции

Падение упругости водяного пара и понижение температуры внутри ограждения создает условия для образования конденсата в его толще. Расчет на конденсацию влаги в толще ограждения проводят следующим образом (рисунок 3.9).



а – влажностного режима ограждения; б – определения зоны конденсации; в – влияние пароизоляции на распределение действительной упругости водяного пара

Рисунок 3.9 – Схемы к расчету конденсации влаги в толще ограждения

В ограждении строят линию распределения температур (линия τ). По полученным значениям τ проводят кривую изменения максимальной упругости водяного пара (линия E). Затем по вычисленным значениям среднего парциального давления водяного пара внутреннего и наружного воздуха e_{int} и e_{ext} проводят линию действительной упругости водяного пара (линия e). Если линии E и e не пересекаются, то конденсации в ограждении нет, так как в любом сечении $e < E$. Если они пересекаются, то в толще ограждения может возникнуть конденсация.

Для установления местоположения зоны конденсации из точек e_{int} и e_{ext} проводят касательные к линии E . Зона конденсации находится между точками пересечения касательных линией E . По линиям e и E можно построить кривую относительной влажности воздуха в порах материала $\varphi = (e/E) 100 \%$.

По полученным линиям можно по изотермам сорбции построить кривую изменения влажности в зависимости от массы материала ограждения ω . Таким образом, данный метод позволяет представить общие закономерности распределения влажности в толще ограждений.

Упругость водяного пара на границе n -го слоя ограждения (рисунок 3.9, в), Па:

$$e_n = e_{int} - \sum R_{vp} \cdot (e_{int} - e_{ext}) / R_{vp},$$

где $\sum R_{vp}$ – сумма сопротивления паропрооницанию ($n-1$) первых слоев ограждения, считая от внутренней поверхности, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$.

Контрольные вопросы

1. Задачи теплозащиты зданий и сооружений.
2. Особенности переноса теплового потока через однослойную стенку.
3. Особенности переноса теплового потока через многослойную стенку
4. Особенности теплотехнического расчета ограждения из санитарно-гигиенических условий.
5. Особенности теплотехнического расчета ограждения из условия энергосбережения.
6. Теплонакопительная способность стен.
7. Конструктивные решения наружных стен, как объектов теплозащиты.
8. Воздухопроницаемость ограждающих конструкций – порядок и задачи расчета.
9. Паропроницаемость ограждающих конструкций – порядок и задачи расчета.
10. Порядок расчет на конденсацию влаги в толще ограждения.

Лекция 4. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА И ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ЗДАНИЙ

План лекции.

- 4.1. Факторы, влияющие на теплозащиту зданий.
- 4.2. Передача тепла через ограждения в нестационарных условиях.
- 4.3. Повышение теплозащитных свойств существующих зданий.
- 4.4. Энергетический паспорт здания.

4.1. Факторы, влияющие на теплозащиту зданий

Комфорт температурно-воздушной среды зависит от следующих факторов: температуры внутреннего воздуха; температуры внутренних поверхностей, ограждающих помещение; тепловой инерции (накопление тепла) ограждающих конструкций; относительной влажности воздуха в помещении; движения воздуха; деятельности человека. Особым образом комфорт температурной среды зависит от температуры поверхности пола. Кроме обеспечения комфорта, теплозащита должна предотвращать температурные напряжения и деформации, связанные с ними повреждения.

Ощущение комфорта в помещении зависит от температуры воздуха и средней температуры поверхностей, ограждающих помещение (рисунок 4.1).

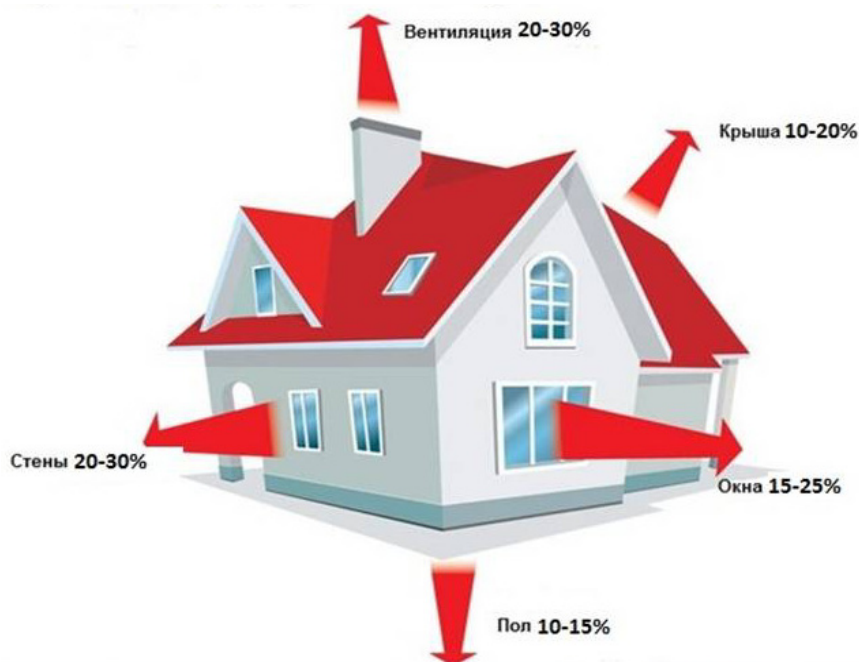


Рисунок 4.1 – Основные потоки тепла, которые учитывают при тепловых расчетах конструкций

Факторы, влияющие на теплозащиту зданий и сооружений, которые необходимо рассматривать отдельно для зимней и летней теплозащиты:

1. Климат местности.
2. Теплоизоляция ограждающих конструкций.

3. Тепловая инерция ограждающих конструкций.
4. Расположение отдельных слоев в многослойной конструкции.
5. Общий коэффициент пропускания энергии окнами и прочими светопрозрачными конструкциями (прозрачная теплоизоляция; стекла с металлическим напылением).
6. Отношение площади окон и других светопрозрачных конструкций к площади наружных ограждающих конструкций (от размера светопрозрачных конструкций зависит экономия теплоэнергии, чем меньше размер светопрозрачных конструкций, тем меньше теплопотери).
7. Ориентация окон и светопрозрачных конструкций по сторонам света.
8. Возможности вентиляции, открывание окон и дверей, воздухопроницаемых и ограждающих конструкций.
9. Окраска наружных поверхностей стен.

Это необходимо учитывать при расчете теплозащиты в летних условиях, когда ограждающие конструкции днем нагреваются от высоких температур воздуха и от солнца, а ночью остывают. Легкие постройки (например, крыши мансард) быстро нагреваются и быстро охлаждаются, что называется *барачным эффектом*.

Строительными нормами предусмотрен «поэлементный» метод нормирования теплозащиты, когда каждый элемент ограждения зданий (стены, чердачные перекрытия, крыши-мансарды, окна, наружные двери, перекрытия над подвалами и подпольями, полы по грунту) должен удовлетворять определенным требованиям летней и зимней теплозащиты.

Теплоустойчивость ограждающих конструкций является одним из основных факторов обеспечивающим сохранность теплового потока и теплозащиту здания в целом. Для понимания механизма теплопередачи на рисунке 4.2 приведена схема затухания температурных колебаний внутри однородного ограждения, вследствие преодоления сил сопротивления.

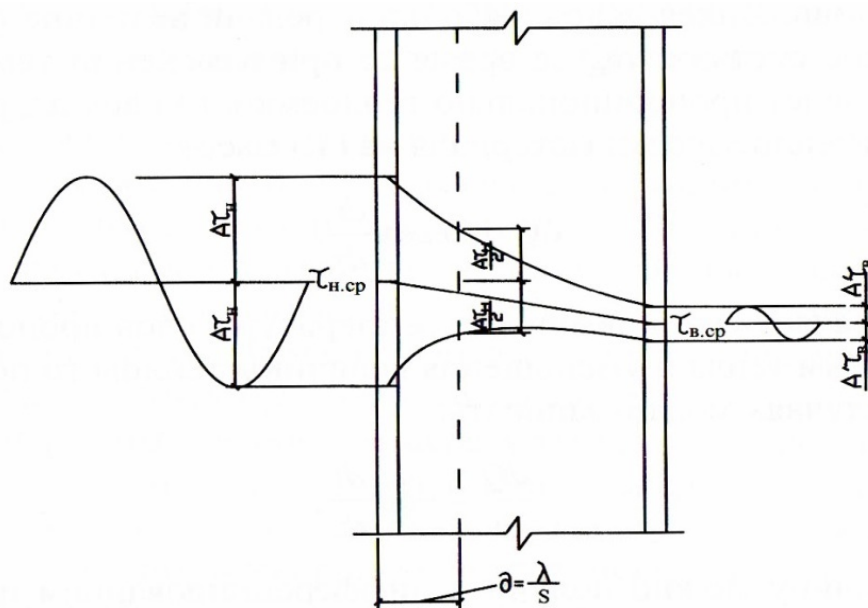
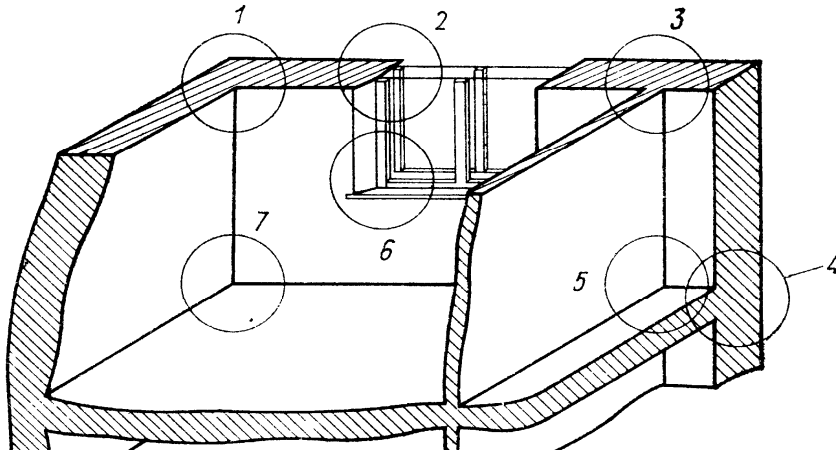


Рисунок 4.2 – Схема затухания температурных колебаний внутри однородной конструкции

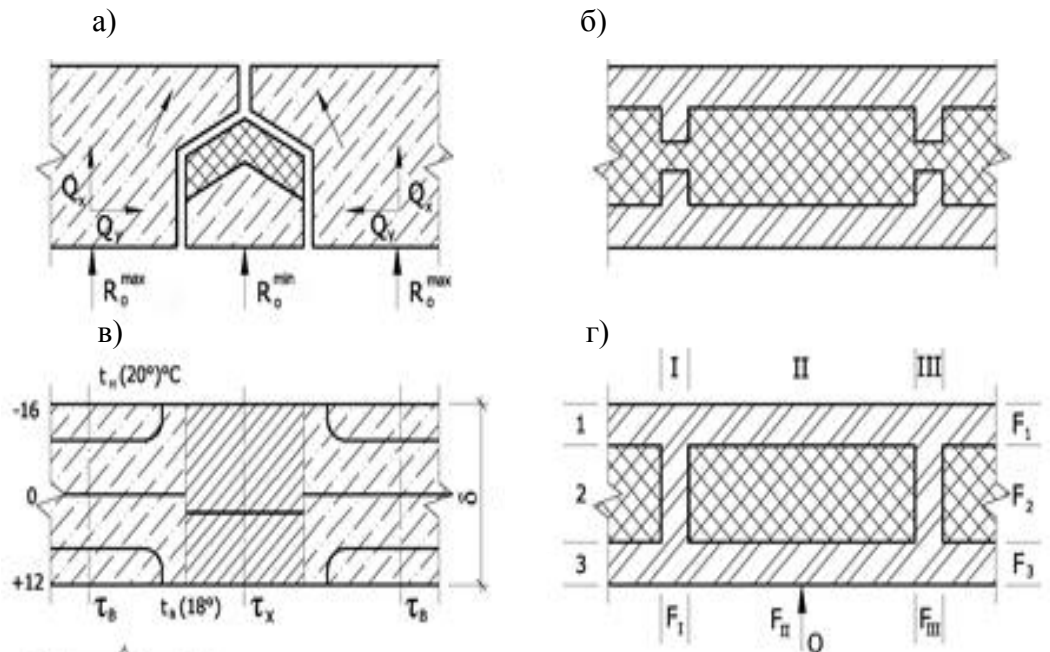
4.2. Особенности передача тепла через ограждения в нестационарных условиях

В реальных конструкциях зданий часто встречаются участки, где нет одномерного температурного поля и для их расчета одномерное решение неприменимо. Примеры участков внутренней конструкции – углы, откосы оконных проемов и другие, в которых формируются двух- и трехмерные поля, приведены на рисунках 4.3. и 4.4.



1–4 – участки формирования двухмерных температурных полей;
5–7 – участки формирования трехмерных температурных полей

Рисунок 4.3 – Участки внутренней конструкции здания по условиям формирования тепловых полей



а) у стыков панелей; б) кирпичная колодезная кладка с заполнителем;
в) с теплопроводным включением; г) расчетная схема неоднородного участка

Рисунок 4.4 – Схемы неоднородных участков и конструкций ограждений

Понижение температуры может достигать 4–7°C и служит причиной отсыревания стен в наружных углах здания.

Причины понижения температур на внутренних поверхностях наружных углов следующие:

– неравенство площадей тепловосприятости и теплоотдачи, вытекающей из геометрической формы угла;

– изменение коэффициента тепловосприятости α_B на внутренней поверхности наружного угла из-за уменьшения лучистого теплообмена и ослабления конвективных токов воздуха.

Понижение температур на внутренней поверхности ограждающей конструкции имеет место также на участках, выполненных из более теплопроводных материалов. Оно допускается только в помещениях с нормальной влажностью (не более чем 1–2°C) во избежание конденсации влаги на переохлажденных участках ограждения.

Расчет сопротивления теплопередачи указанных конструкций может дать результат, сильно отличающийся от действительного значения R_0 этих конструкций.

Для термически неоднородных ограждающих конструкций (с теплопроводными включениями) предварительно определяют приведенное термическое сопротивление однородных и неоднородных участков.

Приближенный теплотехнический расчет неоднородных ограждающих конструкций состоит в определении средней величины термического сопротивления по значениям термических сопротивлений отдельных участков ограждения.

Поскольку в неоднородной конструкции основное направление потока тепла (от внутренней поверхности ограждения к наружной) искривляется из-за различной теплопроводности отдельных элементов, теплофизический расчет приходится выполнять в два этапа, рассматривая конструкцию:

- 1) в направлении, параллельном основному потоку тепла;
- 2) в направлении перпендикулярном к этому потоку.

Для первого расчета ограждающая конструкция мысленно разрезается плоскостями параллельно потоку тепла, на отдельные участки с разными теплофизическими свойствами. В конструкции (рисунок 4.4, г) это будут участки I, II, III с площадями на поверхности F_I , F_{II} , F_{III} и термическими сопротивлениями R_I , R_{II} , R_{III} . Термическое сопротивление каждого участка находят по формуле

$$R = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}.$$

Среднее значение термического сопротивления по первому расчету, т.е. в направлении параллельном потоку тепла будет

$$R_{1,3} = \frac{F_I + F_{II} + F_{III}}{\frac{F_I}{R_I} + \frac{F_{II}}{R_{II}} + \frac{F_{III}}{R_{III}}},$$

где R_I , R_{II} , R_{III} – термические сопротивления выделенных участков, $m^2 \cdot C / Bm$; F_I , F_{II} , F_{III} – соответственно их площади по поверхности m^2 .

Для второго расчета ограждающая конструкция мысленно разрезается

на отдельные слои плоскостями перпендикулярными тепловому потоку. Эти слои на расчетной схеме неоднородной ограждающей конструкции обозначены 1,2,3. Термическое сопротивление однородных слоев (1,3) определяется по формуле

$$R_{1,3} = \frac{\delta}{\lambda}$$

где δ – толщина слоя, м;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м²°С.

Для определения термического сопротивления второго слоя состоящего из разных материалов с разными площадями по поверхности предварительно определяется средняя величина коэффициента теплопроводности второго слоя по формуле

$$\lambda_{\text{сред}} = \frac{\lambda_1 F_1 + \lambda_2 F_2 + \lambda_3 F_3}{F_1 + F_2 + F_3},$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – коэффициенты теплопроводности отдельных материалов второго слоя;

F_1, F_2, F_3 – площади по поверхности материалов второго слоя.

Тогда термическое сопротивление второго слоя выполненного из различных материалов равно

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_{\text{сред}}}$$

Термическое сопротивление ограждающей конструкции по второму расчету, т.е. в направлении, перпендикулярном к потоку тепла будет равно:

$$R_{\perp} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_{\text{сред}}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} = R_1 + R_2 + R_3.$$

Как показывает анализ R_{\parallel} – (термическое сопротивление параллельно тепловому потоку) обычно превышает действительную величину термического сопротивления, а R_{\perp} (термическое сопротивление перпендикулярно тепловому потоку) получается меньше реальной величины.

Средняя или приведенная величина между первым расчетом (R_{\parallel}) и вторым расчетом (R_{\perp}) определяется по формуле

$$R_{\text{прив}} = \frac{R_{\parallel} + 3R_{\perp}}{3}.$$

Расчетная величина общего сопротивления ограждения теплопередачи

$$R_0 = R_B + R_{\text{прив}} + R_H.$$

Полученная величина R_0 должна быть сопоставлена с величиной $R_0^{\text{ТР}}$, т.е. основное условие расчета $R_0 \geq R_0^{\text{ТР}}$

Особенностью расчета неоднородных конструкций является еще и то, что расчет выполняется при конкретной толщине утеплителя. Определенное таким образом термическое сопротивление конструкции сравнивается с требуемым термическим сопротивлением, а если полученное сопротивление теплопередаче оказалось меньше требуемой величины, принимают большую конкретную толщину утеплителя, определяют новое значение сопротивления теплопередаче и сравнивают с требуемым. И так до тех пор, пока не будет достигнуто равенство $R_0 = R_0^{\text{ТР}}$ в пределах допустимого.

Процесс конденсации влаги на внутренней поверхности ограждений в случае плоской стены отличается для других геометрических в плане форм, например, наружных углов, а также выступов и искривлений зданий.

Из простых физических представлений следует, что для стены с наружным углом площадь теплоотдачи внутренней поверхности заметно меньше площади теплоотдачи наружной поверхности и, кроме того, становится заметно меньше коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности из-за снижения конвекционного и лучистого теплообмена.

В практических расчетах для обеспечения надежности защиты проектируемых ограждений от отсыревания и промерзания может приниматься в три раза меньшая величина коэффициента теплоотдачи внутренней поверхности, и, соответственно, сопротивление теплоотдаче внутренней поверхности в три раза больше.

Тогда для расчета температуры на внутренней поверхности угла можно использовать выражение:

$$\tau_{int-угла} = t_{int} - 3 \frac{t_{int} - t_{ext}}{R_0} R_{int}$$

Графическое представление результатов расчета температурного поля для стены с наружным углом при задании удвоенной в сравнении с плоской стеной величины сопротивления теплоотдаче внутренней поверхности дано на рисунке 4.5. Из рисунка видно, что температура внутренних поверхностей «по глади» составляет $11,9^{\circ}\text{C}$, а в углу – $6,2^{\circ}\text{C}$. Температура «точки росы» для данных температурно-влажностных условий ($t_{\text{в}} = 18^{\circ}\text{C}$ и $\phi_{\text{в}} = 55\%$) составляет $8,8^{\circ}\text{C}$, следовательно, в этом углу будет выпадать конденсат.

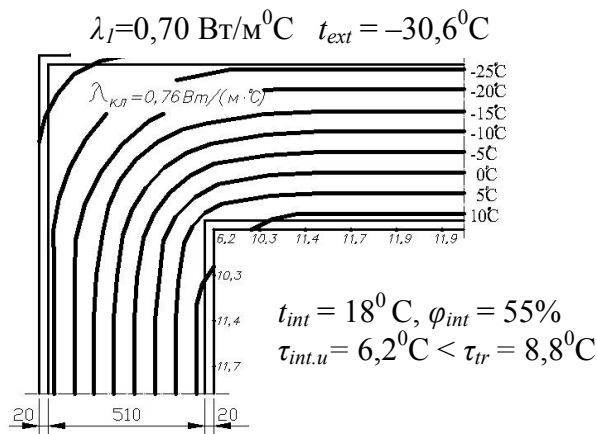


Рисунок 4.5 – Температурное поле в наружном углу стены из силикатного кирпича

Причиной понижения температуры на внутренней поверхности наружных углов является:

- 1) неравенство площадей тепловосприятия и теплоотдачи, вытекающее из геометрической формы угла;
- 2) понижение температуры на внутренней поверхности имеет место на участках, выполненных из более теплопроводных материалов. Оно допуска-

ется в помещениях с нормальной влажностью во избежание конденсации влаги на переохлажденных участках ограждения.

Удельные тепловые потери через неоднородности в ограждающих конструкциях могут достигать значительной величины. В качестве примера приведем результаты расчета удельных потерь теплоты через элементы стены с теплоизоляционной фасадной системой с тонким штукатурным слоем через кронштейн, в виде температурного поля, показанного на рисунке 4.6

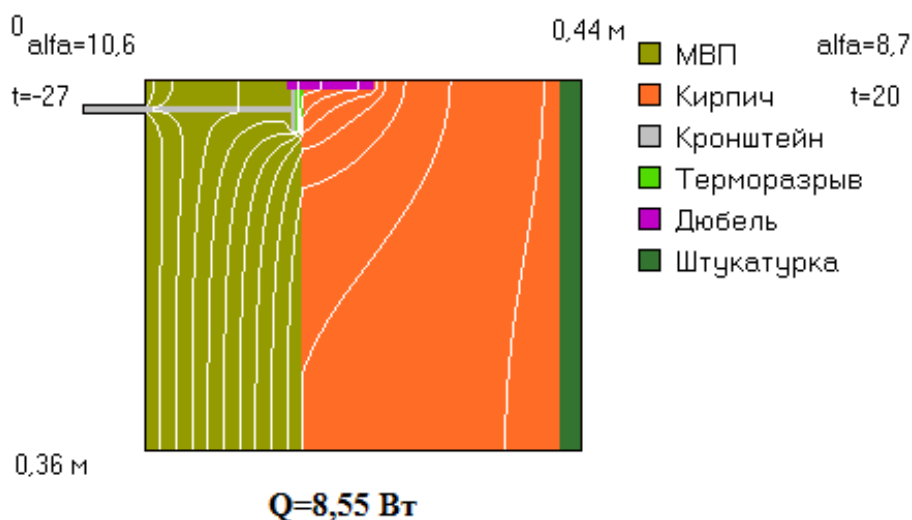
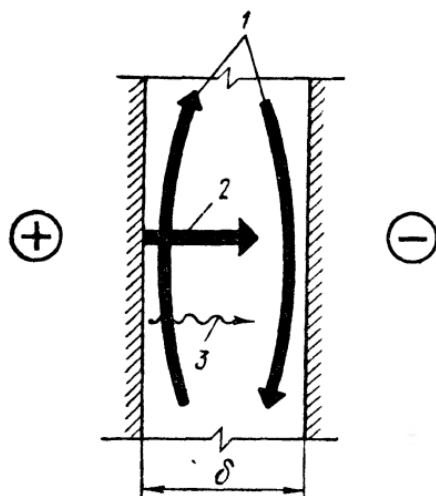


Рисунок 4.6 – Температурное поле узла конструкции с кронштейном

Потери теплоты через узел установки кронштейна, по результатам расчета температурного поля равны $Q = 8,55 \text{ Вт}$.

Особенности теплопередачи через воздушные прослойки (рисунок 4.7) выражаются тем, что для воздушных прослоек нет прямой зависимости между толщиной и её термическим сопротивлением, а при увеличении толщины воздушной прослойки δ коэффициент передачи тепла конвекцией α возрастает, а при $\delta < 5 \text{ мм} \Rightarrow \alpha = 0$.



1 – путем конвекции; 2 – путем теплопроводности; 3 – путем излучения

Рисунок 4.7 – Механизм передачи тепла через воздушную прослойку

Для замкнутых прослоек целесообразно ввести эквивалентный коэффициент теплопроводности воздушной прослойки: $\lambda_{эkv} = \lambda_k + \lambda_{mn} + \alpha_d \delta$.

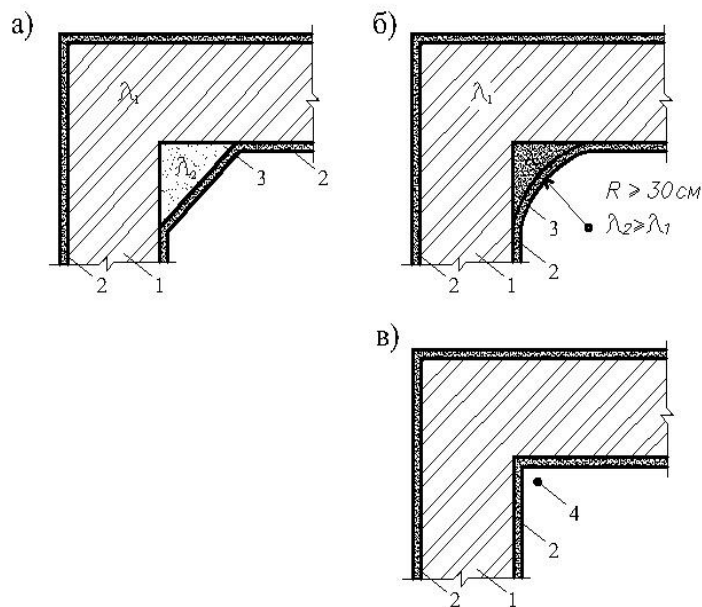
4.3. Повышение теплозащитных свойств существующих зданий.

Энергоэффективное здание включает в себя совокупность архитектурных и инженерных решений, наилучшим образом отвечающих целям минимизации расходования энергии на обеспечение комфортных условий в помещениях здания. В то время как *энергоэкономичное здание* включает в себя отдельные решения или систему решений, направленных на снижение расхода энергии для обеспечения комфортных условий в помещениях здания.

В качестве путей повышения тепловой эффективности зданий применяются методы оптимизации теплозащиты ограждающих конструкций, поиски и выбор архитектурно-планировочных решений, применение современных инженерных систем, с минимальным расходом тепла на эксплуатацию зданий при минимальной их стоимости, но с условием одновременного полного сохранения функциональных требований.

В частности повысить теплозащитные свойства здания за счет исключения конденсации водяных паров на внутренних поверхностях стен в зонах теплопроводных включений можно двумя путями: введением термовкладышей в зонах высокотеплопроводных несущих конструкций и устройством теплозащитных накладок со стороны помещения.

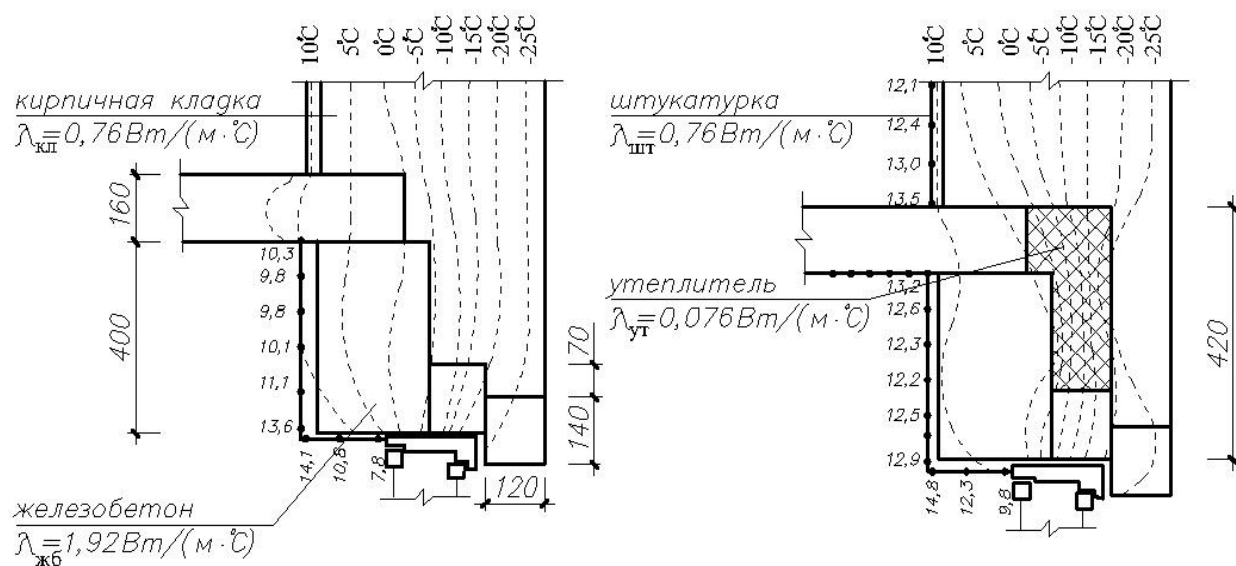
На рисунке 4.8 приведены способы утепления углов зданий, в результате чего возрастает температура внутренних поверхностей.



- а) скашиванием внутренней поверхности; б) то же скруглением;
 в) установкой стояка отопления;
 1 – стена; 2 – отделочный слой; 3 – утепляющий раствор; 4 – стояк отопления

Рисунок 4.8 – Способы повышения температуры внутренней поверхности наружных углов

На рисунке 4.9 приведены температурные поля в узле опирания плит перекрытий на обвязочную балку и тот же узел после установки термовкладыша из теплоизоляционного материала, и как видно температура увеличилась более чем на 3°C .



а) без устройства утепления; б) при утеплении минеральной ватой

Рисунок 4.9 – Температурные поля в месте опирания плит перекрытия на обвязочную балку

Рассмотренные примеры конструирования наружных ограждений с целью изменения их теплозащитных параметров позволяют определить основные пути оптимизации конструкций, которые включают:

- анализ конструктивных схем ограждений;
- подбор материалов слоев и определение параметров сопротивлений теплопередаче ограждения;
- проведение коррекции конструкции ограждения с целью предотвращения процесса накопления влаги в ограждении за годовой период эксплуатации;
- обеспечение санитарно-гигиенических параметров по глади ограждения;
- обеспечение условий предотвращающих выпадение конденсата на внутренних поверхностях ограждений, включая, изменение конструкций узлов и проведение теплоизоляционной коррекции.

В перечень средств пассивного регулирования температурно-влажностного режима следует включить составляющие их элементы, влияющие на тепловые характеристики здания:

- форма здания – отношение площади поверхности к объему, ориентация, оболочки типа пирамиды, цилиндрические, кубические или почти кубические приемлемы для использования;
- материал ограждений – отражающе-резистивная теплоизоляция, теп-

ловая инерция и емкостная теплоизоляция, относительное расположение слоев теплоизоляции, относимых к резистивным и емкостным;

– световые проемы – размер, расположение, ориентация, применяемые виды стекол и заполнение камер стеклопакетов, число камер стеклопакетов, использование штор и жалюзи.

4.4. Энергетический паспорт здания

Энергетический паспорт жилых и общественных зданий предназначен для подтверждения соответствия показателей энергетической эффективности и теплотехнических показателей здания показателям, установленным в своде правил (СП 50.13330.2012).

Для осуществления эффективного управления процессом энергосбережения необходимо разработать и внедрить автоматизированную систему управления теплоснабжением застроенных территорий, обеспечивающую государственную программу энергосбережения на основе энергетических паспортов зданий и сетевых компьютерных технологий.

Постоянно действующий энергетический мониторинг ставит своей целью:

– контроль в режиме реального времени за количеством поставляемой энергии и ее расходом;

– выявление наиболее значительных источников потерь энергии;

– информационное обеспечение планирования и проведения первоочередных мероприятий по снижению энергопотерь и ликвидации источников наиболее высоких энергопотерь;

– контроль за соответствием количества поставленного тепла требуемому для обеспечения нормального микроклимата в помещениях и комфортных условий проживания людей.

Организуемая энергетическая экспертиза проектов теплозащиты и капитального ремонта зданий позволит:

– вскрыть энергетические резервы при эксплуатации зданий и застроенных территорий в целом;

– эффективно планировать и своевременно организовать выполнение энергосберегающих мероприятий на застроенных территориях республики;

– осуществлять постоянный контроль за плановым снижением уровня энергопотребления на отдельных территориях;

– совместить теплозащиту зданий с их плановыми ремонтами и реконструкцией, что значительно повысит рентабельность работ по тепловой защите зданий;

– обеспечить информационную поддержку в разработке технико-экономических обоснований при создании энергоэкономических зон.

Энергетический паспорт заполняется при разработке проектов новых зданий, реконструкции и капитальном ремонте жилых и общественных зданий, при приемке зданий в эксплуатацию, а также в процессе эксплуатации

зданий.

Энергетические паспорта для квартир, предназначенных для отдельного использования в блокированных зданиях, могут быть получены, базируясь на общем энергетическом паспорте здания в целом для блокированных зданий с общей системой отопления.

Энергетический паспорт здания не предназначен для расчетов за коммунальные услуги, оказываемые квартиросъемщикам и владельцам квартир, а также собственникам здания.

Энергетический паспорт здания разрабатывается:

а) на стадии разработки проекта и на стадии привязки к условиям конкретной площадки – проектной организацией;

б) на стадии сдачи строительного объекта в эксплуатацию – проектной организацией на основе анализа отступлений от первоначального проекта, допущенных при строительстве здания (учитываются: техническая документация – исполнительные чертежи, акты на скрытые работы, паспорта, справки, предоставляемые приемочным комиссиям и прочее; изменения, внесенные в проект и согласованные отступления от проекта в период строительства; результаты текущих и целевых проверок соблюдения теплотехнических характеристик объекта и инженерных систем техническим и авторским надзором; при несогласованном отступлении от проекта, отсутствие необходимой технической документации и при установлении брака, заказчик и инспекция ГАСН вправе потребовать проведения испытания ограждающих конструкций);

в) на стадии эксплуатации строительного объекта – выборочно и после годичной эксплуатации здания (включение эксплуатируемого здания в список на заполнение энергетического паспорта, анализ заполненного паспорта и принятие решения о необходимых мероприятиях производятся в порядке, определяемом решениями администраций субъектов Российской Федерации).

В соответствии с СП энергетический паспорт здания должен содержать:

- общую информацию об объекте;
- расчетные условия;
- сведения о функциональном назначении и типе здания;
- объемно-планировочные и компоновочные показатели здания;
- расчетные энергетические показатели здания, в том числе по энергоэффективности, а также теплотехнические показатели;
- данные по результатам сопоставления с нормативными показателями;
- рекомендации по повышению энергетической эффективности здания;
- результаты измерения энергоэффективности и уровня тепловой защиты здания после годичного периода его эксплуатации;
- класс энергетической эффективности здания.

Контроль эксплуатируемых зданий на соответствие СП осуществляется путем экспериментального определения основных показателей энерго-

эффективности и теплотехнических показателей в соответствии с требованиями государственных стандартов и других норм, утвержденных в установленном порядке, на методы испытаний строительных материалов, конструкций и объектов в целом.

При отсутствии исполнительной документации на строительство здания (не сохранилась), энергетический паспорт здания составляется на основе материалов бюро технической инвентаризации, натурных технических обследований и измерений, выполняемых квалифицированными специалистами, имеющими лицензию на выполнение соответствующих работ.

Ответственность за достоверность данных энергетического паспорта здания несет организация, которая осуществляет его разработку.

Контрольные вопросы

- 1. Перечислите задачи теплозащиты здания.*
- 2. Факторы, влияющие на теплозащиту здания.*
- 3. Механизм затухания температурных колебаний в ограждении.*
- 4. Особенности передачи тепла наружной ограждающей конструкцией.*
- 5. Особенности передачи тепла через воздушные прослойки.*
- 6. Причина понижения температуры на внутренней поверхности наружных углов ограждающей конструкции.*
- 7. Какие мероприятия необходимо предусмотреть для защиты стен от сырости в углах?*
- 8. В чем состоит особенность теплотехнического расчета неоднородных ограждающих конструкций?*
- 9. Что такое теплоустойчивость ограждающих конструкций?*
- 10. Энергетический паспорт здания – назначение, содержание.*

Лекция 5. СТРОИТЕЛЬНАЯ СВЕТОТЕХНИКА. НОРМИРОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

План лекции.

- 5.1. Задачи строительной светотехники, естественное освещение – основные понятия и законы, световые величины.
- 5.2. Световой климат местности. Методы расчета КЕО.
- 5.3. Нормирование естественного освещения.
- 5.4. Требования по проектированию и конструированию систем естественного освещения.

5.1. Задачи строительной светотехники, основные понятия и законы, световые величины

При создании санитарно-гигиенического комфорта помещений важную роль играют оптимальные условия освещенности. Освещение помещений бывает естественное, искусственное и совмещенное.

Задачей строительной светотехники является исследование условий, определяющих создание оптимального светового режима в помещениях. *Освещенностью E поверхности* называется отношение падающего светового потока к площади освещаемой поверхности. Единица измерения освещенности – люкс (лк).

Световой поток – мощность лучистой энергии, оцениваемой по световому ощущению, которое она производит.

При падении светового потока на освещаемое тело часть потока отражается, часть проходит сквозь тело, часть поглощается телом. Явления отражения и прохождения света сквозь тело наиболее важны для архитекторов, так как светопропускающие материалы используют в ограждающих конструкциях, а отражения внутренних поверхностей помещения в значительной степени обуславливают интенсивность освещенности (рисунок 5.1).

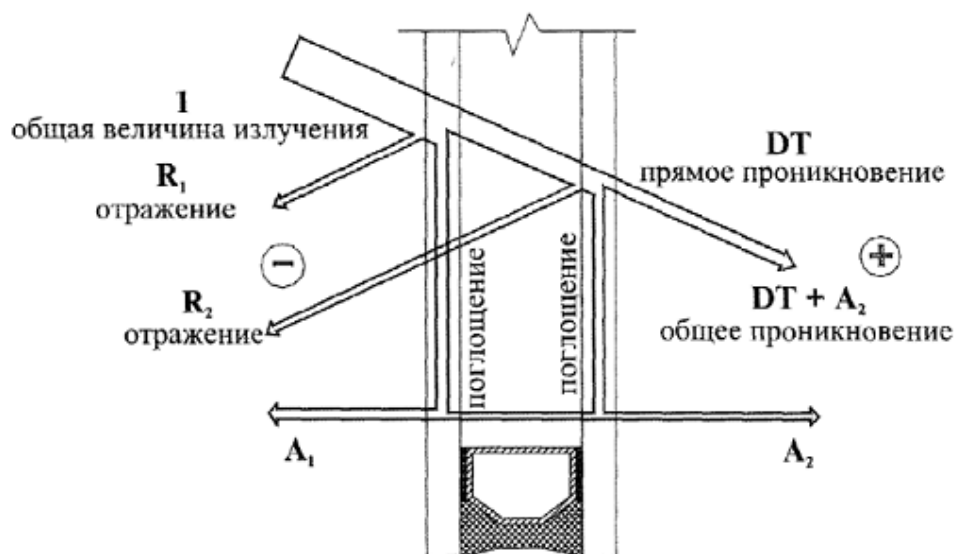


Рисунок 5.1 – Передача солнечного излучения через стеклопакет

Естественное освещение (дневное) – свет, создаваемый солнечным и небесным излучением. В зависимости от расположения световых проемов различают боковое, верхнее и комбинированное освещение помещений.

Радиация – мощность солнечного излучения, достигшего поверхности Земли (ультрафиолетовые лучи).

Интенсивность солнечной радиации на различных территориях изменяется в широких пределах, значительно возрастая в южных районах. Поэтому территория РФ и стран СНГ районирована по световому климату, для чего составляются свето-климатические карты I–V пояса светового климата (I пояс – север, V пояс – юг) для территории РФ I–IV пояса.

Естественная освещенность зависит от уровня наружной освещенности (яркости небосвода), количества отраженного света от внутренних поверхностей помещения и отраженного света от противостоящих зданий и прилегающих к зданию поверхностей земли, величины световых проемов и глубины комнат.

Основным требованием к естественному освещению в помещении является создание наилучшего освещения рабочего места или объекта, который воспринимается человеком при наблюдении. При этом имеют значение не только условия освещения в месте расположения объекта наблюдения, но и так называемое «поле адаптации» (окружающая световая среда).

Считается, что для приближенных расчетов уровня освещенности можно пользоваться соотношением площади световых проемов и пола. В жилье оно должно быть равным от 1/5,5 до 1/6. Более точно расчет производится по специальной методике и его результат сравнивается с нормой – 0,5 % в самых удаленных от окон зонах (на уровне пола).

Если уровень естественной освещенности оказывается ниже, то нужно либо уменьшать глубину помещений, либо увеличивать световые проемы.

В строительной светотехнике используется ряд понятий и определений, основные из которых рассмотрены ниже.

Коэффициент естественной освещенности (КЕО) – отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения ($E_{вн}$), светом неба (непосредственным или после отражений), к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности ($E_{нар}$), создаваемой светом полностью открытого небосвода

$$e = (E_{вн}/E_{нар}) \cdot 100\%.$$

Значение КЕО для различных помещений нормируется, так, помещения конструкторских бюро должны иметь КЕО не ниже 2%, классы, аудитории – не ниже 1,5%, жилые помещения – не ниже 0,5%.

Характеристика зрительной работы – разряды (от I до VIII), зависящие от видов работ, т.е. от работ наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного процесса, в том числе от размеров объекта различения и контраста его с фоном. Изменение нормируемого КЕО составляет от 10 % для верхнего света и 3,5 % для бокового света для I разряда до 1,0 % – 0,5 % при верхнем освещении и 0,3 %—0,1 % при боковом освещении для VIII разряда зрительной работы.

Неравномерность естественного освещения – отношение среднего значения к наименьшему значению КЕО в пределах характерного разреза помещения.

Оптическим излучением или светом называют электромагнитные волны (электромагнитное излучение), длины которых в вакууме лежат в диапазоне от 10 нм до 1 мм. К оптическому излучению относятся видимое, инфракрасное и ультрафиолетовое излучения (рисунок 5.2).

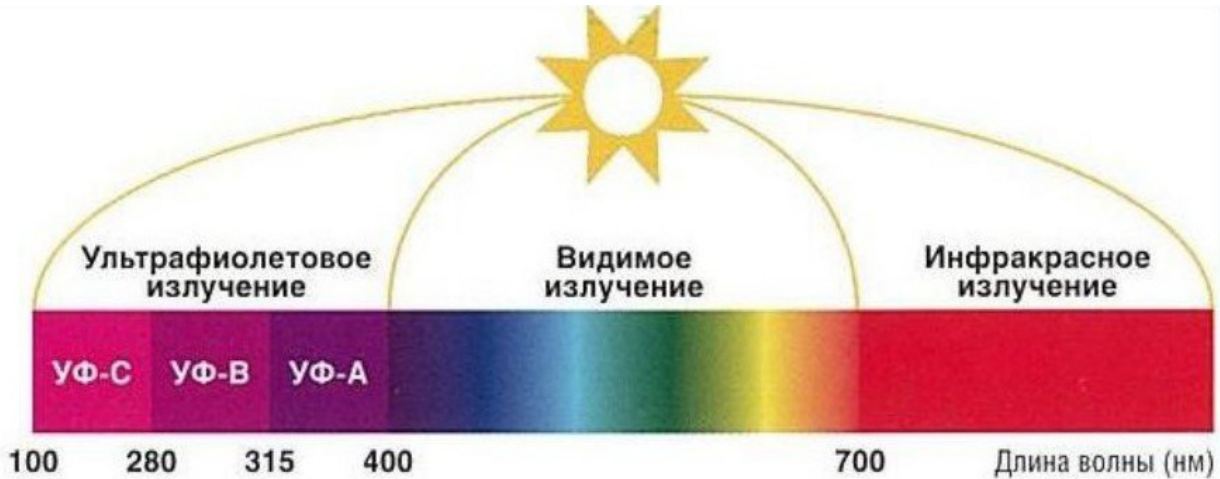


Рисунок 5.2 – Диапазон волн солнечного излучения

Инфракрасным излучением (ИК) (тепловое излучение) называется электромагнитное излучение, испускаемое нагретыми телами, длины волн которого в вакууме лежат в пределах от 1 мм до 770 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$).

Видимым излучением или видимым светом называется электромагнитное излучение с длинами волн в вакууме от 770 до 380 нм, которое способно непосредственно вызывать зрительное ощущение в человеческом глазе.

Ультрафиолетовым излучением (УФ) находится в диапазоне от 100 до 400 нм. В зависимости от длины волны лучи делят на: УФ-А лучи (*UVA*, 315—400 нм); УФ-В лучи (*UVB*, 280—315 нм); УФ-С лучи (*UVC*, 100—280 нм).

Самые опасные С – лучи, но они полностью поглощаются озоновым слоем атмосферы и не достигают поверхности Земли. На II месте по опасности находятся В-лучи, однако около 90% этих лучей поглощаются атмосферой. Поверхность Земли достигают менее опасные А-лучи и незначительная часть В-лучей.

Световая среда – понятие, характеризующее переменное по характеру комплексное воздействие света на человека.

При оценке качества световой среды решающее значение имеет яркость свечения источника света и освещаемых им поверхностей.

Яркость – световая величина, непосредственно воспринимаемая глазом, представляет собой поверхностную плотность силы света в заданном направлении, которая определяется отношением силы света к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную тому же на-

правлению, единица измерения – кандела на метр квадратный (кд/м²).

В общем случае яркость светящейся поверхности различна в разных направлениях, поэтому яркость, подобно силе света, характеризуется значением и направлением.

Телесный угол ω – часть пространства, заключённая внутри конической замкнутой поверхности. Измеряется отношением площади S , вырезаемой им из сферы произвольного радиуса r , к квадрату последнего (ед. стерадиан).

Закон проекции телесного угла. Освещенность E_M в какой-либо точке (M) поверхности помещения, создаваемая равнояркой поверхностью небосвода, прямо пропорциональна яркости неба L и площади проекции телесного угла S , в котором из данной точки виден участок неба (рисунок 5.3)

$$E_M = L \times S.$$

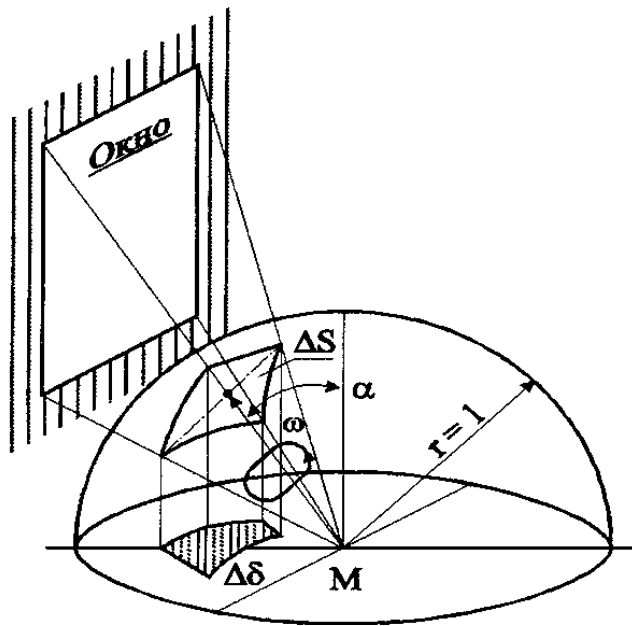


Рисунок 5.3 – Схема к закону проекции телесного угла.

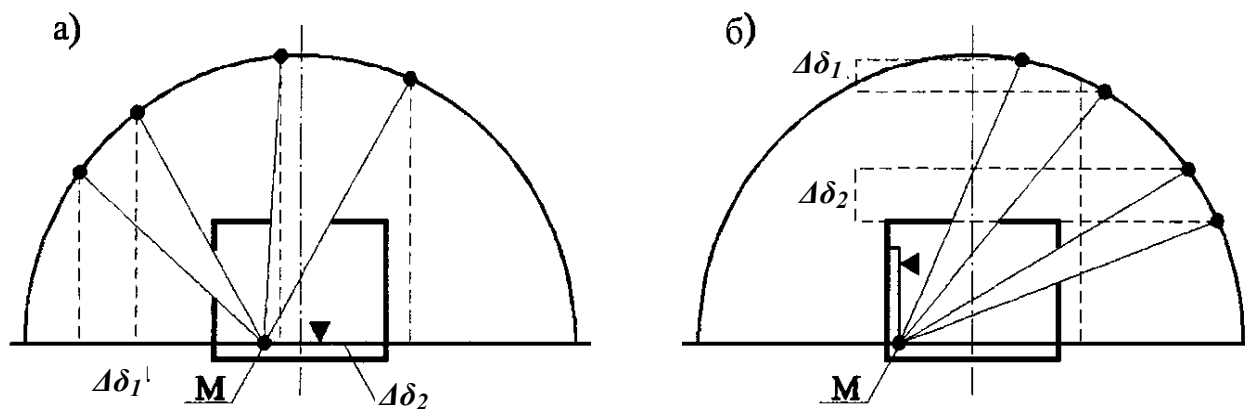
Следствие 1. Понятие о геометрическом КЕО. Освещенность под открытым небом по закону проекции телесного угла равна: $E_H = L \cdot p \cdot r^2$, здесь $\Delta\delta = p \cdot r^2$ – проекция полусферы на горизонтальную плоскость. При $r = 1$ освещенность $E_H = L \cdot p$.

Согласно определению КЕО:

$$e = \frac{E_M}{E_H} 100\% = \frac{S}{p} 100\% .$$

Это отношение поясняет геометрическую сущность КЕО и называется геометрическим коэффициентом естественной освещенности.

Следствие 2. Понятие о светоактивности проема. На рисунке 5.4 показано помещение с двумя одинаковыми по площади светопроемами, расположенными на одном расстоянии от расчетной точки M , но на различной высоте и в различно расположенных ограждающих конструкциях по отношению к расчетной поверхности.



а – на горизонтальной плоскости; б – в вертикальной плоскости

Рисунок 5.4 – Схемы к оценке относительной световой активности светопроемов при различном расположении расчетной точки

Как видно из рисунка, $\Delta\delta_2 > \Delta\delta_1$ и, следовательно, освещенность, создаваемая светопроемом в потолке помещения на горизонтальной поверхности, гораздо больше, чем освещенность от окна в стене.

Следовательно, для горизонтальной поверхности, чем выше расположен светопроем над расчетной точкой и чем ближе его ориентация к зениту, тем выше его *светоактивность*.

Закон светотехнического подобия. Освещенность в какой-либо точке помещения зависит не от абсолютных, а от относительных размеров помещения.

Сущность этого закона показана на рисунке 5.5. Проекция телесного угла в обоих подобных друг другу, но разных по размеру помещениях одинакова. Следовательно, согласно закону проекции телесного угла освещенность в обоих помещениях одинакова.

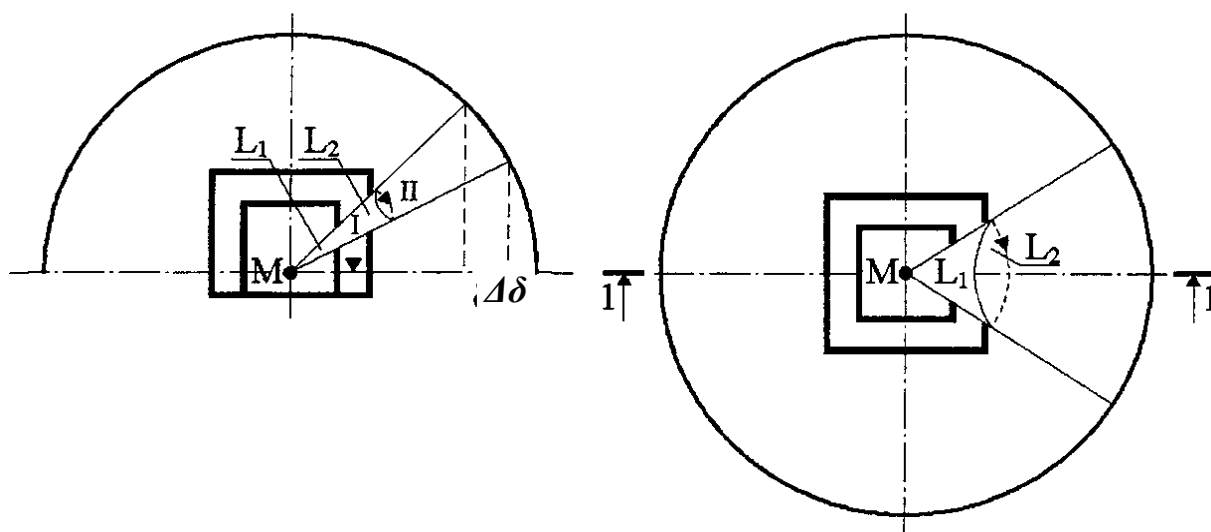


Рисунок 5.5 – К закону светотехнического подобия

Следствие 1. Результаты измерений освещенности в моделях помещений в основном соответствуют результатам измерений освещенности в реальном помещении.

Использование этого закона позволяет моделировать небосвод и измерять под искусственным небом освещенность в моделях помещений и зданий.

Для этого изготавливают модели в масштабе на менее чем 1:20. При этом тщательно соблюдаются условия геометрического подобия (отделка, пропорции, детали и др.) интерьера.

Современные тенденции проектирования естественного освещения зданий направлены на повышение его эффективности и призваны обеспечить пользователям все преимущества естественного света.

Применяемые в строительной светотехнике световые величины и единицы приведены в таблице 5.1, из которой следует, что освещенность поверхности (E) представляет собой отношение падающего светового потока (Φ) к площади освещаемой поверхности (S).

Таблица 5.1 – Световые величины и единицы

Название, обозначение и расчетная формула	Единицы в системе СИ	
	наименование	обозначение
Сила света $I = \frac{\Phi}{\omega}$	кандела	кд
	Кандела (от лат. <i>candela</i> – свеча) – сила света, излучаемого в перпендикулярном направлении с площади $1/60000 \text{ м}^2$ поверхности чёрного тела	
Световой поток $\Phi = I\omega$	люмен	лм
	Люмен (от лат. <i>lumen</i> – свет) – световой поток, испускаемый точечным источником в телесном угле 1 ср при силе света 1 кд	
Освещенность $E = \frac{\Phi}{S}$	люкс	лк
	Люкс (от лат. <i>lux</i> – свет) – освещённость, создаваемая световым потоком в 1 лм, равномерно распределённым на поверхности площадью 1 м^2 .	
Яркость $L = \frac{I}{S \cos \alpha}$ $L = \frac{E\rho}{\pi} = \frac{M}{\pi}$ (для диффузно излучаемой поверхности)	кандела на квадратный метр	кд/м ²
	Кандела на квадратный метр – средняя яркость светящейся поверхности площадью 1 м^2 при силе света, излучаемой этой поверхностью в заданном направлении, равной 1 кд	
Светимость $M = \pi L = \frac{\Phi}{S} = E\rho$	люмен на квадратный метр	лм/м ²
	Люмен на квадратный метр – светимость поверхности площадью 1 м^2 , испускающей световой поток 1 лм	
Телесный угол $\omega = \frac{S}{r^2}$	стерадиан	ср
	Стерадиан – телесный угол с вершиной в центре сферы, вырезающий участок на поверхности сферы, площадь которого равна квадрату её радиуса.	
S – площадь освещаемой поверхности, м ² ; ρ – коэффициент отражения; r – радиус сферы; α – угол между направлением источника и линией наблюдения;		

Однако характеризовать освещенность в какой-либо точке помещения в люксах сложно, из-за постоянного её изменения в зависимости от времени дня и состояния облачности.

Современные требования, предъявляемые к естественному освещению помещений, заключаются в выполнении следующих условий: равномерности; обеспечении требуемой освещенности рабочих поверхностей; устранении направленного прямого и отраженного солнечного света, слепящего работающих; обеспечении необходимой яркости окружающего пространства за счет достаточного уровня освещенности и цветовой отделки поверхностей интерьера.

5.2. Световой климат местности. Методы расчета КЕО

Световой климат – совокупность условий естественного освещения в той или иной местности за период более десяти лет.

Световой климат местности характеризуют такие факторы, как:

- освещенность, создаваемая прямым светом неба и солнца;
- освещенность, создаваемая рассеянным (диффузным) светом неба;
- абсолютные значения яркостей и их распределения по небосводу при облачном или при ясном небе;
- продолжительность солнечного сияния;
- прозрачность атмосферы;
- альbedo подстилающей поверхности (коэффициент диффузного отражения).

Основным источником естественного света на Земле является Солнце, при этом земная атмосфера рассеивает солнечные лучи за счет воздуха, водяного пара, частичек льда на большой высоте, пыли и различных газов и других загрязнений, поступающих в воздух в результате деятельности человека. За счет этого образуется рассеянная составляющая естественной освещенности. Дневное и годовое движение Солнца, точно определяемое астрономами, позволяет рассчитать уровни естественной освещенности на границе атмосферы, создаваемые прямым солнечным излучением, на которые влияют условия погоды, местные загрязнения, характер рельефа и альbedo подстилающей поверхности.

Таким образом, освещенность под открытым небом складывается из трех составляющих

$$E_n = E_S + E_D + E_R,$$

где E_S – солнечный свет;

E_D – рассеянный (диффузный) свет неба;

E_R – отраженный свет от земли.

На величину освещенности и ее изменение во времени влияет коэффициенте пропускания света атмосферой, который зависит от высоты стояния Солнца и прозрачности атмосферы, освещенность от Солнца на горизонтальной поверхности, а также статистические условия облачности в месте строительства в течение года по месяцам и в течение суток по часам.

С помощью расчетов с использованием световой солнечной постоянной и данных актинометрических станций, рассчитаны световые эквиваленты солнечной радиации и получены данные о суточном ходе рассеянной и суммарной освещенности горизонтальной поверхности для различных регионов России, которые приведены СП 131.13330.2018 «Строительная климатология».

Учет световых ресурсов является важной составляющей при нормировании естественного освещения в зданиях и способствует повышению качества световой среды в помещениях и сокращению энергозатрат.

С этой целью для наиболее крупных городов и промышленных районов определяется критерий светоклиматического районирования E_{cp} (лк/ч), который представляет собой среднее за год количество наружного диффузного освещения (средняя освещенность) на горизонтальной поверхности в течение одного часа за период использования в помещении естественного света. Этот критерий определяется по следующей формуле

$$E_{cp} = \frac{\sum_{год}(E - E_{кр})}{\sum_{год} T},$$

где E – наружная освещенность горизонтальной поверхности в данный момент времени, лк;

$E_{кр}$ – критическая наружная освещенность, лк;

T – продолжительность использования естественного освещения, ч.

Критическая наружная освещенность – освещенность, ниже которой невозможно работать без дополнительного искусственного освещения зависит от разряда зрительных работ и определяется по формуле

$$E_{кр} = E_u / e_n,$$

где E_u – нормируемая освещенность при искусственном освещении;

e_n – нормируемое значение КЕО для данного разряда зрительных работ.

Однако, как правило, значением критической освещенности задаются в соответствии с разрядом зрительных работ: 2500; 5000; 7500; 10000 лк.

Если нанести на графики изменения наружной освещенности горизонтальную прямую, соответствующую $E_{кр}$, то промежуток в часах между временем наступления критической освещенности утром и вечером покажет время использования естественного света за один день i -того месяца. Его необходимо принимать с учетом времени начала и конца работы (рисунок 5.6), на примере $e = 1,5\%$; $E_{м.1}^{норм} = 100$ лк; $E_{кр} = 6666$ лк.

Коэффициент светового климата (m) – коэффициент, учитывающий особенности светового климата.

После подсчета критерия светоклиматического районирования для различных населенных пунктов выбирается базовый пункт, относительно которого определяется коэффициент светового климата (для территории России в качестве базового пункта является Москва) и по этому коэффициенту производится светоклиматическое районирование территории страны

$$m = \frac{E_{cp}^M}{E_{cp}},$$

где E_{cp}^M и E_{cp} – средняя освещенность в Москве и в данном районе, клк/ч

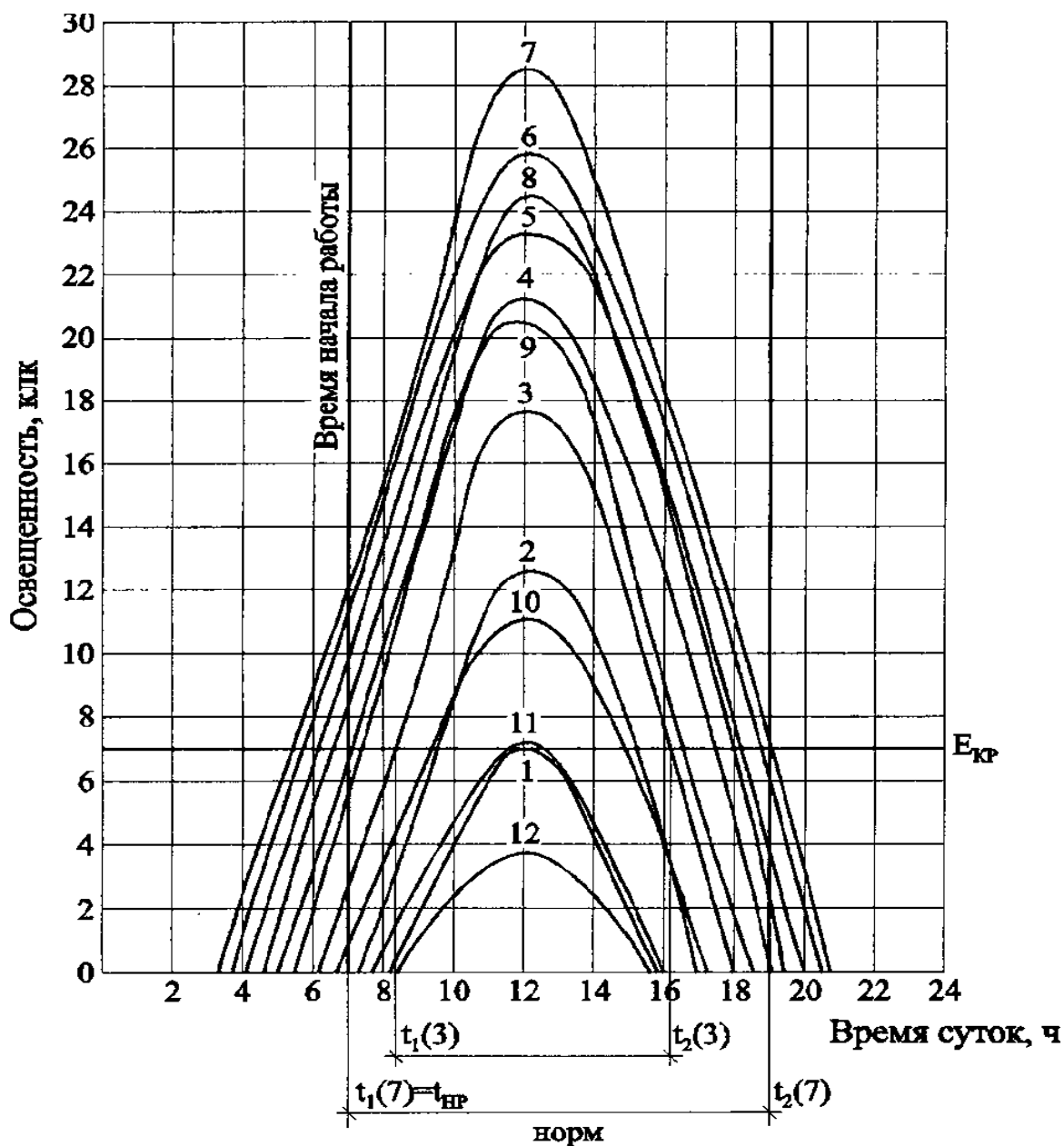


Рисунок 5.6 – Определение времени использования естественного света по критической освещенности

Вся территория страны разделена на пять светоклиматических поясов, значения коэффициентов светового климата для каждого из поясов приведены в табл. 2 СП 23-102-2003.

Расчет КЕО. Условия на небосводе постоянно меняются в зависимости от погоды. Облачность влияет на яркость неба и на ее распределение. От этого зависит величина КЕО. В одной и той же точке помещения величина КЕО будет различной при разных условиях облачности. Но расчеты КЕО должны быть сравнимы между собой, поэтому в расчетах естественного освещения принято основное допущение о расчетном состоянии небосвода.

Расчет КЕО основан на допущении о пасмурном небосводе, покрытом равномерной (10-балльной) облачностью. Это стандарт Международной комиссии по освещению (МКО), установленный на основе исследований ярко-

сти пасмурного неба американскими учеными П. Муном и Д. Спенсер. Они установили, что яркость пасмурного неба изменяется только по угловой высоте точки на небосводе. На одной и той же угловой высоте яркость неба во всех точках постоянна:

$$L_{\theta} = L_z (1 + 2\sin\theta)/3,$$

где L_{θ} и L_z – соответственно яркости неба на угловой высоте θ и в зените (рисунок 5.7).

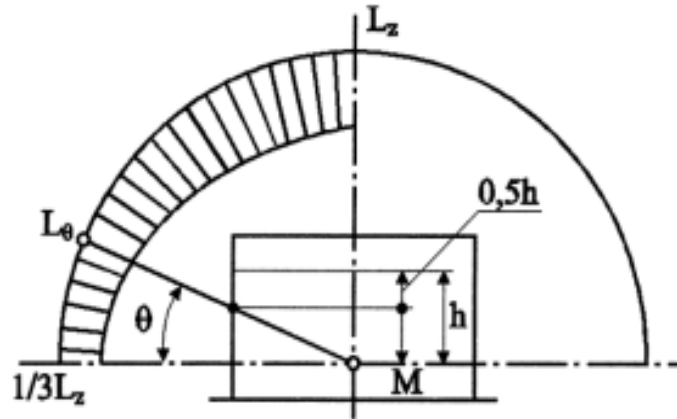


Рисунок 5.7 – Закон распределения яркости Муна-Спенсер

На рисунке 5,8 представлена схема прохождения света в расчетную точку помещения (М) на столе в помещении с боковыми светопроемами (окнами).

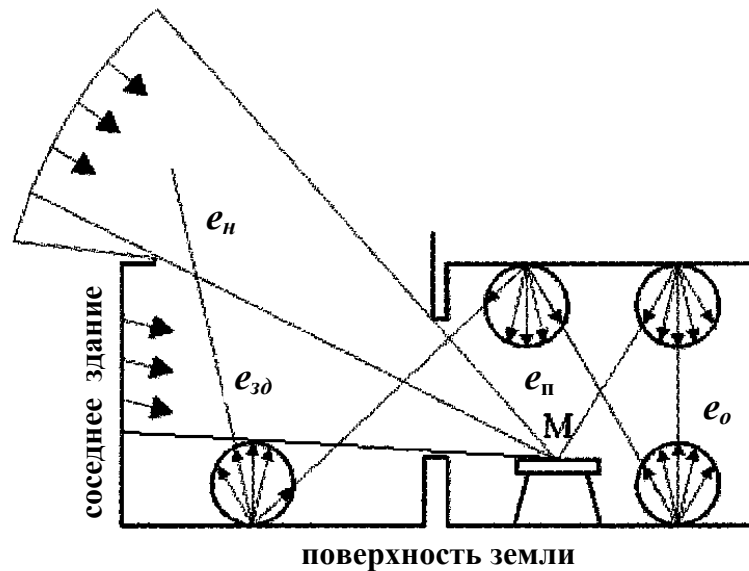


Рисунок 5.8 – Схема прохождения света в помещение с боковым светопроемом

Основная часть светового потока приходит в расчетную точку М от прямого света неба. Эта часть определяется прямой составляющей КЕО (e_n).

При наличии противостоящих зданий другая часть светового потока, приходящего в точку М, является отраженной от этих зданий. Она определя-

ется составляющей КЕО от противостоящих зданий ($e_{зд}$).

Часть света отражается от подстилающей поверхности земли. В некоторых случаях вместо земли может быть галерея, балкон или лоджия. Эта часть попадает на потолок и верхнюю часть стен помещения. Оттуда эта часть естественного света отражается в расчетную точку и образует составляющую КЕО от подстилающей поверхности (e_n).

Весь световой поток, падающий на поверхность окна, проходит внутрь помещения с некоторым ослаблением, обусловленным светопропусканием остекления, затеняющим действием переплетов, балконов, лоджий, солнцезащитных устройств (если они существуют). Для фонарей верхнего естественного света падающий световой поток ослабляется также затеняющим действием несущих конструкций покрытия (ферм, балок), а также коробов вентиляции и других коммуникаций. Кроме того, падающий световой поток ослабляется загрязнением остекления, зависящим не только от загрязненности окружающего и внутреннего воздуха, но и от угла наклона остекления к вертикали. Прошедший световой поток попадает на пол, нижнюю часть стен, отражается от них на потолок, верхнюю часть стен и оттуда – на рабочую поверхность. Эта часть светового потока образует внутреннюю отраженную составляющую КЕО, которая при светлой отделке помещения может значительно увеличить суммарную величину КЕО (e_0)

$$e = e_n + e_{зд} + e_n + e_0.$$

На рисунке 5.9 представлена схема прохождения света в помещении через фонарь системы верхнего естественного освещения.

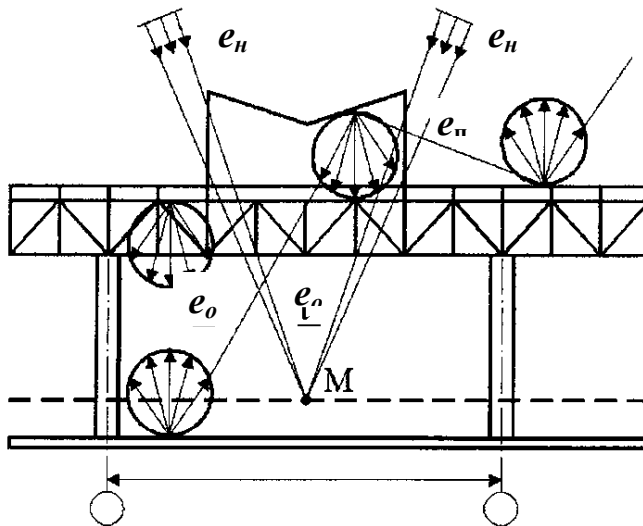


Рисунок 5.9 – Схема прохождения света в помещении с верхним светопроёмом

Здесь в расчетную точку приходит прямой свет от небосвода (составляющая КЕО – e_n), свет, отраженный от кровли на внутреннюю поверхность фонаря и оттуда – на рабочую поверхность (составляющая КЕО – e_n), а также свет, отраженный от пола и нижних частей стен на потолок и на верхнюю часть стен и оттуда на рабочую поверхность (внутренняя отраженная состав-

ляющая КЕО – e_0). Суммарная величина КЕО определяется по формуле

$$e = e_n + e_n + e_0.$$

Формула и методика расчета, учитывающая все составляющие при расчете КЕО в помещениях с боковыми светопроемами, рассматривается в соответствии с нормативами СП 23-102-2003 «Естественное освещение жилых и общественных зданий» (СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»).

5.3. Нормирование естественного освещения

Важнейшие показатели световой среды в помещении это:

- уровень освещенности;
- качество освещения.

Необходимый уровень освещенности определяется характером зрительной работы. Зрительная работа характеризуется объектом различения, его размером и контрастом между объектом и фоном, а также скоростью смены объектов различения.

Под термином «объект различения» понимается отдельная часть рассматриваемого предмета (например, нить ткани, линия, царапина, пятно и т.д.), которую требуется различить при работе; под размером объекта различения подразумевается его минимальный размер (например, толщина нити, ширина царапины, шаг спирали лампочки накаливания и т.д.). Чем меньше объект, тем больше требуются уровни освещенности. Контраст между объектом и фоном является также важной характеристикой зрительной работы. При малом контрасте различение затруднено и требует больших уровней освещенности.

Различение объемных объектов при малом контрасте объекта и фона зависит также от соотношения направленной и диффузной освещенности, т.е. такой, когда свет падает на объект со всех сторон. Образующиеся при этом тени могут улучшить или ухудшить видимость объемных объектов различения. Величины нормируемой искусственной освещенности для различных разрядов и подразрядов зрительных работ в промышленных зданиях, а также нормируемые величины искусственной освещенности в различных помещениях общественных зданий приведены в СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».

В этих нормах каждому разряду зрительных работ и каждому виду помещений общественных зданий соответствует свое нормируемое значение КЕО при одном естественном, а также при совмещенном освещении.

Связь норм КЕО и нормируемых величин освещенности определяется из условия равенства логарифмов количества естественного и искусственного освещения в помещении за год. В современных нормах эта связь определяется простым равенством количества искусственного и естественного освещения за год.

Так, например, в рабочих помещениях офисов нормируемый уровень искусственной освещенности $E_{и}^{норм} = 300$ лк. Годовое количество искусст-

венного освещения при 8-часовом рабочем дне и 6-дневной рабочей неделе составляет

$$A_{\text{и}}^{\text{норм}} = 300 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 4 \cdot 12 = 691\,200 \text{ лк ч/год,}$$

здесь 4 – недели в месяце, 12 – месяцев в году.

Годовое количество естественного освещения снаружи получается интегрированием функций изменения наружной освещенности (см. рисунок 5.7) по времени в каждом месяце и суммированием интегралов с умножением этой суммы на 24 (количество рабочих дней в месяце). Так для г. Москвы эта величина равна примерно $A_{\text{и}}^{\text{норм}} = 24\,000\,000$ лк. ч./год

$$e_{\text{норм}} = (691\,200 / 24\,000\,000) \cdot 100\% = 2,88\% \approx 3\%.$$

Таково нормируемое значение средней величины КЕО для рабочих помещений офисов с системами верхнего естественного освещения. Для помещений с окнами нормируется минимальная величина КЕО в глубине помещения. Она равна примерно 1/3 от средней величины. То есть при боковом освещении $e_{\text{норм}} = 1,0\%$.

Нормируемые величины КЕО, найденные по таблицам в СНиП, умножаются на коэффициент светового климата района строительства.

При нормировании естественного освещения помещений указывается не только нормируемое значение КЕО при верхнем или боковом естественном или совмещенном освещении, но и положение расчетной точки, в которой должно быть обеспечено нормируемое значение КЕО.

В жилых комнатах, кухнях жилых домов, в номерах гостиниц, в игровальных, групповых и спальнях детских дошкольных учреждений, а также в палатах больниц и санаториев расчетная точка располагается на полу. В рабочих комнатах офисов, в школьных классах, аудиториях, читальных залах и других помещениях общественных зданий расчетные точки находятся на условной рабочей поверхности, что соответствует высоте рабочего стола (0,8 м над уровнем пола).

В жилых комнатах и кухнях жилых домов величина нормируемого КЕО равна 0,5%, на кухнях – в центре комнаты. В жилых комнатах одно-, 2-х и 3-х комнатных квартир – в одной комнате – на линии характерного разреза на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от светопроемов. В других комнатах она располагается в центре. В 4-х и более комнатных квартирах величина КЕО = 0,5% должна быть обеспечена в глубине помещений в двух жилых комнатах. В остальных комнатах расчетная точка располагается в центре помещения.

В центральных и исторических районах городов нормы допускают, чтобы расчетные точки располагались в центре всех комнат в квартире.

В номерах гостиниц нормируемая величина КЕО, равная 0,5% при естественном и 0,4% при совмещенном освещении должна быть обеспечена в центре комнаты на полу в центральных районах городов, и на расстоянии 1 м от задней стены в остальных районах.

В классах школ нормируемая величина КЕО, равная 1,5% при естественном и 1,3% при совмещенном освещении должна быть на условной рабочей поверхности на расстоянии 1,2 м от стены, наиболее удаленной от окон,

на линии характерного разреза. В игровых и групповых детских дошкольных учреждений величина $e_{\text{норм}} = 1,5\%$ должна быть обеспечена на полу на расстоянии 1,0 м от стены, наиболее удаленной от светопроемов. По отношению к школам и детским дошкольным учреждениям, расположенных в центральных и исторических районах городов никаких послаблений требований норм не предусмотрено. Во всех других случаях необходимо обращаться к нормативным документам.

Качество естественного освещения регламентируется в нормах только с точки зрения неравномерности распределения КЕО по характерному разрезу помещения. Это касается только систем верхнего и комбинированного освещения.

Другие вопросы качества освещения включают:

- создание определенных соотношений яркостей внутренних поверхностей помещения;
- обеспечение отсутствия слепимости от ярких плоскостей окон, контрастирующих с темными простенками и подоконными частями стен.

Эти вопросы находятся в компетенции архитекторов, формирующих не только физические, но и эстетические качества внутренней среды.

5.4. Требования по проектированию и конструированию систем естественного освещения

Проектирование систем естественного освещения сводится в основном к выбору типа, формы и размеров светопроемов, а также их размещения в стенах и в покрытии.

При боковом освещении жилых и общественных зданий форма и размеры светопроемов в значительной степени зависят от архитектурного решения здания. Здесь очень важно соблюдать баланс между архитектурно-художественными требованиями архитектора и требованиями рациональности, экономичности, требованиями обеспечения нормированных значений КЕО и энергоэффективности здания с учетом затрат энергии на электрическое освещение, на восполнение теплопотерь через светопроемы зимой и ликвидацию теплопоступлений через светопроемы летом с помощью вентиляции и кондиционирования воздуха.

Важным моментом при проектировании естественного освещения зданий является выбор системы естественного освещения. Наиболее традиционной системой естественного освещения в гражданских и промышленных зданиях являются окна. Они могут быть различных размеров и формы, штучные и ленточные (не имеющие простенков). От формы окон и расположения их в стене зависит распределение КЕО в помещении. При проектировании окон следует иметь в виду, что высота подоконника меньше влияет на величину КЕО в глубине помещения, чем высота верха окна над расчетной точкой. В то же время, высокое расположение окна в стене препятствует визуальному контакту с внешней средой. Поэтому во многих промышленных зданиях, а также в гражданских зданиях повышенной этажности целесообразно устраи-

вать небольшие окна в нижних частях стен. Основная же часть остекления может располагаться в верхней части стены. Она может быть выполнена из материалов, рассеивающих свет, что обеспечивает защиту от солнца.

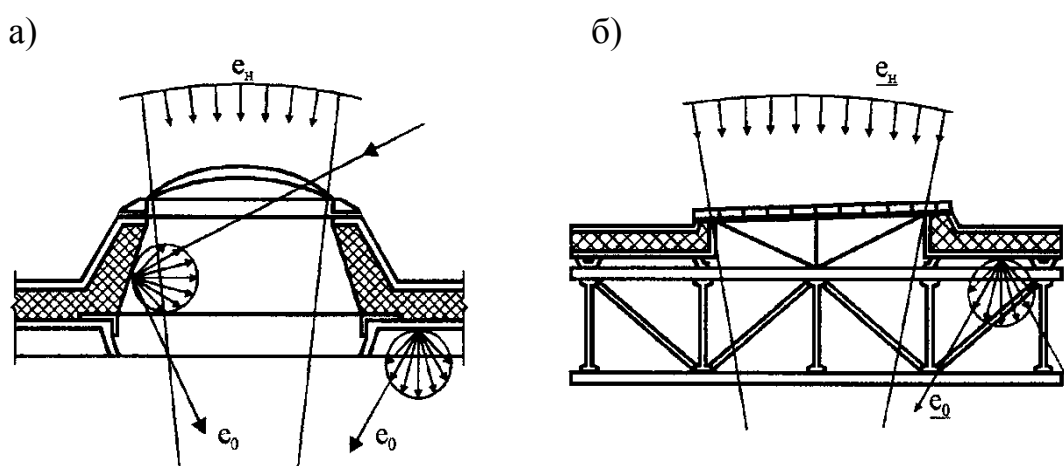
Большое значение имеет выбор типа остекления и, в частности, количества слоев светопропускающего материала (одинарное, двойное, тройное остекление). Одинарное остекление может применяться в южных районах, в производственных зданиях, не оборудованных кондиционированием воздуха. В жилых домах севернее 50° с.ш. следует применять тройное остекление. При этом следует иметь в виду, что увеличение количества слоев остекления приводит к снижению светопропускания окон. Следовательно, при тройном остеклении требуется большая площадь остекления, чем при двойном.

Следует иметь в виду, что устройство тройного остекления в окнах, выходящих в остекленную лоджию, нецелесообразно, так как при этом очень трудно обеспечить нормируемое значение КЕО в помещении, и это ничего не дает с точки зрения экономии энергии.

Системы верхнего естественного освещения применяются в основном в промышленных зданиях и в некоторых типах гражданских зданий, таких как школы, спортивные залы, крупные торговые здания и т.п. В основном это фонари верхнего естественного света.

Существует три типа фонарей: зенитные (остекление ориентировано на зенитную часть неба); фонари-надстройки (П-образные, М-образные, трапециевидальные); шедовые фонари (с односторонним остеклением и пилообразной кровлей).

Зенитные фонари бывают ленточные, панельные и точечные (рисунок 5.10).



а – купола с глубокими шахтами; б – крупногабаритные ленточные

Рисунок 5.10 – Конструкции зенитных фонарей

Ленточные зенитные фонари были распространены в России в производственных зданиях конца XIX века. В настоящее время они имеют широкое распространение в Европе. Согласно закону проекции телесного угла они имеют высокую светоактивность. Однако их недостатком является то, что

они пропускают в помещение прямые солнечные лучи, что в производственных зданиях недопустимо, и требуют специальной солнцезащиты. Кроме того, эти фонари практически не используют отраженный свет от кровли.

Фонари-надстройки пришли в Россию из Америки в XX веке в годы индустриализации. Как правило, эти фонари - светоаэрационные, т.е. используются как для освещения, так и для аэрации. Практика показала, что при таком использовании частицы пыли, копоти в смеси с масляной пылью, содержащиеся во внутреннем воздухе многих промышленных зданий, осаждаются на остеклении, которое загрязняется и перестает работать для освещения. При проектировании фонарей-надстроек целесообразно разделять функции освещения и аэрации. В этом случае можно добиться высокого качества и равномерности освещения.

Преимуществом фонарей-надстроек является то, что прямые солнечные лучи меньше попадают в помещение. Кроме того, свет, отраженный от прилегающих участков кровли, особенно если кровля светлая, отражается на потолок фонаря, и оттуда - на рабочую поверхность (рисунок 5.11).

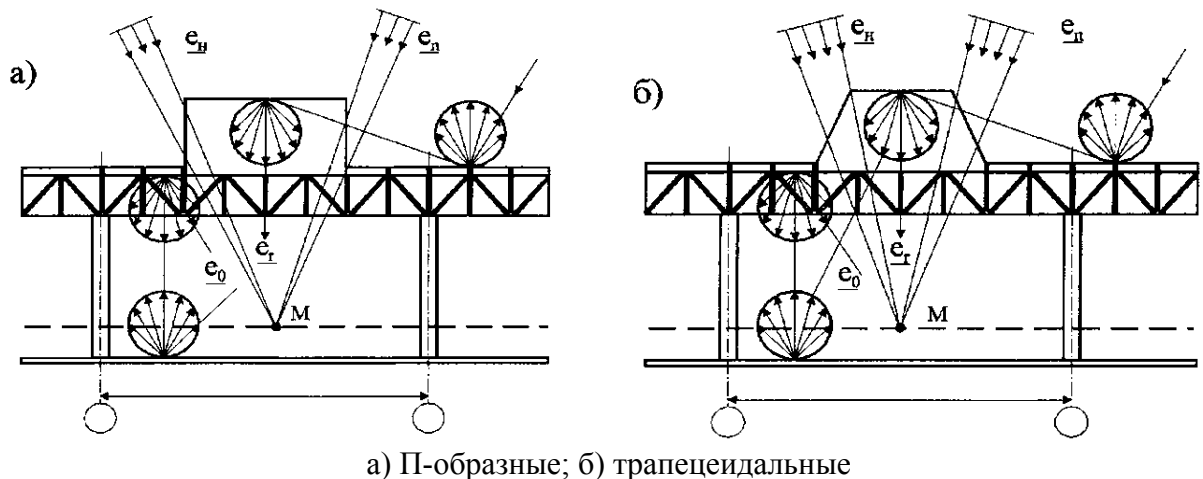


Рисунок 5.11 – Фонари-надстройки

Это может значительно увеличить освещенность в зоне под фонарем. Современные П-образные фонари-надстройки используют преимущества зенитных фонарей. В них крыша устраивается из современного эффективного светопрозрачного материала с сотовой структурой - поликарбоната, обладающего хорошими теплозащитными качествами и являющегося одновременно в некоторой степени солнцезащитой. Естественно, что в этом случае функции освещения и аэрации должны быть строго разделены. Недостатком фонарей-надстроек при их близком расположении друг к другу в кровле является возможность образования снеговых мешков. Поэтому при их проектировании следует учитывать зимнюю розу ветров.

Шеды или фонари в пилообразной кровле. (В английской строительной терминологии шед – это цех с двускатной малоуклонной кровлей) (рисунок 5.12)

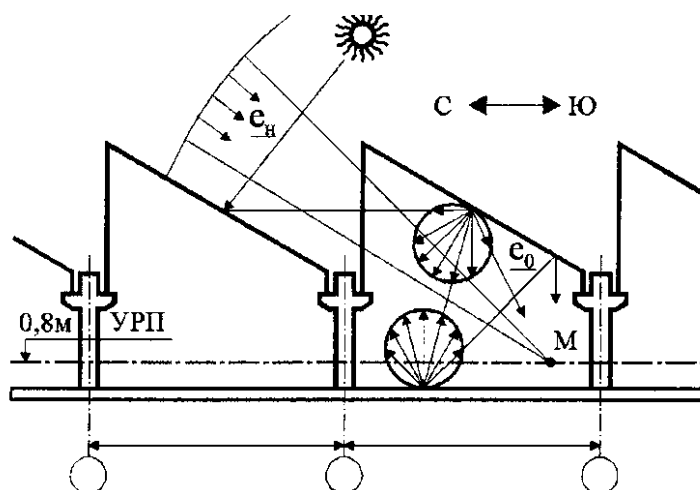


Рисунок 5.12 – Шедовые фонари

Преимущество шедовых фонарей в их естественной солнцезащите при ориентации остекления на север, а также в очень хорошем использовании отраженного света от кровли, в том числе и солнечного. Недостаток - возможность образования снеговых мешков у остекления, что приводит к перегрузкам конструкции и протечкам.

Наиболее простым, но приближенным способом определения размеров светопроёмов является геометрический, при котором площадь проёмов устанавливается в долях (или %) от площади пола. Этот метод, как правило, применяется на стадии проработки проекта для выбора площади остекления.

Для бокового освещения площадь окон может быть определена из формулы

$$100 \frac{S_0}{S_{\text{п}}} = \frac{e_{\text{норм}} \eta_0}{\tau_0 r_0} K_{\text{зд}} K_{\text{з}},$$

где S_0 и $S_{\text{п}}$ – площадь окон и площадь пола, м²;

$e_{\text{норм}}$ – нормируемый КЕО при боковом освещении;

τ_0 – общий коэффициент светопропускания проёмов;

r_0 – коэффициент, учитывающий влияние отраженного света в расчетной точке;

$K_{\text{зд}}$ – коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями, определяется в зависимости от отношения расстояния P между противостоящими зданиями к высоте расположения карниза над подоконником рассматриваемого окна $H_{\text{зд}}$;

$K_{\text{з}}$ – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светопроёмов;

η_0 – световая характеристика окон, показывающая отношение площади окон к площади пола в %, обеспечивающее значение КЕО= 1% в расчетной точке в глубине помещения на условной рабочей поверхности.

Для верхнего естественного освещения:

$$100 \frac{S_{\phi}}{S_{\Pi}} = \frac{e_{\text{норм}} K_3 \eta_{\phi}}{\tau_0 r_0 K_{\phi}},$$

где S_{ϕ} – площадь световых проемов (в свету) при верхнем освещении;
 η_{ϕ} – световая характеристика фонаря, определяемая СП 23-102-2003.

r_2 – коэффициент, учитывающий влияние отраженного света при верхнем освещении, принимаемый по табл. прил.;

κ_{ϕ} – коэффициент, учитывающий тип фонаря, применяемый по табл.

Для наиболее распространенных геометрических и светотехнических параметров боковых светопроёмов и помещений в Своде правил СП 23-102-2003 приведены графики для определения относительной площади светопроёмов:

– для определения относительной площади световых проёмов $A_{с0}/A_{\Pi}$ при боковом освещении жилых помещений (рисунок 1);

– при боковом освещении общественных зданий для предварительного определения площади окон в общественных зданиях и в производственных цехах (рисунок 2);

– для бокового освещения помещений и школьных классов (рисунок 3);

Для предварительного расчета площади светопроёмов при верхнем освещении применяют графики.

Контрольные вопросы

1. Какой лучистый поток называется монохроматическим, а какой – сложным? Привести примеры.

2. Из каких излучений состоит оптическая часть электромагнитного спектра лучистой энергии?

3. Закон проекции телесного угла и его следствия.

4. Закон светотехнического подобия и его свойства.

5. Факторы, характеризующие световой климат местности.

6. Коэффициент естественного освещения (КЕО), методы расчета.

7. Схемы прохождения света в помещениях.

8. Дать определение коэффициентам отражения, пропускания, поглощения.

9. Требования по проектированию и конструированию систем естественного освещения

10. Конструкции фонарей верхнего естественного света.

Лекция 6. ИНСОЛЯЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

План лекции.

6.1. Современные тенденции в расчетах и проектировании естественного и совмещенного освещения.

6.2. Инсоляция и солнцезащита.

6.3. Техничко-экономическая и энергетическая оценка систем естественного освещения зданий.

6.1. Современные тенденции в расчетах и проектировании естественного и совмещенного освещения

Проектирование естественного освещения зданий должно базироваться на детальном изучении технологических или иных трудовых процессов, выполняемых в помещениях, а также на светоклиматических особенностях места строительства зданий. При этом должны быть определены следующие характеристики:

- характеристика зрительной работы, наименьший размер объекта различения, разряд зрительной работы, контраст объекта различения с фоном, характеристика фона;
- местонахождение здания на карте светового климата;
- нормированное значение КЕО с учетом характера зрительной работы и светоклиматических особенностей места расположения зданий;
- требуемая равномерность естественного освещения;
- габаритные размеры и расположение оборудования, возможное затенение им рабочих поверхностей;
- желательное направление падения светового потока на рабочую поверхность;
- продолжительность использования естественного освещения в течение суток для разных месяцев года с учетом назначения помещения, режима работы и светового климата местности;
- необходимость защиты помещения от слепящего действия прямого солнечного света;
- дополнительные требования к освещению, вытекающие из специфики технологического процесса и архитектурных требований к интерьеру (требования к спектральному составу искусственного света, постоянство освещенности во времени, насыщенность помещения светом, распределение яркости в поле зрения, соотношение освещенности на вертикальной и горизонтальной поверхностях).

Проектирование естественного освещения зданий целесообразно осуществлять в следующей последовательности:

1-й этап:

- определение требований к естественному освещению помещений;
- определение нормированного значения КЕО по разряду преобладаю-

щих в помещении зрительных работ;

- выбор систем освещения;
- выбор типов светового проема и светопропускающего материала;
- выбор средств для ограничения слепящего действия прямого солнечного света;
- учет ориентации зданий 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 поверочного расчета естественного освещения помещений;
- определение помещений, зон и участков, имеющих недостаточное по нормам естественное освещение;
- определение требований к дополнительному искусственному освещению, зонам и участкам с недостаточным естественным освещением;
- определение требований к эксплуатации световых проемов (необходимость устройства подходов к остеклению);

4-й этап:

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

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

- назначения и принятого архитектурно-планировочного, объемно-пространственного и конструктивного решения зданий;
- требований к естественному освещению помещений, учитывающих особенности технологии и характера зрительной работы;
- климатических и светоклиматических особенностей места стройки;
- экономичности естественного освещения (по приведенным затратам).

Верхнее и комбинированное естественное освещение следует применять преимущественно в производственных одноэтажных многопролетных зданиях промышленных и сельскохозяйственных предприятий, в одноэтажных общественных зданиях большой площади (крытые рынки, стадионы, выставочные павильоны и т.п.), 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 производственных, общественных и жилых зданиях, одноэтажных жилых зданиях, а также в одноэтажных общественных и производственных зданиях, в которых отношение глубины помещений к высоте окон над условной рабочей поверхностью не превышает 8.

Глубокие производственные помещения, в которых невозможно обеспечить требуемые условия освещения на всей площади, допускается делить по глубине на три зоны: зону с достаточным естественным освещением, зону

с совмещенным освещением и зону без естественного освещения. Границы зон определяются на основе расчета значений КЕО в точках характерного разреза помещения и сопоставления их с наименьшим нормированным КЕО соответственно для естественного и совмещенного освещения. Без естественного освещения считается зона, в пределах которой КЕО в точках характерного разреза помещения составляет менее 30% нормированного КЕО для естественного освещения. При этом размеры световых проемов и их заполнение выбираются, исходя из требований технологии, условий климата места строительства и технико-экономических требований.

При выборе окон, фонарей и светопропускающих материалов следует учитывать:

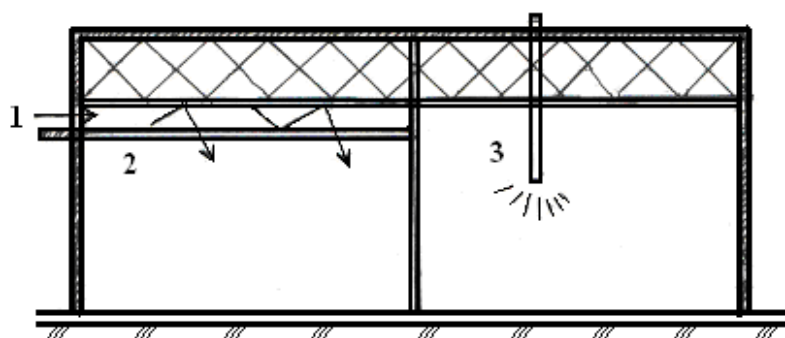
- требования к естественному освещению помещений;
- назначение, объемно-пространственное и конструктивное решение здания;
- ориентацию здания по сторонам горизонта;
- климатические и светоклиматические особенности места стройки;
- необходимость защиты помещений от инсоляции;
- степень загрязнения воздуха;
- необходимость обеспечения наименьших приведенных и энергетических затрат.

Для устройства верхнего естественного освещения помещений производственных зданий следует применять, как правило, светоаэрационные или зенитные фонари, при этом целесообразно использовать типовые конструкции фонарей.

Прямоугольные светоаэрационные фонари шириной 6 или 12 м с одним или двумя ярусами остекления следует применять, как правило, в производственных зданиях со значительными (свыше 23 Вт/м^3) избытками явного тепла. В зданиях с избытками явного тепла до 23 Вт/м^3 прямоугольные светоаэрационные фонари допускается применять при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Современные системы освещения зданий включают:

1. Световоды естественного освещения – рисунок 6.1.

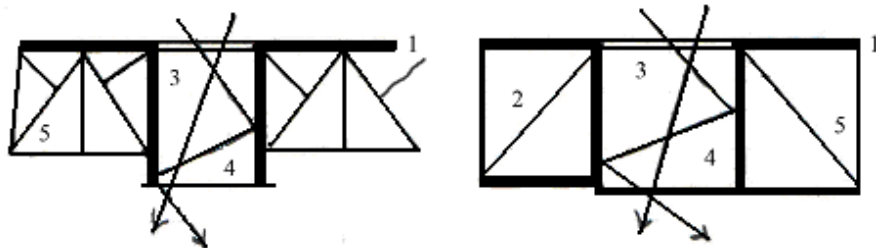


- 1 – светоприёмники; 2 – горизонтальный «щелевой» световод;
3 – вертикальный полый тубчатый световод

Рисунок 6.1 – Световоды естественного освещения

Световоды могут быть горизонтальными, вертикальными, наклонными или комбинированными по расположению в пространстве зданий и трубчатыми или прямоугольными (квадратными) в сечении. Световоды в основном применяются в промышленных или общественных зданиях. Они позволяют канализировать световые потоки в труднодоступные для света зоны зданий. При этом могут снижаться площади светопроёмов, более эффективно использоваться естественный свет и экономиться электроэнергия на цели искусственного или дополнительного искусственного освещения. В настоящее время такие системы носят обобщающее название «полых трубчатых световодов».

2. *Зенитные фонари «шахтного типа»* – рисунок 6.2.

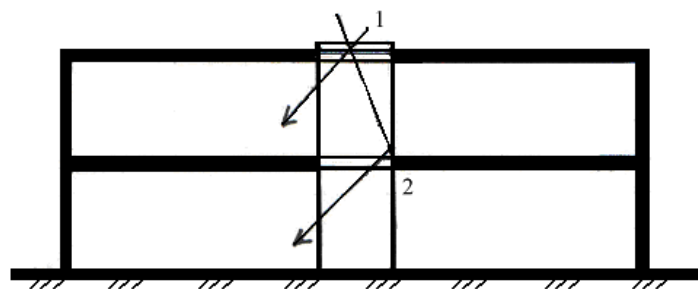


1 – ограждающие конструкции покрытия; 2 – технический этаж;
3 – зенитный фонарь «шахтного» типа; 4 – отражающие материалы
покрытия шахты; 5 – несущая конструкция покрытия

Рисунок 6.2 – Зенитные фонари «шахтного» типа

Рационально применять в зданиях с подвесными потолками в последнем этаже, технических этажах или с развитым межферменным пространством. Внутренняя отделка шахт выполняется из эффективных светоотражающих материалов. При использовании шахтных фонарей значительно увеличивается их световая активность за счет прироста отраженной составляющей естественного освещения.

3. *Световые колодцы* – рисунок 6.3.



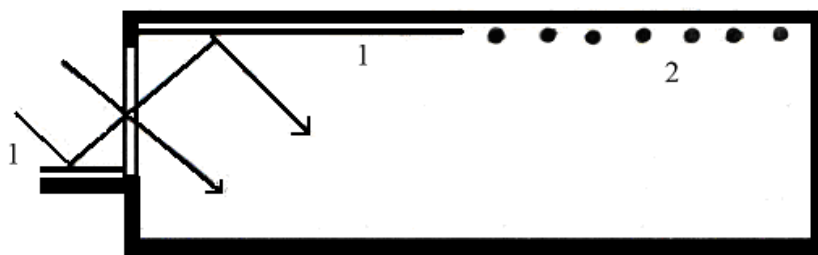
1 – фонарь верхнего света; 2 – светопрозрачное ограждение

Рисунок 6.3 – Световые колодцы

Применяют, как правило, в высоких и широких промышленных и общественных зданиях. Они представляют собой стеклянные призмы или цилиндры, проходящие через здания по всей их высоте и соединенные сверху с

зенитными световыми фонарями. Использование световых колодцев является одной из немногих возможностей обеспечить все этажи многоэтажных зданий естественным светом в зонах, отдаленных от боковых светопроемов. Однако эта система в большей степени обеспечивает психологические аспекты естественного освещения, чем дополнительное поступление света в помещение.

4. Зеркальные светоотражающие устройства – рисунок 6.4.

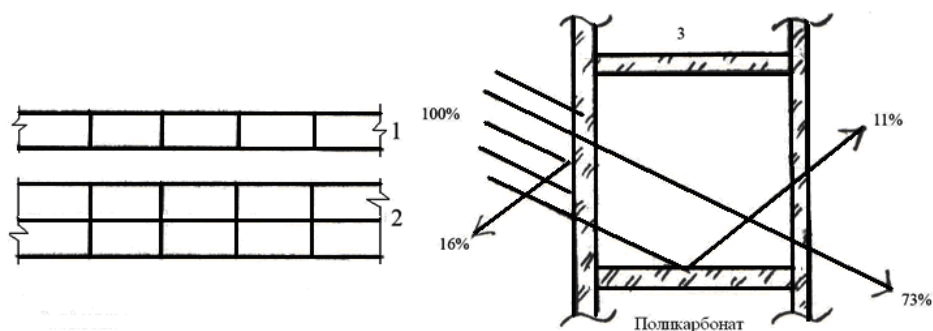


1 – светоотражающие поверхности;
2 – система дополнительного искусственного освещения

Рисунок 6.4 – Зеркальные ограждающие устройства

Данные устройства применяются для перераспределения потоков естественного света при боковом и верхнем естественном освещении. Эти устройства располагаются как внутри, так и снаружи помещения на горизонтальных, наклонных и вертикальных поверхностях.

5. Пластиковые светопропускающие элементы – рисунок 6.5.



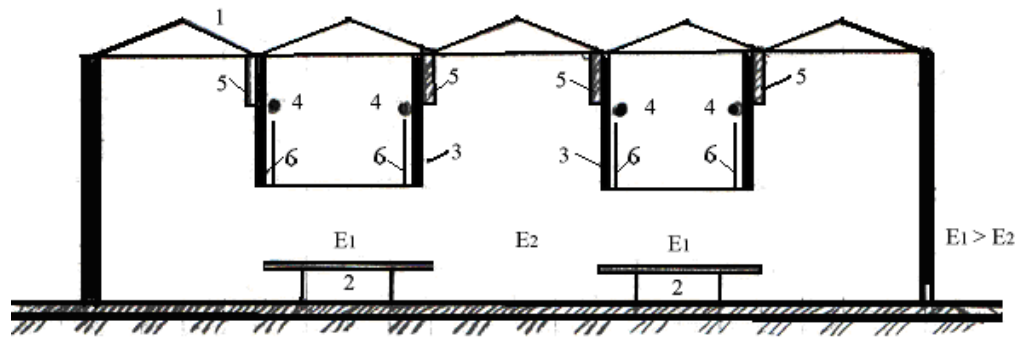
1 – двухслойный элемент из поликарбоната; 2 – трехслойный элемент из поликарбоната; 3 – схема светопускания и светоотражения двухслойного элемента из поликарбоната

Рисунок 6.5 – Светопропускающие элементы из пластика

Изготавливают в основном из поликарбоната (ПК) или полиметилметакрилата (ПММК), двухслойными или трехслойными с внутренними пустотами. Толщина элементов варьируется от 4,5 до 40 мм, ширина – от 60 до 200 см; длина достигает до 6,0 м. Они имеют хорошее светопропускание, долговечны, обладают высокими теплоизоляционными качествами, легкостью и прочностью. Эти характеристики зависят как от свойств применяемых мате-

риалов, так и от ячеистой структуры самих элементов.

6. *Комбинированные системы совмещенного освещения* – рисунок 6.6.



1 – фонари верхнего света; 2 – рабочие места; 3 – световые шахты; 4 – светильники дополнительного искусственного света; 5 – несущие конструкции; 6 – светоотражающее покрытие; E_1 – освещенность на рабочих местах; E_2 – освещенность в интерьере

Рисунок 6.6 – Комбинированная система совмещенного освещения

Применяется в помещениях с наличием световых шахт верхнего света, использующих все положительные качества естественного и искусственного освещения, как световых шахт, так и зеркальных отражающих устройств. При этом акцент делается не на традиционном освещении всего помещения, а на приоритетном освещении рабочих мест.

7. *Верхнебоковые светопроёмы*



Рисунок 6.7 – Верхнебоковое освещение

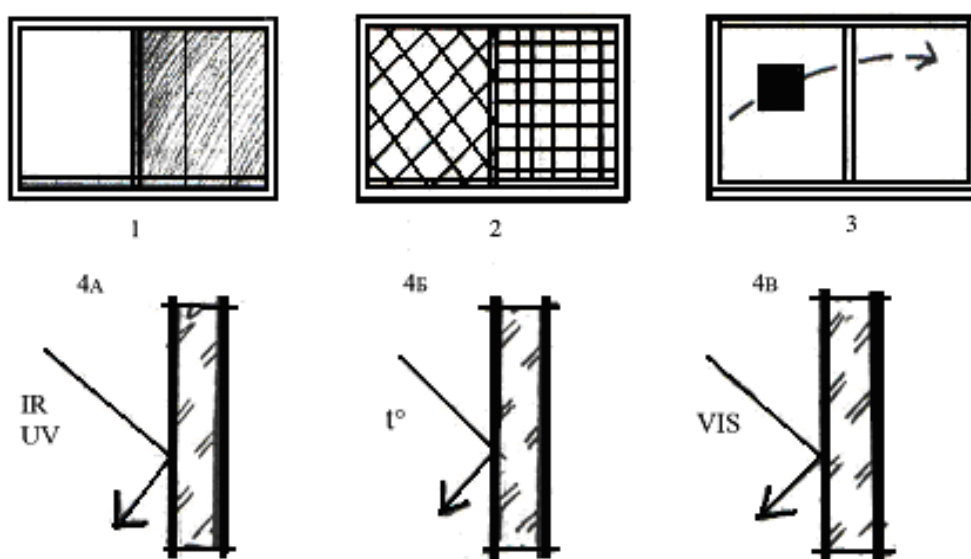
Данная конструкция обеспечивает эффективность естественного освещения за счет более высокого или наклонного расположения остекления, а также снижает слепимость в поле зрения работников. Целесообразно применение верхнебокового освещения в сочетании с небольшими, нижерасположенными боковыми светопроёмами, обеспечивающими психологический и визуальный контакт с окружающей средой.

8. *Волоконные световоды* (рисунок 6.8) из стекловолокна могут обеспечивать естественное или искусственное освещение в любой точке помещения, но крайне дороги.



Рисунок 6.8 – Волоконные световоды

9. «Динамические» ограждающие конструкции – рисунок 6.9.



- 1 – выборочная степень светопропускания изменением цвета остекления;
 2 – созданием узора и изменением различного цветового решения и степени светопропускания остеклением; 3 – создание солнцезащитной «бленды»;
 4 – варианты изолирующих свойств остекления отражением
 (А – инфра- и ультра- излучения; Б – тепловых волн; В – волн видимого света)

Рисунок 6.9 – «Динамические» ограждающие конструкции

Эти конструкции способны изменять свои теплотехнические свойства, степень светопропускания и внешний вид. «Динамические» ограждающие конструкции способствуют улучшению облика зданий, повышению комфортности пребывания в них людей, оптимизации энергозатрат, улучшению условий труда и эффективному использованию природных форм энергии.

Современные исследования в этой области используют технологии и открытия в сфере электрооптики, голографии, электростатической механики, жидких кристаллов и т.д.

Основные типы этих конструкций:

– многослойный светопропускающий элемент, состоящий из набора саморазворачивающихся пленок с индивидуальными светотехническими ха-

рактеристиками;

- двухслойный элемент с максимальным светопропусканием и с находящейся между слоями специальной жидкостью, имеющей свойство поглощать волны определенной длины при определенных электроимпульсах;

- термохроматические материалы, изменяющие свои светоотражающие и светопропускающие свойства в зависимости от температуры окружающей среды;

- жидкие кристаллы, обладающие при различной ориентации различными светоотражающими свойствами;

- самоклеющаяся термохроматическая пленка;

- напыленное термохроматическое покрытие стекла;

- диэлектрические материалы, способные изменять коэффициент светопропускания в зависимости от электрического импульса.

«Динамические» светопрозрачные ограждения могут выполнять следующие функции:

- создавать зрительное уединение;

- обеспечивать выборочное светопропускание по участкам светопроёма;

- превращать светопрозрачную конструкцию в несветопрозрачную;

- изменять цвет и узор ограждающей конструкции;

- создавать «мобильную солнцезащиту» в виде перемещающегося вслед за Солнцем непрозрачного участка светопроема («бленды»).

Все функции «динамического» светопрозрачного ограждения контролируются ЭВМ, работающей по определенной заданной программе.

6.2. Инсоляция и солнцезащита

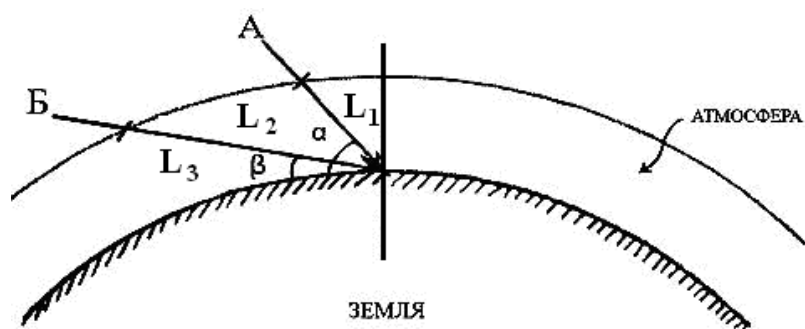
Инсоляцией называется облучение прямыми солнечными лучами (солнечной радиацией) помещений, фасадов зданий и территорий.

Инсоляция оказывает оздоровительное (физиологическое и психологическое) воздействие на человека. В больших количествах инсоляция зимой может служить средством дополнительного обогрева помещений, но летом может приводить к дискомфортному перегреву помещений, особенно в южных регионах.

Оптимальный инсоляционный режим достигается путем обеспечения прямого солнечного облучения в необходимом количестве и в заданное время.

Продолжительность инсоляции для каждой конкретной местности определяется, прежде всего, временем видимого движения солнца по небосводу.

Траектория движения солнца и период суточной инсоляции для каждой территории зависят от географической широты местности и времени года. В северных районах траектория движения солнца более пологая, а в южных районах более крутая (рисунок 6.10).



А — при высоком солнцестоянии; Б — при низком солнцестоянии;
расстояние L_3 и $L_2 >$ расстояния L_1

Рисунок 6.10 – Прохождение солнечных лучей через атмосферу

Положение солнца на небосводе определяется азимутом A_0 и вертикальным углом возвышения Солнца H_0 . Азимут – это горизонтальный угол, отмеряемый от направления на север до проекции на горизонтальную плоскость линии от точки наблюдения до точки положения Солнца (рисунок 6.11).

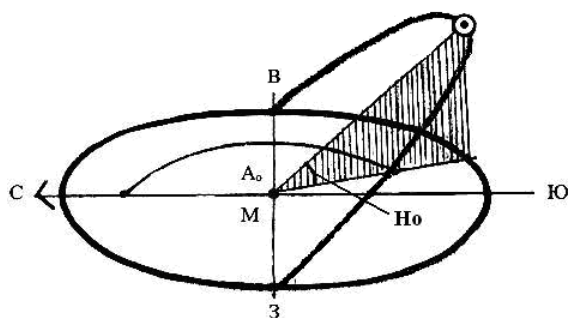


Рисунок 6.11 – Основные параметры положения Солнца

Дни, характеризующие инсоляцию: 22 июня и 22 декабря (дни летнего и зимнего солнцестояния соответственно), а также 22 марта и 22 сентября (дни весеннего и осеннего равноденствия соответственно). В день летнего солнцестояния Солнце движется по самой высокой и длинной для данной местности траектории, а в день зимнего солнцестояния – по самой низкой и короткой.

Определение времени инсоляции. Для различных географических широт и для различных периодов года определение времени инсоляции осуществляется с помощью солнечных карт (или графиков Дунаева) и инсоляционных графиков, на которых нанесены линии координат возможного высотного и азимутального положения Солнца. Реальные координаты движения Солнца наносятся на солнечные карты и соединяются линией, которая и характеризует траекторию движения Солнца.

Инсоляционные графики являются упрощенной модификацией солнечных карт, удобной для практического использования.

Самый длинный возможный период инсоляции характерен для высоких северных широт (так называемые «белые ночи») – до 21 ч в летний период.

Однако интенсивность солнечного облучения при этом крайне мала. В средних широтах самое продолжительное время инсоляции достигает 18 ч, а в южных – 15 ч. На экваторе максимальное (практически постоянное) время инсоляции составляет 12 ч при большой интенсивности солнечного сияния. При расчете времени инсоляции не учитывается 1 ч после восхода и 1 ч до захода солнца, т.к. в эти часы её оздоровительное действие незначительно.

Данные по продолжительности инсоляции, полученные по солнечным картам или инсоляционным графикам, относятся к территориям под открытым небом, ничем не затененным от солнечных лучей и являются теоретически максимально-возможными данными по продолжительности инсоляции для конкретной местности. В действительности, такие затеняющие факторы как влияние застройки, рельефа и т.д. существенно снижают время инсоляции для открытых пространств.

Фактически инсоляционный режим помещений, кроме географической широты и времени года, зависит от следующих факторов:

- ориентации светопроёмов;
- затенения противостоящими зданиями;
- затенения элементами здания (балконами, лоджиями, ризалитами, солнцезащитными устройствами (СЗУ) и т.д.);
- размеров и пропорций светопроёмов;
- толщины стеновых ограждающих конструкций.

Все эти вопросы решаются графическими методами расчета на основе графиков Дунаева (солнечных карт) или инсоляционных графиков. Самой простой задачей является определение времени инсоляции для открытой местности или для незатененного фасада, сложнее – определение времени инсоляции помещения при отсутствии затеняющих факторов. Самой сложной задачей является определение времени инсоляции территории, фасада или помещения с учетом затеняющих факторов.

В качестве вспомогательных данных для определения времени инсоляции должны быть определены предельные инсоляционные углы (горизонтальный и вертикальный) для рассматриваемого светопроёма с учетом обрамляющих стен, прилегающих СЗУ, балконов, лоджий, ризалитов и т.д. (рисунок 6.12).

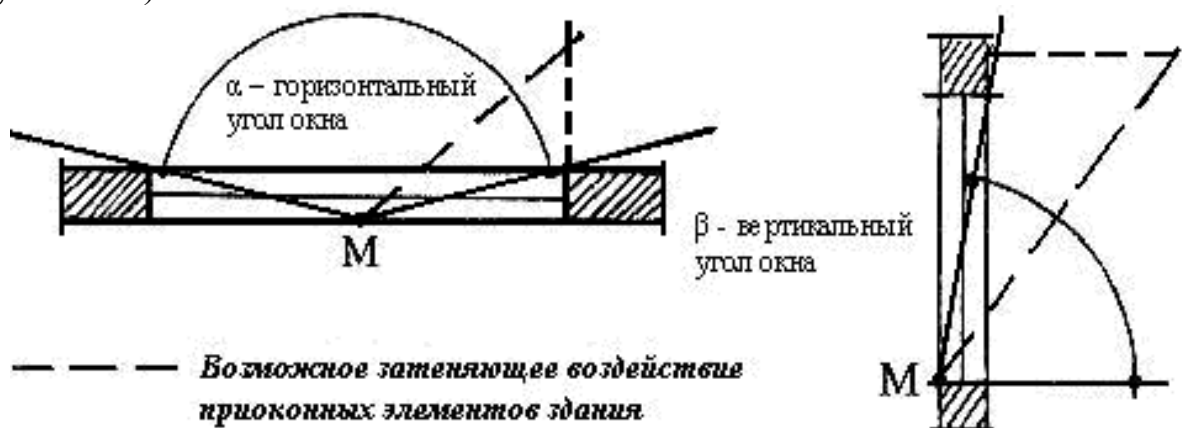
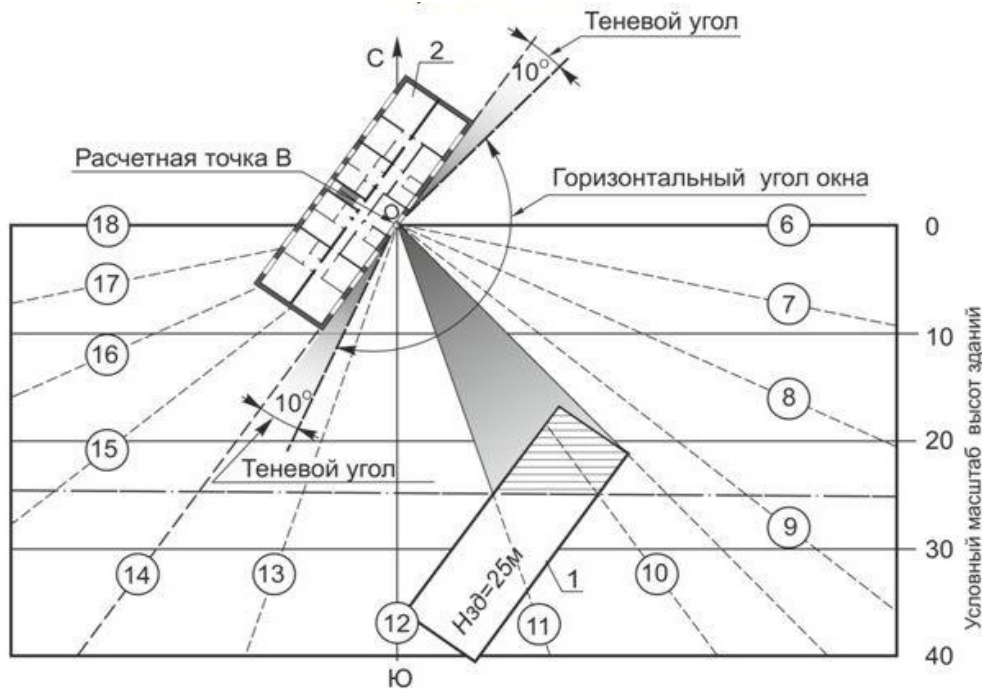


Рисунок 6.12 – Граничные инсоляционные углы окна

При наличии противостоящего объекта определяются его горизонтальные и вертикальные углы затенения, зависящие от высоты объекта, его протяженности и расстояния от рассматриваемого окна. Все эти углы накладываются затем на соответствующие солнечные карты (рисунок 6.13).



1 – затеняющее здание; 2 – инсолируемое здание с расчетной точки В светового проёма

Рисунок 6.13 – Определение продолжительности инсоляции помещения через окно

В случае применения инсоляционных графиков используются только инсоляционные углы окна, а противостоящие объекты рассматриваются с учетом их удаленности и высоты превышения относительно расчетной инсоляционной точки, т.е. с учетом только линейных размеров.

Расчетная инсоляционная точка окна определяется при пересечении линий, образующих горизонтальный и вертикальный инсоляционные углы окна.

Основные требования к инсоляции:

- для центральной инсоляционной зоны (48° с.ш. – 58° с.ш.) непрерывная инсоляция должна составлять более 2 часов в день в период с 22 марта по 22 сентября. Северная зона расположена севернее 58° с.ш., южная зона – южнее 48° с.ш. с соответствующим временем необходимой инсоляции 2,5 и 1,5 ч;
- в 1–3-х комнатных квартирах должно инсолироваться не менее 1 комнаты;
- в 4-х и более комнатных квартирах – не менее 2 комнат;
- допускается перерыв в инсоляции до 1,0 ч, при этом общее время инсоляции должно увеличиваться на 0,5 ч.

Инсоляция нормируется для следующих объектов:

- для жилых зданий;
- для зданий и территорий детских и учебных учреждений;
- для зданий и территорий лечебных учреждений.

В прочих гражданских зданиях инсоляция не нормируется, а в промышленных зданиях вообще должна быть исключена.

Для определения времени инсоляции сейчас используются стандартные инсоляционные графики, разработанные для каждой 5° широты для периода с 22 марта по 22 сентября. Для Москвы (56° с.ш.) используется график для 55° с.ш.

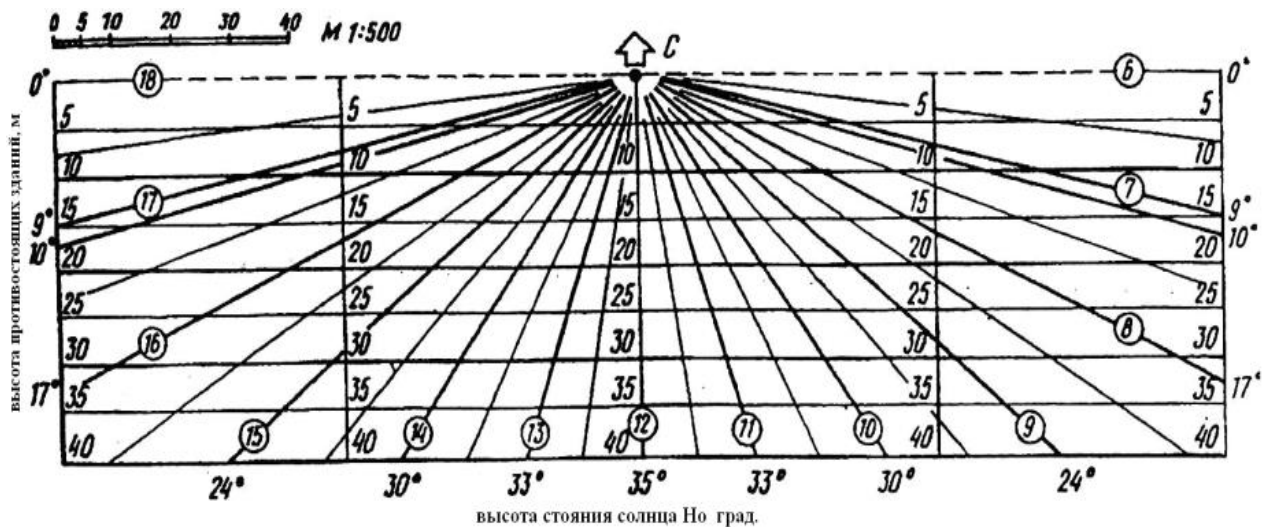


Рисунок – 6.14 – Инсографик для 55° с.ш. (22/III–22/IX) г. Москва

Методика определения времени инсоляции.

1. Определяются инсоляционные углы окна и положение расчетной точки.

2. Определяется ориентация светопроёма.

3. Расчетная точка окна совмещается с центром инсографика, плоскость окна размещается в соответствии с его ориентацией (т.е. с перпендикуляром к окну).

4. Горизонтальный инсоляционный угол наносится на инсографик в соответствии с ориентацией окна и подсчитывается количество лучей, проходящих в пределах этого угла к расчетной точке, и определяется общая продолжительность инсоляции.

5. В случае наличия противостоящих объектов, определяется высота их превышения относительно расчетной точки, и время затенения определяется с помощью горизонтальных линий на инсографике, характеризующих высоту противостоящих зданий. Зона между линией превышения и расчетной точкой является «зоной затенения».

6. Определенное время инсоляции сравнивается с нормативным, делаются выводы и даются рекомендации по совершенствованию, в случае необ-

ходимости, имеющейся инсоляционной системы.

В проектных организациях России для определения продолжительности инсоляции принято пользоваться так называемыми инсограммами которые можно накладывать на генплан и быстро определять продолжительность инсоляции прямо «с листа». Это повышает оперативность работы архитекторов. Недостатком инсоляционных графиков является сложность учета затеняющего действия карнизов, балконов и лоджий по сравнению с методом солнечных карт. Тем не менее, этот метод считается основным, и его применение регламентируется нормами СанПиН.

Солнцезащитные устройства (СЗУ). Нормы СанПиН требуют обязательное ограничение избыточного теплового воздействия инсоляции в жилых комнатах, помещениях детских дошкольных учреждений, учебных помещениях общеобразовательных школ, средних специальных учебных заведений, в палатах, санаторно-оздоровительных учреждениях и учреждениях социального обеспечения, имеющих юго-западную и западную ориентацию светопроёмов.

Ограничение негативного воздействия инсоляции при её чрезмерной продолжительности, которое выражается в перегреве помещений, слепимости и блескости, обеспечивается использованием методов солнцезащиты.

Солнцезащита может обеспечиваться следующими методами:

- ориентацией светопроёмов на северную четверть горизонта;
- затеняющей противостоящей застройкой;
- уменьшением размеров светопроёмов или увеличением толщины стен;
- крупной пластикой фасадов;
- солнцезащитными устройствами.

Суммарно эти меры обычно называют солнцезащитными средствами.

Солнцезащитные устройства могут быть как наружными, так и внутренними. Кроме того, они делятся на стационарные и регулируемые (мобильные). Стационарная солнцезащита, как правило, выполняется наружно, а регулируемая солнцезащита – внутри. Солнцезащитные устройства являются эффективным средством естественного регулирования светового, инсоляционного и теплового режимов в помещении.

Стационарные СЗУ подразделяются на горизонтальные, вертикальные и комбинированные (таблица 6.1). Они могут быть железобетонными, деревянными, металлическими, пластиковыми или тканевыми. Кроме этого, они выполняются как сплошными, так и сквозными (планочными или решетчатыми).

Стационарные СЗУ являются элементом архитектуры здания и должны быть правильно спроектированы для того, чтобы не усугубить перегрев.

Регулируемые СЗУ бывают горизонтальными или вертикальными, обычно в виде жалюзи. Они выполняются в основном из дерева, металла или пластика.

Кроме этого, применяется солнцезащитное стекло, солнцезащитные пленки и т.д.

Таблица 6.1 – Примеры «теневых масок» некоторых типов СЗУ

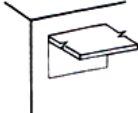


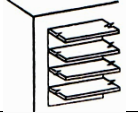





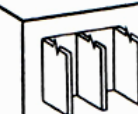
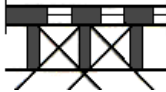

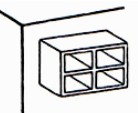






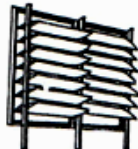






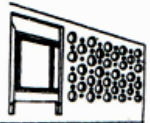
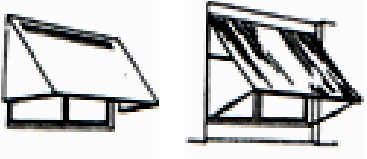
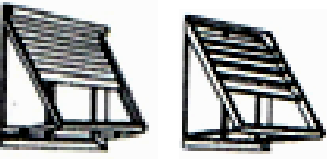
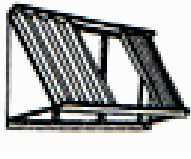







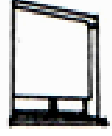

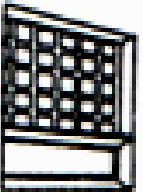


№№	Тип СЗУ	Общий вид	Разрез	«Теневая маска»
1	Горизонтальные козырьки			
2	Горизонтальные жалюзи			
3	Жалюзийные козырьки			
4	Вертикальные ребра			
5	«Сотовые» СЗУ (уменьшенный вариант комбинированных СЗУ)			

Таблица 6.2 – Стационарные и регулируемые СЗУ

Тип СЗУ	Общий вид СЗУ		
Горизонтальные			
	Сплошные	Решетчатые	
			
	Стационарные	Регулируемые (вращающиеся)	Регулируемые (поднимающиеся)
Вертикальные			
	Стационарные	Регулируемые	
Комбинированные			
	Стационарные	Регулируемые	Перфорированные стенки и сетки

Маркизы					
	Сплошные	Шторы-маркизы	Собирающиеся		Складывающиеся
Тип СЗУ	Общий вид СЗУ				
Экраны					
	Сплошные		Решетчатые		Из теплоотражающих стекол и пластмасс
Ставни-жалюзи					
	Венецианские жалюзи				
	Распашные		Раздвижные		Складывающиеся
Шторы					
	Планочные		Свертывающиеся тканевые		Драпировки
Изделия из стекла					
	Стеклоблоки				Стеклопрофилит

Расчет СЗУ. Для определения размеров необходимых размеров СЗУ в зависимости от ориентации и расчетного положения Солнца применяются следующие формулы (рисунок 6.15):

– для горизонтального СЗУ: $tg\beta = L/H$; $L = H \cdot tg\beta$

– для вертикального СЗУ: $tg\gamma = L/B$; $L = B \cdot tg\gamma$,

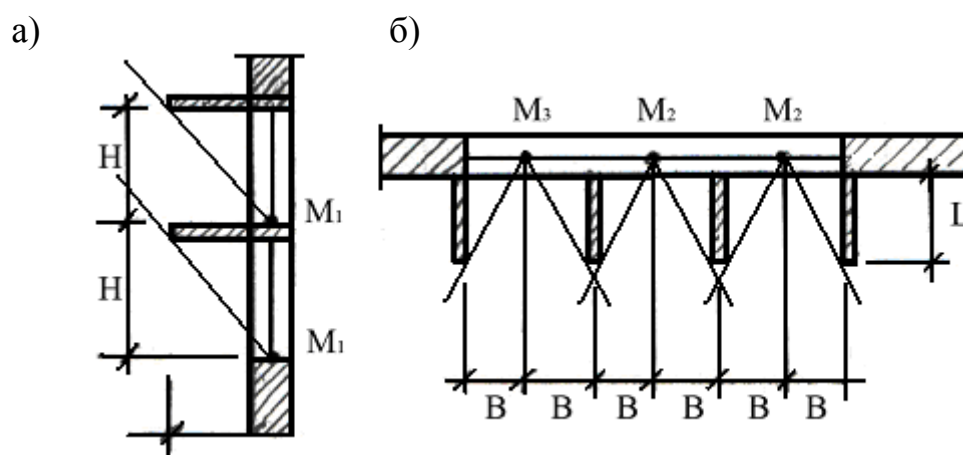
где H – расстояние от низа козырька до низа окна (расчетной точки) или расстояние между планками горизонтальных жалюзи;

B – расстояние от ребра до середины окна (расчетной точки) или половина расстояния между планками вертикальных жалюзи;

$\beta = 90^\circ - H_0$, где H_0 – вертикальный угол возвышения солнца.

$\gamma = 90^\circ - A_0$, где A_0 – азимут солнца (или α при отсчете от реального

направления ориентации светопроёма).



а – горизонтальные; б – вертикальные жалюзи

Рисунок 6.15 – Варианты к расчету солнцезащитных устройств

Характерными ошибками при проектировании стационарных СЗУ являются:

1. Применение тяжелых бетонных экранов и козырьков, монолитно связанных с несущими конструкциями; большие плоскости остекления усугубляют перегрев помещений. Горячий воздух, поднимаясь по фасаду, попадает в помещения. Очень светлые СЗУ создают слепимость за счет отраженного от них прямого солнечного света.

2. Несоответствие геометрических параметров СЗУ требуемым условиям затенения светопроёмов. В основе этой ошибки лежит стремление архитекторов придать солнцезащите преимущественно декоративный характер, не проверив эффективность затенения.

3. Применение СЗУ с внутренней стороны светопроёмов. Эта ошибка более характерна для регулируемых устройств.

4. Применение наружной солнцезащитной пластики, свойственной архитектуре тропических стран, в зданиях, строящихся в центральных и се верных районах.

5. Применение одинаковой наружной солнцезащиты на всех фасадах здания независимо от их ориентации.

6. Применение солнцезащитного остекления. Следует учитывать, что теплоотражающие стекла лишь частично эффективны в снижении перегрева и бесполезны как средство против слепящего действия прямых солнечных лучей. Они не пропускают целебную УФР, значительно снижают освещенность и стоят во много раз дороже обычного оконного стекла. Это же касается и тонированных стекол, к негативным качествам которых добавляется аккумулялирование тепла. Летом такие стекла могут быть дополнительным источником перегрева.

6.3. Технико-экономическая и энергетическая оценка систем естественного освещения зданий

Технико-экономическая оценка систем естественного и совмещенного освещения заключается в определении срока окупаемости дополнительных единовременных затрат, необходимых для изменения системы естественного или совмещенного освещения помещения.

Оценка осуществляется в следующей последовательности:

- а) определяются нормированные значения КЕО для помещения при естественном и совмещенном освещении;
- б) устанавливаются нормы искусственной освещенности в зависимости от разряда и подразряда зрительных работ;
- в) вычисляется расчетное значение КЕО в наиболее удаленной точке помещения, которое сравнивается с нормируемым;
- г) если расчетное значение КЕО выше или ниже нормируемых значений при естественном или совмещенном освещении, то производится технико-экономический расчет с увеличением (уменьшением) размеров световых проемов или варианта изменения совмещенного освещения без увеличения размеров световых проемов.

Рассматриваются два варианта изменения системы освещения:

1. Повышение нормы искусственного освещения помещения на одну ступень.
2. Изменение системы естественного освещения путем увеличения площади световых проемов при обеспечении расчетного значения КЕО не менее 0,8 нормированного.

Сравнение затрат для принятых вариантов изменения системы освещения осуществляется в следующей последовательности:

- а) устанавливается разница единовременных затрат ΔK на первую (K_1) и вторую (K_2) систему освещения по формуле

$$\Delta K = K_1 - K_2 = (F_2 - F_1)(\xi_{ок} - \xi_{ст})$$

где F_1 и F_2 – площади световых проемов, m^2 ;

$\xi_{ок}$ и $\xi_{ст}$ – цена соответственно заполнения светового проема и возведения ограждающей конструкции, в которой расположен световой проем, руб./ m^2 .

- б) определяется разница среднегодовых затрат на потери тепловой энергии за отопительный период ΔZ_T , связанная с изменением системы естественного освещения помещения:

$$\Delta Z_T = 0,024 D_d (F_2 - F_1) \left(\frac{1}{R_{ок}^{нп}} - \frac{1}{R_{ст}^{нп}} \right) C_T,$$

где D_d – градусо-сутки отопительного периода района строительства, ($^{\circ}C \cdot сут$)/год, определяемые по формуле

$$D_d = (t_{int} - t_{xt}) \cdot z_{xt},$$

где t_{int} – расчетная температура воздуха помещения, $^{\circ}C$;

t_{xt} и z_{xt} – соответственно средняя температура наружного воздуха, $^{\circ}C$, и продолжительность, сут., отопительного периода; принимается

по СНиП 23-01-99* «Строительная климатология»;

$R_{ок}^{пр}$ и $R_{ст}^{пр}$ – соответственно приведенное сопротивление теплопередаче заполнения светового проема и ограждающей конструкции, в которой расположен световой проем, $(м^2 \cdot ^\circ C)/Вт$;

C_T – перспективная цена тепловой энергии, руб./ $(кВтч)$.

в) рассчитывается разница среднегодовых затрат на потребление электрической энергии ΔZ_2 , обусловленная изменением системы искусственного освещения помещения:

$$\Delta Z_2 = (N_2 \sum z_2 - N_1 \sum z_1) C_F,$$

где N_1 и N_2 – соответственно установленная мощность искусственного освещения помещения, $Вт/м^2$, для 1 и 2 вариантов;

$\sum z_1$ и $\sum z_2$ – соответственно продолжительность использования искусственного освещения, ч/год, для 1 и 2 вариантов;

C_F – перспективная цена электрической энергии, руб.

г) определяется разница среднегодовых эксплуатационных затрат

$$\Delta \mathcal{E} = -(\Delta Z_T - \Delta Z_2).$$

д) проверяется условие окупаемости затрат при изменении системы освещения с 1-го варианта на 2-й вариант:

$$\Delta K \leq \frac{\Delta \mathcal{E}}{r/100},$$

где r – процентная ставка Центробанка по кредиту.

Если данное условие не выполняется, значит затраты на изменение системы освещения помещения в соответствии с вариантом 2 не окупаются и выгоднее принять 1-й вариант, т.е. повысить нормы искусственного освещения на одну ступень.

При выполнении условия производится расчет срока окупаемости искусственной системы освещения

$$T_0 = \ln \left[\frac{1}{1 - \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}} \frac{r}{100}} - \left(1 + \frac{r}{100} \right) \right].$$

Полученное значение расчетного срока окупаемости T_c сравнивается с принятым предельно допустимым значением $T_{0 доп}$. Если $T_0 < T_{0 доп}$, то 2-й вариант является экономически более выгодным и может быть принят для исполнения. В противном случае принимается 1-й вариант.

Контрольные вопросы

1. Особенности проектирования естественного освещения зданий.
2. Перечислите современные системы освещения зданий.
3. Инсоляция – определение, основные требования и нормы.
4. Методика определения времени инсоляции.
5. Методы обеспечения солнцезащиты помещений.
6. Конструкции стационарных солнцезащитных устройств (СЗУ).
7. Ошибки при проектировании СЗУ.
8. Особенности оценки систем естественного освещения зданий.

Лекция 7. ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ АКУСТИКИ И ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА

План лекции.

- 7.1. Формирование акустического комфорта в помещении.
- 7.2. Внешние источники, методы и средства защиты от шума.
- 7.3. Архитектурно-планировочные методы защиты от шума.
- 7.4. Методы расчета звукового поля.
- 7.5. Время реверберации и его расчеты.

7.1. Формирование акустического комфорта в помещении

Акустический комфорт играет важнейшую роль в ощущении уюта и комфорта дома в целом. Достижение оптимального состояния звуковых характеристик помещения очень важно, причем как с психологической, так и с физиологической точек зрения. Постоянный акустический дискомфорт, звуковое давление вызывают стресс, ухудшают слух и отрицательно сказываются на общем самочувствии человека. В то же время акустический комфорт в доме не означает полную тишину. Звуки необходимы человеку не случайно. Например, голоса поющих птиц и шум воды благотворно влияют на настроение, а в целом, и на здоровье людей.

Таким образом, *акустический комфорт* – это компромиссное значение уровней звука и шума, не оказывающее отрицательного влияния на состояние и настроение человека.

Звук – это физическое явление, вызванное колебательным движением частиц среды. Характеризуется оно амплитудой и частотой.

Шум – это хаотичное смешение звуков, не несущее полезной информации и отрицательно воздействующее на нервную систему.

Человеческое ухо способно воспринимать звук с частотой колебаний от 16 Гц до 20 кГц (таблица 7.1). Таким образом, люди могут слышать и шорох листвы, и раскаты грома.

Таблица 7.1 – Диапазон звука

Частота, Гц	Название	Что порождает	Восприятие человеком
От 16 и ниже	Инфразвук	Шум атмосферы, моря, сотрясение земной коры	Не слышимы
16-20000	Звук	Колеблющиеся тела	Слышимы
$2 \times 10^4 - 10^9$	Ультразвук	Колеблющиеся с большой частотой тела	Не слышимы
$10^9 - 10^{13}$	Гиперзвук	Сверхвысокочастотные колебания тел	Не слышимы

Уровень громкости звука измеряют в децибелах (дБ).

Значение в 0 дБ соответствует минимальному порогу слышимости; шепот на расстоянии 1-2 м будет соответствовать примерно 10 дБ; тихий разговор – это 40 дБ; шум от автотрассы в 5-10 м – порядка 90 дБ; 100 дБ – громкий звук автомобильного клаксона на расстоянии 5-7 м (рисунок 7.1).

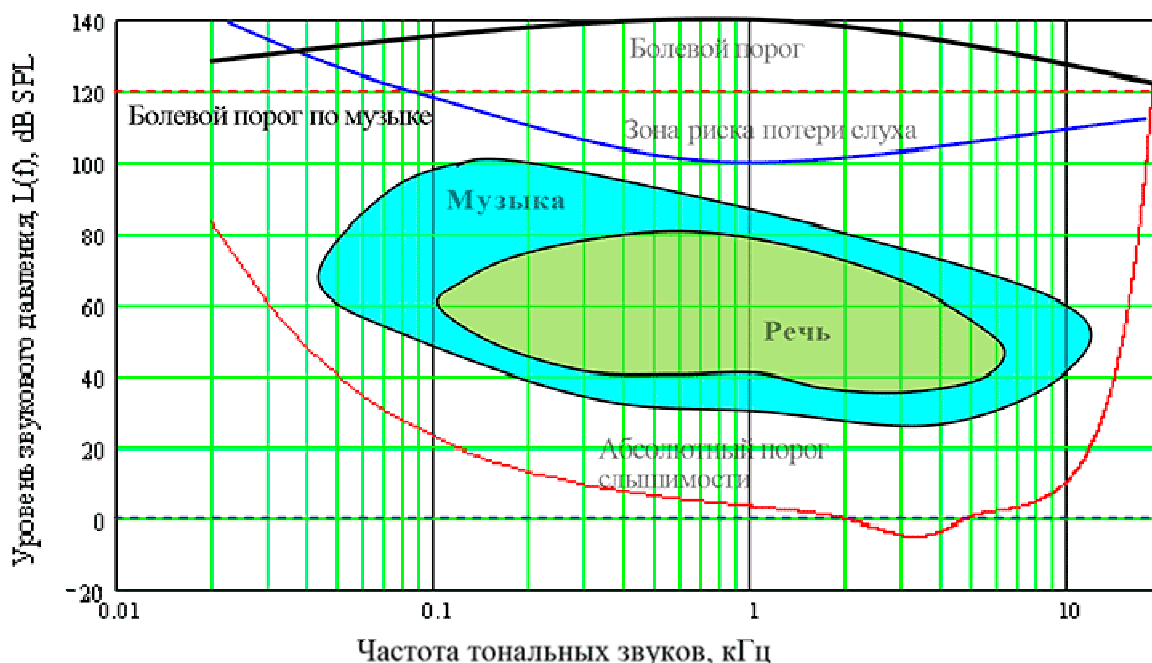


Рисунок 7.1 – Диапазон громкости звука

Как видно из рисунка порог болевых ощущений для человека составляет 130 дБ. Звук громкостью свыше 180 дБ может даже вызвать разрыв барабанной перепонки. А вот звуковая обстановка в доме на уровне ниже 20 дБ способна негативно воздействовать на психику человека.

Нормальный, комфортный уровень шума в жилом помещении составляет примерно 25-30 дБ. Этот показатель регламентируют СНиП 23-03-2003 «Защита от шума», а также санитарные нормы по уровням шума на территории жилой застройки и в жилых помещениях.

Таким образом, нормативы устанавливают акустические параметры, которые должны быть достигнуты внутри жилого помещения, вне зависимости от того, где это оно находится.

Конструкции дома должны обеспечивать снижение звукового воздействия окружающей среды до комфортного уровня. Например, для дома возле автотрассы нужно обеспечить снижение уровня шума на 50-60 дБ (разница между уровнем шума от автострады и комфортным уровнем).

Вопрос лишь в том, какими средствами и методами этого можно достичь. И если дом на опушке леса вдали от населенных пунктов и транспортной инфраструктуры будет соответствовать нормам даже при отсутствии специальной изоляции, то возле автотрассы придется устраивать серьезные преграды звуку.

7.2. Внешние источники, методы и средства защиты от шума

Звук как физическое явление представляет собой волнообразное колебательное движение, которое распространяется в материальной упругой (газообразной, жидкой или твердой) среде.

Источником звука является какое-либо вибрирующее, колебания которого вызывают в упругой среде колебания ее частиц, которые распространяются волнообразно с определенной скоростью в виде звуковых волн. При этом сами частицы среды не перемещаются вместе со звуковой волной, а только колеблются, попеременно смещаясь и возвращаясь в первоначальное равновесное положение.

Источники шума:

- внешнего: транспорт; производственные предприятия; внутриквартильные источники;
- в зданиях: инженерное и санитарно-техническое оборудование; источники бытового шума.

В числе причин увеличения шумовых воздействий являются:

- небольшие участки под строительство;
- более плотная застройка;
- большая мощность домашних электроприборов и инженерного оборудования современных зданий.

Мероприятия по защите от шума планируются уже в процессе проектирования. Однако они могут проектироваться и после возведения объекта при реконструкции или перепрофилировании зданий.

При проектировании следует учитывать следующие положения:

- выбор участка (наличие шумовых воздействий: транспорт, промышленность);
- ориентация дома на участке (какие помещения располагать со стороны источника шума и какие – с противоположной стороны);
- планировочное решение (шумные комнаты рядом с шумными, помещения, где требуется покой, рядом с тихими помещениями);
- выбор конструктивного решения;
- вид использования, например промышленное, частное, сочетание различных видов использования.

Область среды, в которой распространяются звуковые волны, называется *звуковым полем*.

При распространении звуковых волн в воздухе и в жидкостях смещение частиц среды происходит в направлении распространения волны, такие волны называются продольными.

При распространении колебаний в твердых телах возникают поперечные волны, когда частицы среды смещаются перпендикулярно направлению распространения звуковой волны. В твердых телах возможны колебания продольных и поперечных волн.

Звуковые волны подобно всякому волновому движению характеризуются длиной волны, частотой колебаний и скоростью их распространения.

Расстояние, на которое распространяется звуковая волна за время одного полного колебания или одного периода колебания, называется длиной волны.

Длина звуковой волны λ зависит от частоты и скорости звука и может быть определена по формуле

$$\lambda = c/f,$$

где c – скорость распространения звука, м/с;

f – частота звука, Гц.

Частота – это количество колебаний в единицу времени, частота определяет высоту звукового тона, единица измерения частоты – герц (Гц) число колебаний в 1 секунду

$$f = 1/T.$$

Зависимость длин волн от частоты представлена на рисунке 7.2.



Рисунок 7.2 – Зависимость длины звуковых волн и частоты звука

Звуковое давление p – изменение атмосферного давления внутри определенного периода времени, началом отсчета которого является давлением $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Н/м² или 20 Па. Это самое меньшее давление звука, которое может воспринимать человеческое ухо (порог слышимости).

Уровень звукового давления L . Ухо человека в состоянии оценивать не абсолютные, а относительные изменения звукового давления или интенсивности звука. При этом уровень ощущения по закону Вебера-Фехнера изменяется пропорционально логарифму физического воздействия. Изменение интенсивности звука и звукового давления огромно. То есть ухо человека может различать изменения этих параметров соответственно в 10^{14} и 10^7 раз. Поэтому введены логарифмические единицы:

Уровень интенсивности звука или уровень звукового давления определяется по зависимости (Децибел), дБ.

$$L = 10 \lg(I/I_0) = 10 \lg(p^2/p_0^2) = 20 \lg(p/p_0),$$

где I_0 и p_0 – значения, соответствующие порогу слышимости ($I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² на частоте 1000 Гц, $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Па).

В общем случае мероприятия и средства по защите от шума в помещениях с нормируемыми уровнями шума, должны отвечать требованиям звукоизоляции воздушного и ударного шума ограждающими конструкциями здания. Условно все средства и методы защиты от шума подразделяются на коллективные и индивидуальные.

Коллективные средства защиты – снижающие шум в источнике и на пути его распространения до защищаемого объекта подразделяются на архитектурно-планировочные; акустические; организационно-технические (рисунок 7.3).

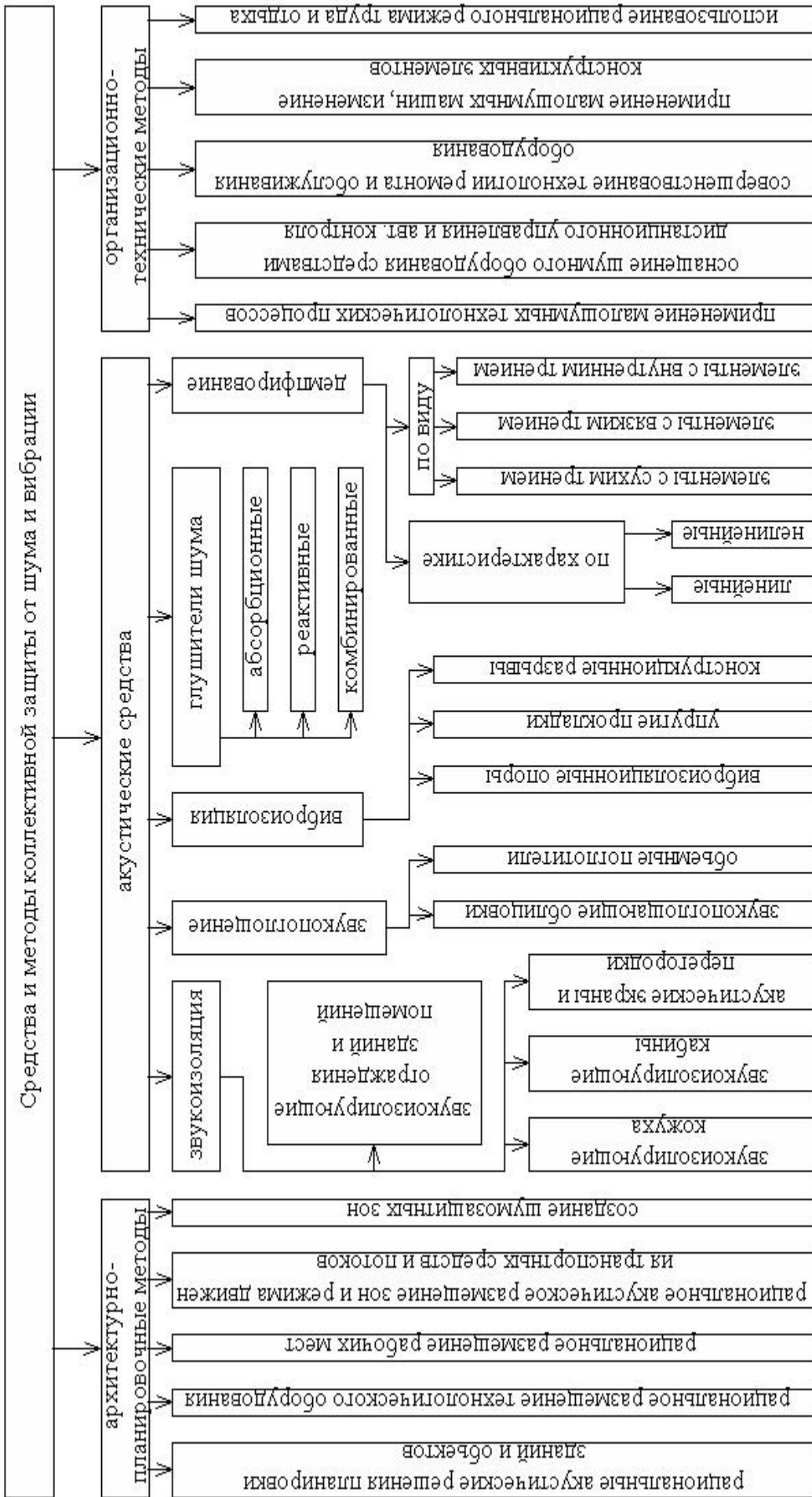


Рисунок 7.3 – Классификация методов и средств коллективной защиты от шума и вибрации

При разработке проектной документации объектов капитального строительства и реконструкции зданий жилищно-гражданского строительства, вопросы защиты от шума рассматриваются в разделе «Архитектурно-строительные решения».

7.3. Архитектурно-планировочные методы защиты от шума

Мероприятия по снижению шума должны начинаться на стадии проектирования, планировки населенных пунктов, их застройки, озеленения и благоустройства, только тогда – в комплексе – они дадут ожидаемый эффект.

К архитектурно-планировочным мерам относятся:

- рациональный характер при акустическом решении планировки объектов;
- размещение технологического оборудования, рабочих мест;
- акустическое планирование зон и режима движения транспорта;
- создание специальных шумозащищенных зон в местах скопления людей.

К методам защиты от шума в городах и сельских населенных пунктах относятся следующие группы:

- инженерно-технические и административные;
- градостроительные, строительно-акустические (по пути распространения шума);
- конструктивно-строительные (увеличение звукоизолирующих свойств ограждающих конструкций жилых и промышленных построек, а также других сооружений);
- объемно-планировочные.

Инженерно-технические и административные средства борьбы с шумом в самом источнике его возникновения не входят в компетенцию инженера-архитектора.

Градостроительная деятельность, как часть системного процесса развития города, основывается на **территориальном планировании** – планировании развития территорий, в том числе для установления функциональных зон, зон планируемого размещения объектов капитального строительства для государственных или муниципальных нужд, зон с особыми условиями использования территорий.

Районирование. Районное планирование занимается вопросами размещения аэропортов, магистральных коммуникаций наземного транспорта, других источников техногенных шумов. При разработке генерального плана города во главу угла ставится необходимость сокращения числа источников шума и ограничение территории, на которую он распространяется. При проектировании жилых районов и микрорайонов уделяется пристальное внимание планировочной и объемно-пространственной композиции застройки и благоустройства.

Зонирование и планировка населенных пунктов. Учитывая пути распространения шума на территории города и выполняя задачи по защите от него,

проектируя населенные места, следует четко делить территории по функциональному использованию.

В этом плане выделяется *селитебная, промышленная, коммунально-складская зоны и зона внешнего транспорта*. Три последние зоны представляют собой источники шума. В этой связи при проектировании селитебных территорий обязательно соблюдать нормы допустимого шума. В этой зоне возможно размещение только таких промышленных предприятий, которые не создают шум, превышающий норму, и не требуют устройства подъездных железнодорожных путей. Промышленные и коммунально-складские зоны, с большими грузопотоками на транспортных магистралях, должны быть расположены таким образом, чтобы не расчленять селитебные зоны на отдельные секторы и не вклиниваться в них.

Учету и контролю подлежат *минимально допустимые расстояния* населенных мест от границ промышленных предприятий с шумными технологическими процессами, минимальные расстояния от жилых построек до границ ближайших к ним морских и речных портов, железнодорожных путей и станций, до главных автомобильных дорог с большим потоком машин (при отсутствии специальных средств шумоглушения).

В основе снижения шума – неукоснительное соблюдение требований СНиП в области планировки и застройки городов и других населенных пунктов. Новые аэропорты и аэродромы могут размещаться только вне городов и других населенных мест. Акустические расчеты должны подтвердить возможность сокращения расстояний полетов, частоты ночных полетов, а также применение в этой зоне шумозащитных жилых зданий.

Проектами улиц нужно предусматривать максимально возможное увеличение площади междомагистральных территорий, снижение числа перекрестков, замену их Т-образными примыканиями, планирование плавных криволинейных сопряжений улиц. Не следует допускать сквозной проезд автомобилей через территорию жилых микрорайонов. В процессе трассировки магистралей принимаются во внимание шумозащитные свойства имеющегося рельефа местности, предусматривается шумозащитное зонирование междомагистральных селитебных территорий. Жилые массивы, а в особенности детские сады, школы, организации здравоохранения, дома-интернаты для престарелых следует размещать в зонах, которые в большей мере удалены от источников шума. Этажность должна увеличиваться в направлении к центральной части междомагистральной территории. Различные торгово-общественные центры и блоки обслуживания следует размещать на границах микрорайонов непосредственно вдоль транспортных магистралей, отгораживая ими жилые постройки от дорог и создавая, таким образом, протяженные шумозащитные комплексы.

Группировка жилых зданий должна создавать замкнутое пространство внутри территории микрорайонов, которое не будет раскрываться в сторону источников шума. Целесообразна постройка вдоль магистралей протяженных зданий-экранов, препятствующих распространению звуков вглубь застройки (рисунок 7.4).



Рисунок 7.4 – Схема планировки комплекса жилых домов с эффектом «шумового кармана»

Могут быть использованы различные административные меры:

- перераспределение движения транспортных потоков улицами города;
- ограничение движения в разное время суток по тем или иным направлениям;
- изменение состава транспортных средств (например, запрет использования на некоторых улицах города грузовых автомобилей и автобусов с дизельными двигателями) и т. п.

Эффективность применения барьеров зависит от нескольких факторов. Например, уровень шума будет тем ниже, чем выше экран и чем ближе он расположен к источнику шума.

Хорошими экранами могут служить также различные искусственные, и естественные элементы микро- и мезорельефа местности (выемки, земляные кавальеры, насыпи, холмы). Акустические экраны бывают разных видов: сэндвич-панели с металлическим перфорированным покрытием и минераловатным наполнителем; бетонные, поликарбонатные, алюминиевые панели.

Также неплохой самостоятельный «глушитель» звука – одна или несколько полос зеленых насаждений.

При разработке проектов планировки и застройки городов для защиты от шума можно использовать как природные условия (рельеф местности и зеленые насаждения), так и специальные сооружения (экраны вблизи транспортных магистралей). Можно применять также рациональные приемы зонирования территории по условиям шумового режима для тех или иных видов зданий, участков и площадок для отдыха, хозяйственно-бытовых нужд и т. п. шум транспорт снижение население

Снижение шума на пути его распространения от источника к жилой застройке предполагает рациональные проектирование плана автомобильной дороги, поперечных профилей и использование полосы отвода (рисунок 7.5).



Рисунок 7.5 – Схемы наиболее часто реализуемых шумозащитных сооружений

Рассматривая возможные варианты защиты от шума в городах, в первую очередь необходимо четко разделить территорию по ее функциональному использованию на зоны: жилую, промышленную (производственную), коммунально-складскую и внешнего транспорта. Промышленные

(производственные) и коммунально-складские зоны, рассчитанные на большие грузопотоки по транспортным магистралям, располагают так, чтобы они не пересекали селитебную зону и не вклинивались в нее.

Для защиты от шума при проектировании системы внешнего транспорта нужно предусматривать в городах объездные железнодорожные линии (для пропуска транзитных поездов за пределами города), размещать сортировочные станции за пределами населенных пунктов, а технические станции и парки резервного подвижного состава, железнодорожные линии для грузовых перевозок и подъездные пути – за пределами селитебной территории; отделять новые железнодорожные линии и станции во время нового строительства от жилой застройки городов и других населенных пунктов СЗЗ; соблюдать надлежащее расстояние от границ аэропортов, заводских, военных аэродромов до границ жилой застройки

При проектировании улично-дорожной сети должны быть предусмотрены максимально возможные укрупнения межмагистральных территорий, уменьшение количества перекрестков и других транспортных узлов, устройство плавных криволинейных соединений дорог. На территории жилых районов необходимо ограничивать сквозное движение транспорта.

Функциональное зонирование территорий микрорайонов следует осуществлять с учетом необходимости размещения жилой застройки и детских дошкольных заведений в зонах, наиболее удаленных от источников шума, транспортных магистралей, автостоянок, гаражей, трансформаторных подстанций и др. В зонах, прилегающих к источникам шума, можно строить здания, в которых допускаются более высокие уровни звука. Это предприятия бытового обслуживания, торговли, общественного питания, коммунальные предприятия, административно-хозяйственные и общественные учреждения. Торговые центры и блоки обслуживания обычно строят на границе микрорайонов вдоль транспортных магистралей в виде единого комплекса.

Если жилую застройку необходимо разместить на границе микрорайонов вдоль транспортных магистралей, целесообразно использовать специальные типы шумозащищенных жилых зданий. В зависимости от условий инсоляции рекомендуют строить: шумозащищенные жилые дома, архитектурно-планировочные решения которых характеризуются ориентацией в сторону источников шума окон вспомогательных помещений и не более одной жилой комнаты без спальных мест многокомнатных квартир; шумозащищенные жилые дома с повышенными звукоизоляционными свойствами внешних ограждающих конструкций, ориентированных на источники шума и со встроенными системами приточной вентиляции.

Для обеспечения санитарных норм в квартирах и на территории микрорайонов нужно использовать композиционные приемы группировки шумозащищенных зданий, основанные на создании замкнутого пространства. При расположении жилой застройки вдоль транспортных магистралей не следует прибегать к композиционным приемам группировки жилых зданий, которые основываются на раскрытии пространства в сторону проезжей части.

Если архитектурно-планировочные мероприятия (разрывы, приемы за-

стройки и т. д.) не обеспечивают надлежащего шумового режима в зданиях и на территории жилого микрорайона, а также с целью экономии территории, необходимой для соблюдения территориальных разрывов с транспортными магистралями, целесообразно применять строительно-акустические методы: шумозащитные сооружения и устройства, экраны, шумозащитные полосы озеленения, а для жилых зданий также конструкции оконных проемов с повышенной звукоизоляцией.

В качестве экранов можно использовать различные здания и сооружения: здания с пониженными требованиями к шумовому режиму; шумозащищенные жилые здания; искусственные или естественные элементы рельефа (выемки, овраги, земляные валы, насыпи, курганы) и стенки (придорожные подпорные, ограждающие и шумозащитные). Шумозащитные экраны целесообразно размещать как можно ближе к источнику шума.

Здания с пониженными требованиями к шумовому режиму (предприятия бытового обслуживания, торговли, общественного питания, коммунальные; общественные и культурно-просветительные, административно-хозяйственные учреждения) и шумозащищенные жилые здания следует размещать вдоль источников шума в виде фронтальной, по возможности непрерывной, застройки. Помещения административных, общественных и культурно-просветительных учреждений с повышенными требованиями к акустическому комфорту (конференц-зал, читальные залы, зрительные залы театров, кинотеатров, клубов и т. п.) следует возводить на противоположной от источников шума стороне. Отделяют их от магистрали коридорами, фойе, залами, кафе и буфетами, вспомогательными помещениями.

Как дополнительное средство для защиты от шума можно использовать специальные шумозащитные полосы зеленых насаждений. Формируют несколько полос с разрывами между ними, равными высоте деревьев. Ширина полосы должна быть не менее 5 м, а высота деревьев – не менее 5–8 м. На шумозащитных полосах кроны деревьев должны плотно смыкаться между собой.

7.4. Методы расчета звукового поля

Звуковые поля в закрытом помещении и свободном пространстве существенно отличаются. В свободном пространстве звуковое поле представляет собой бегущие волны с той или иной формой волнового фронта в зависимости от формы и размеров излучающей поверхности источника звука. Вдали от источника средняя плотность звуковой энергии прямо пропорциональна мощности излучения источника и убывает обратно пропорционально квадрату расстояния.

В помещении звуковое поле представляет собой систему стоячих волн, образованных в результате наложения волн, излучаемых источником звука (*прямой звук*), и волн, отраженных от стен, пола, потолка и различных объектов, находящихся в помещении. Таким образом, звуковое поле в помещении определяется не только свойствами источника звука и удалением от не-

го, но также геометрическими размерами, формой помещения и способностью поверхностей помещения поглощать акустическую энергию.

Волновой метод расчета звукового поля в помещении, основанный на решении волнового уравнения (уравнения Гельмгольца) с определенными граничными условиями, позволяет найти спектр собственных (резонансных) частот помещения, зависящих от его формы и размеров. Каждой из этих частот соответствует собственное колебание воздуха в объеме помещения. При небольших коэффициентах звукопоглощения поверхностей помещения это колебание представляет собой стоячую волну, волновой вектор которой определенным образом ориентирован в пространстве. В зависимости от частотного спектра колебаний источника звука, работающего в помещении, возбуждаются те или иные собственные колебания с близкими по значению частотами.

В низкочастотной области собственные частоты помещения значительно отличаются по величине (дискретный спектр). Это приводит к тому, что в этой области наблюдаются ярко выраженные резонансные явления и звуковое поле является сильно неоднородным.

С ростом частоты количество собственных частот в заданном интервале быстро увеличивается (спектр уплотняется) и, если размеры помещения во много раз превосходят длину звуковой волны, спектр фактически становится сплошным. Практически это означает, что любая составляющая в спектре источника звука будет возбуждать сразу большое количество собственных колебаний с близкими по значению частотами. В этом случае неоднородность поля сглаживается, волновые эффекты (например, интерференцию) можно не учитывать и для расчета звукового поля используются *методы статистической акустики*.

Условие применимости методов статистической акустики может быть записано в виде:

$$\lambda_{cp} < \frac{l_{min}}{3} \text{ или то же самое, что } f_{cp} > \frac{1000}{l_{min}},$$

где l_{min} – наименьший линейный размер помещения;

f_{cp} и λ_{cp} – средняя частота источника звука и, соответственно, средняя длина звуковой волны.

При выполнении указанного условия звуковое поле в помещении приближается по своим свойствам к диффузному.

Если помещение не содержит фокусирующих сводов, его размеры значительно больше, чем средняя длина звуковой волны, а поверхности помещения обладают небольшими коэффициентами звукопоглощения, то через произвольный элемент объема помещения при непрерывной работе источника звука в каждый момент времени будет проходить большое количество прямых и отраженных звуковых волн. В результате этого средняя плотность звуковой энергии по всему помещению будет одинакова (*поле однородное*), а все направления потоков энергии этих волн равновероятны (*поле изотропное*). Однородное и изотропное звуковое поле называется *диффузным*. В диффузном поле все собственные колебания некогерентны, поэтому в нем

отсутствуют явления интерференции.

Диффузное звуковое поле – основная предпосылка для хорошей акустики помещения. Такое помещение характеризуется тем, что во всех точках поля уровень звукового давления и поток звуковой энергии, приходящей к слушателю по любому направлению, являются постоянными.

Звуковые волны несут с собой механическую энергию, получаемую ими от источников звука. При встрече с поверхностью звуковые волны частично от нее отражаются, теряя при этом часть энергии. Этот процесс, характеризующийся поглощением поверхностью звуковой энергии, называют звукопоглощением. Способность поверхности поглощать различное количество звуковой энергии зависит от структуры материала и оценивается коэффициентом звукопоглощения α .

Коэффициент звукопоглощения представляет собой отношение энергии, поглощенной поверхностью, к энергии, падающей на нее:

$$\alpha = \frac{E_{\text{погл}}}{E_{\text{пад}}}$$

Звуковая энергия распределяется по определенной площади поверхности материала с определенным коэффициентом звукопоглощения. Поэтому в помещениях рассчитывают эквивалентную площадь звукопоглощения поверхностями.

Эквивалентной площадью звукопоглощения поверхности $A_{\text{общ}}$ называют произведение площади поверхности S на ее коэффициент звукопоглощения α , т.е.

$$A = \alpha S \text{ м}^2.$$

Звукопоглощение некоторыми из предметов, находящимися в помещениях (стулья, кресла), а также слушателями оценивается непосредственно эквивалентной площадью звукопоглощения A .

7.5. Время реверберации и его расчеты

Область акустики, посвященная изучению звукового поля в помещении и воздействия на его качество архитектурно-строительными методами, называется архитектурной акустикой.

Основной характеристикой акустики при проектировании зрительных залов является реверберационный процесс, количественной оценкой которого служит время реверберации.

После прекращения звучания источника в помещении звук исчезает не мгновенно; звуковые волны, многократно отражаясь от поверхностей стен, потолка, пола и находящихся в помещении предметов, приходят к слушателю. При каждом отражении теряется часть энергии звука; это сопровождается спадом в помещении уровня звукового давления.

Процесс постепенного замирания звука в помещении после прекращения действия источника звучания называют **реверберацией**.

Количественной оценкой реверберации служит скорость спадания

уровня силы звука v_s , дБ/с. Скорость спадания уровня силы звука различна для звуков разной частоты.

Скорость спадания уровня силы звука (ССУСЗ) характеризует гулкость помещения: она бывает большой в помещениях, отделанных материалами с высоким звукопоглощением (заглушенные помещения), и малой – в помещениях, ограниченных поверхностями, обладающими низкими коэффициентами звукопоглощения α .

Вместо ССУСЗ обычно применяют показатель времени реверберации T – время, в течение которого уровень звукового давления спадает на 60 дБ.

Средний уровень звукового давления в залах составляет 60 дБ. Поэтому удобно ввести понятие стандартного времени реверберации. Время стандартной реверберации можно определить как время, в течение которого уровень звукового давления на частоте 500 Гц уменьшается на 60 дБ.

Полученное У. Сэбиным эмпирическим путем уравнение реверберации имеет вид

$$T = 0,164 V / \sum \alpha_n S_n,$$

где V – объем зала, м³;

$\sum \alpha_n S_n$ – суммарное звукопоглощение (сумма произведений коэффициентов звукопоглощения на соответствующую площадь отделочных материалов, м²).

Пользование этой формулой дает достаточно точные результаты только в случаях, когда средний коэффициент звукопоглощения

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{\sum \alpha_m S_n}{\sum S_n} \leq 0,25$$

и звукопоглощающие материалы равномерно распределяются по поверхностям помещения.

В общем случае расчет времени реверберации T на данной частоте проводится по формуле Эйринга

$$T = 0,163 \frac{V}{S_{\text{общ}} \ln(1 - \alpha_{\text{ср}})}; \quad \alpha_{\text{ср}} = \frac{A_{\text{общ}}}{S_{\text{общ}}},$$

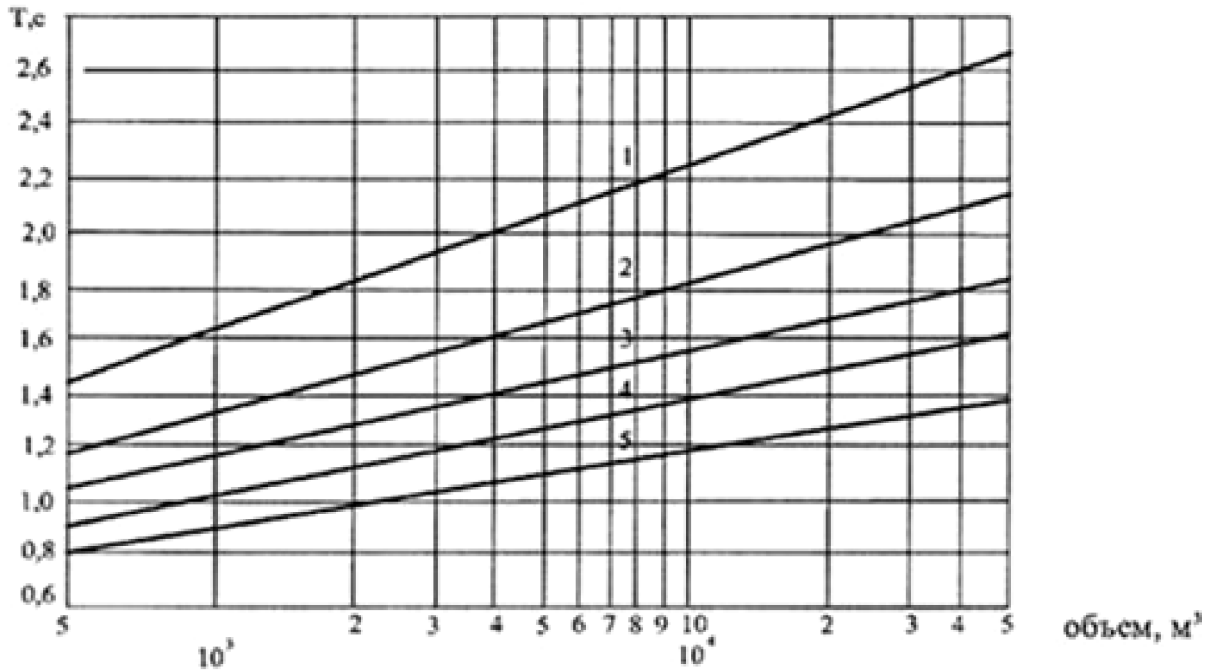
где $\ln(1 - \alpha_{\text{ср}})$ – функция среднего коэффициента звукопоглощения.

Средний коэффициент звукового поглощения зависит от отделки помещения и α_n материалов, которые обладают способностью различно поглощать звуки разной частоты. Поэтому T зависит от частоты звуковых колебаний.

Время реверберации нормируется. Нормативное время реверберации называется оптимальным – $T_{\text{опт}}$.

В архитектурной практике время реверберации определяется в диапазоне частот 125 – 4000 Гц, поскольку эти частоты характерны для диапазона звуков, наиболее часто встречающихся в речи, музыке. Согласно СНиП 23-03-2003 расчет следует проводить в шести октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 125, 250, 500, 1000, 2000 и 4000 Гц.

В качестве примера на рисунке 7.6 представлена зависимость оптимального времени реверберации от объема помещения и назначения зала для звуков средней частоты 500 Гц.



- 1 – для ораторий и органной музыки; 2 – для исполнения симфонической музыки;
 3 – для исполнения камерной музыки, оперных театров; 4 – для многоцелевого использования, музыкально-драматических театров, спортивных залов;
 5 – для лекционных, залов заседаний, драматических театров, кинозалов

Рисунок 7.6 – Зависимость оптимального времени реверберации на средних частотах (500–1000 Гц) от объемов и назначения залов

Расчет T проводится на трех частотах: 125, 500 и 2000 Гц. При расчетах исходят из 70 %-го заполнения от общего числа мест в зале. Эквивалентная площадь звукопоглощения других мест учитывается для пустых кресел.

Доказано, что для каждого помещения в зависимости от его объема и назначения существует оптимальная средняя скорость затухания звуковых волн, соответствующая времени реверберации.

Для расчета времени реверберации зального помещения общую эквивалентную площадь звукопоглощения на частоте определяют по формуле

$$A_{\text{общ}} = \sum \alpha S + \sum A + \alpha_{\text{доб}} S_{\text{общ}},$$

где $\sum \alpha S$ – сумма произведений площадей отдельных поверхностей S на их коэффициенты звукового поглощения α ;

$\sum A$ – сумма эквивалентного звукопоглощения слушателями и свободными креслами;

$\alpha_{\text{доб}}$ – коэффициент добавочного звукопоглощения.

Коэффициент $\alpha_{\text{доб}}$ учитывает добавочное звукопоглощение, вызываемое проникновением звуковых волн в различные неплотности, принимается на частоте 125 Гц – 0,09 (0,04); 500 Гц – 0,05 (0,05); 2000 Гц – 0,05 (0,06).

При проектировании акустики залов рекомендуется применять мягкие и полумягкие кресла. Это уменьшает зависимость времени реверберации в зале от процента заполненных слушателями мест.

Окончательный результат расчета выражается сравнением расчетной

кривой реверберации с оптимальной на частотах 125, 500 и 2000 Гц.

В качестве примера на рисунке 7.7 приведены результаты натуральных измерений времени реверберации зала.

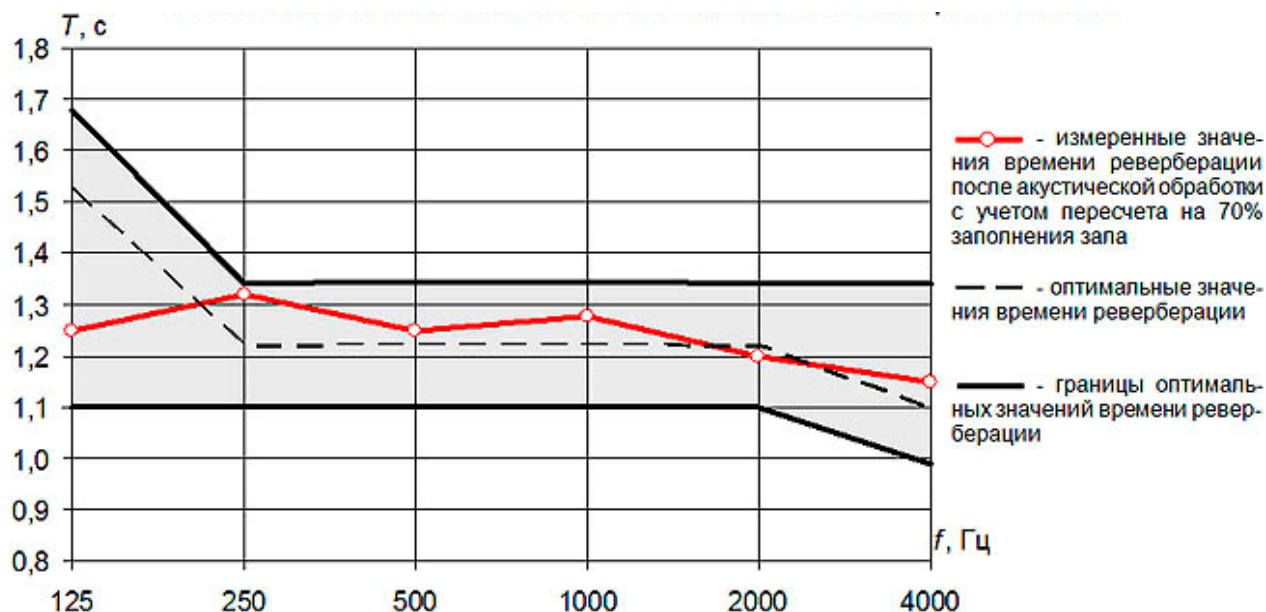


Рисунок 7.7 – Результаты натуральных измерений времени реверберации зала

Если полученная кривая времени реверберации попадет в диапазон нормального звучания, то акустика в данном помещении будет хорошей. Если расчетный график расположится выше оптимального, то звучание слишком громкое, возможно образование эха, что ухудшит звуковое восприятие в данном помещении и, наоборот, при расположении графика ниже диапазона нормального звучания акустика будет в помещении слишком тихой.

Контрольные вопросы

1. Акустический комфорт и акустический дискомфорт, шум – это...
2. В каком диапазоне частот находится слышимый звук?
3. Перечислите источники шума.
4. Назовите виды шума и пути его передачи.
5. Перечислите основные характеристики звуковых волн.
6. Перечислите средства и методы коллективной защиты шума.
7. Архитектурно-планировочные меры защиты от шума.
8. Градостроительные методы и средства защиты от шума.
9. Основные схемы реализуемых шумозащитных сооружений.
10. Звуковое поле, методы расчета звукового поля.
11. Реверберация – это?
12. От чего зависит время реверберации зала?

Лекция 8. ОСНОВЫ АРХИТЕКТУРНОЙ АКУСТИКИ

План лекции.

- 8.1. Звукопоглощающие материалы и конструкции.
- 8.2. Влияние формы залов и отдельных поверхностей на их акустические качества.
- 8.3. Проектирование залов с естественной акустикой.
- 8.4. Залы, акустика которых полностью основана на электроакустических системах.

8.1. Звукопоглощающие материалы и конструкции

Архитектурная акустика – наука, изучающая законы распространения звуковых волн в закрытых (полуоткрытых, открытых) помещениях, отражение и поглощение звука поверхностями, влияние отражённых волн на слышимость речи и музыки, методы управления структурой звукового поля, шумовыми характеристиками интерьеров и т.п.

Цель этой науки – создание приёмов проектирования залов с заранее предусмотренными хорошими условиями слышимости.

Первоначально архитектурная акустика занималась проектированием оперных театров и концертных залов. В дальнейшем, по мере развития техники и роста городов (особенно в XIX веке), первоочередными её задачами стали подавление шума в многоквартирных домах, звукоизоляция производственных помещений и вопросы сохранения здоровья рабочих, а также организация помещений увеселительных заведений, создающих существенный уровень шума.

В настоящее время архитектурная акустика в массовом применении включает в себя акустику студийных помещений для звукозаписи, акустику жилых комнат, домашних кинотеатров и акустику увеселительных заведений. Сегодняшний подход к акустическим возможностям залов обязывает архитектора объединять знания из разных областей науки.

В помещениях за счет многократного отражения от внутренних поверхностей ограждений, а также находящихся в нем предметов интенсивность звука, создаваемая каким-либо источником, оказывается на 5-15 дБ выше, чем интенсивность, создаваемая тем же источником, находящимся на открытом воздухе. При этом существенно меняются тембр и качество звучания. Если в архитектурной акустике увеличение интенсивности уровня связано с регулированием условий хорошей слышимости в помещении и может в одинаковой мере рассматриваться и как полезное, и как вредное, то с позиции защиты от шума всякое увеличение звука в помещении является нежелательным.

Звукопоглощающие материалы и конструкции – важный фактор в формировании звуковой среды в интерьере, они оказывают большое влияние на качество звучания зрительных залов и являются эффективным средством

борьбы с шумами.

Существуют звукопоглотители:

- широкополостные – с интенсивным звуковым поглощением в широком диапазоне частот;
- узкополостные – с интенсивным звуковым поглощением в узком диапазоне частот.

При проектировании зала помимо акустических свойств, учитываются и такие как: огнестойкость, прочность внутренней структуры, гигиенические особенности, световые и цветовые характеристики, фактура и стоимость.

Основными показателями, характеризующими звукопоглощающие материалы, являются: коэффициент звукопоглощения и сопротивление продуванию потока воздуха.

Коэффициент звукопоглощения α определяется отношением поглощенной звуковой энергии к падающей

$$\alpha = E_{\text{погл}}/E_{\text{пад}} = (E_{\text{пад}} - E_{\text{отр}})/E_{\text{отр}},$$

где $E_{\text{погл}}$, $E_{\text{пад}}$ и $E_{\text{отр}}$ – звуковая энергия соответственно поглощенная, падающая и отраженная.

Величина α зависит от угла, под которым звуковая энергия падает на образец – различают нормального или наклонного падения.

При звукопоглощающей обработке помещений используют диффузный α – усредненный по разнообразным углам падения звуковых волн. Этот коэффициент измеряют реверберационным методом – он является типовым паспортным коэффициентом звукопоглощения для данного материала.

Обычные строительные материалы – стекло, бетон, кирпич, штукатурка и т.п. в общем случае имеют ничтожно малые коэффициенты звукопоглощения (чаще всего в диапазоне 0,01-0,05), т.е. практически полностью отражают падающие звуковые волны (применяются при проектировании акустики залов в качестве звукоотражающих экранов различного типа).

Звукопоглощающими следует называть те конструкции и материалы, у которых коэффициент звукопоглощения α больше 0,2.

В настоящее время стандартом определена классификация звукопоглощающих материалов и изделий по величине коэффициента звукопоглощения в диапазоне низких (63, 125, 250 Гц), средних (500, 1000 Гц) и высоких (2000, 4000, 8000 Гц) частот:

- 1 класс $\alpha > 0,8$, обеспечивают максимальное снижение уровня звукового давления;
- 2 класс $\alpha = 0,4 - 0,8$;
- 3 класс $\alpha = 0,2 - 0,4$.

Коэффициентом звукопроницаемости τ характеризует сопротивление продуванию потоком воздуха – это отношение звуковой мощности, прошедшей через ограждение, к звуковой мощности, падающей на него:

$$\tau = P_{\text{пр}}/P_{\text{пад}} = p_{\text{пр}}^2/p_{\text{пад}}^2,$$

где $P_{\text{пр}}$, $P_{\text{пад}}$ – соответственно прошедшая и падающая звуковая мощность;
 $p_{\text{пр}}$, $p_{\text{пад}}$ – соответственно звуковые давления в прошедшей и падающей звуковых волн.

Звукоизолирующей способностью ограждения от воздушного звука $R = 10 \lg (1/\tau)$ – позволяет косвенно оценивать структуру материала и его пористость. Измеряется методом постоянного потока – пропусканием через образец материала, произвольной формы и толщины, потока воздуха с постоянной скоростью.

Критерием звукопоглощающих свойств материалов и конструкций служит частотная характеристика звукопоглощения, которая зависит от коэффициента звукового поглощения α и от частоты звуковых колебаний.

По механизму поглощения звуковой энергии звукопоглощающие материалы и конструкции подразделяются на:

Плоскостные:

- пористые – интенсивно поглощающие звуки высоких частот;
- колебательные панели, обладающие наибольшим звукопоглощением в диапазоне низких частот;
- с перфорированным слоем – звукопоглощающие свойства определяются расчетом и проектированием.

Схемы применяемы плоских звукопоглощающих конструкций различно типа и их частотные характеристики показаны на рисунке 8.1.

Объемные:

- штучные дифракционные поглотители.

Пористые – звукопоглощение пористых материалов обусловлено:

- вязким трением при движении воздуха в узких каналах и порах;
- внутренним трением при деформации скелета материала;
- теплообменом между воздухом в порах и скелете.

Изготавливаются в виде плит, которые крепят непосредственно к поверхности или на откосе – на расстоянии обычно 50–100 м.

Зернистый пористый материал на основе минеральной крошки, гравия, пемзы, каолина. В качестве вяжущего вещества используется цемент или жидкое стекло.

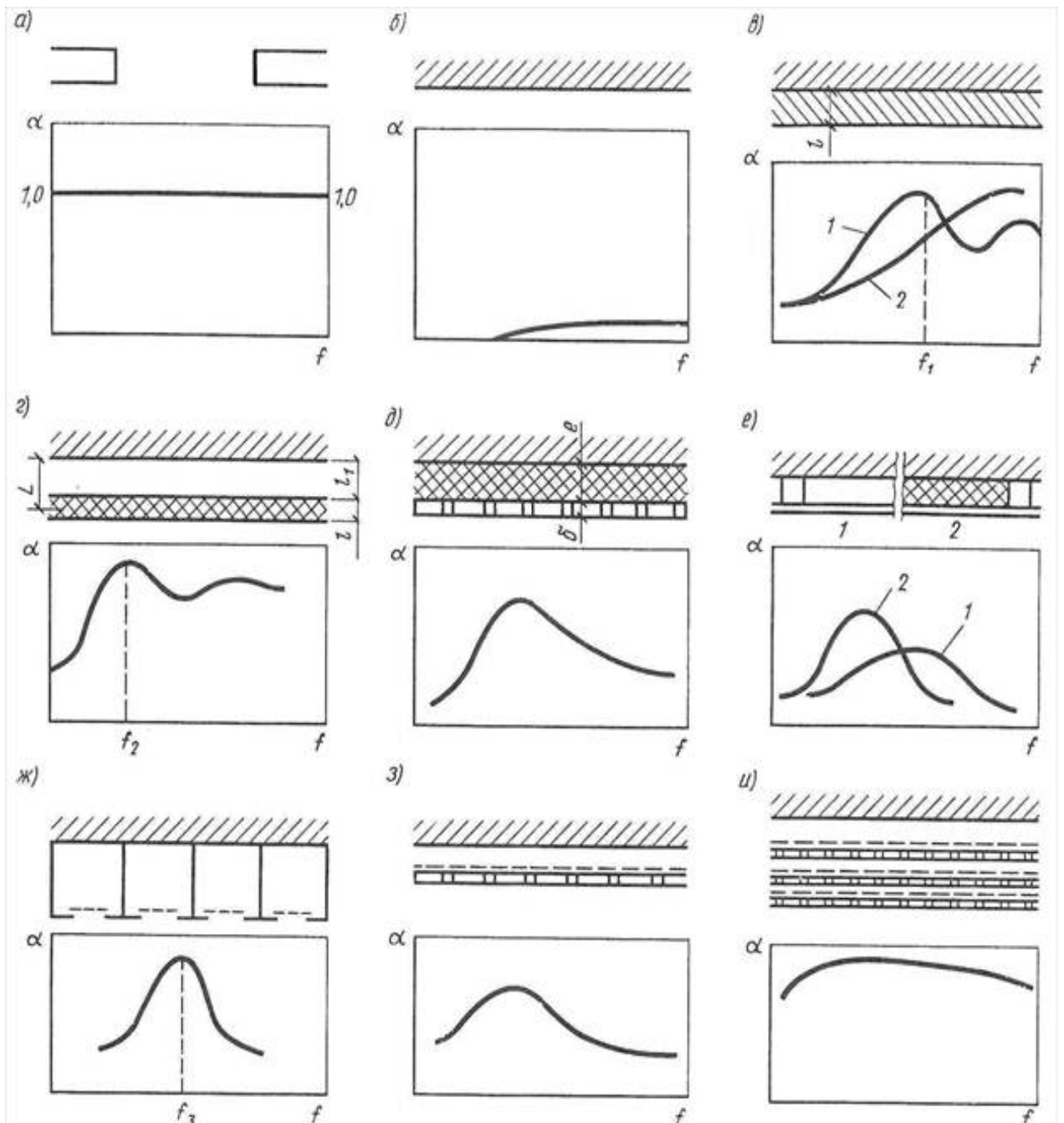
Материал имеет большую механическую прочность, используется для уменьшения шума в коридорах общественных и других зданий, в фойе, в лестничных клетках, производственных помещениях.

Волокнистые пористые материалы изготавливаются на основе древесного волокна, стеклянного или капронового волокна, асбеста, минеральной ваты, вяжущие – битум, смолы, цемент.

Используются там, где к внешнему виду звукопоглощающего материала предъявляют повышенные требования – в театрах, кинотеатрах, концертных залах, студиях и аудиториях для улучшения акустических качеств. В зданиях общественного назначения, школах, д/садах, больницах, ресторанах – для уменьшения шума.

Коэффициент звукопоглощения большинства пористых материалов хорошо работает на средних и высоких частотах и составляет $0,4 \div 0,6$.

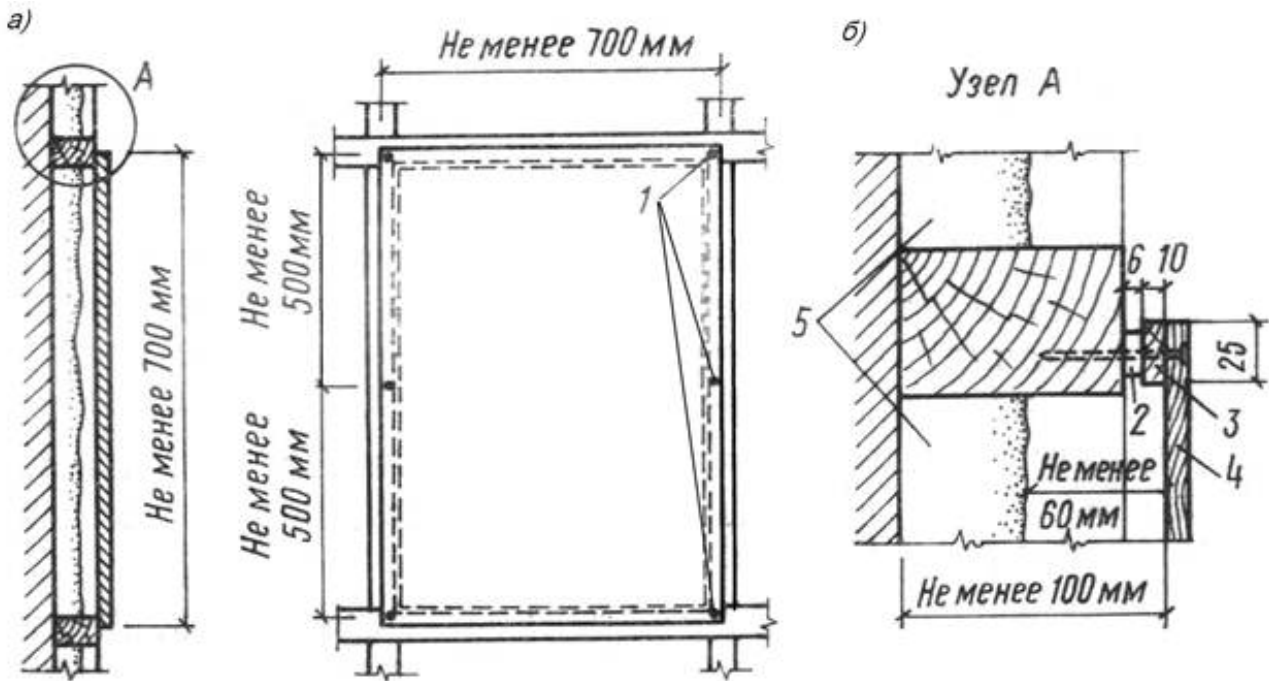
К пористым материалам также относится драпировка и ковры, которые применяют при улучшении звукопоглощения в зрительных залах.



а – открытый проем; б – бетон, кирпич, штукатурка;
 в – пористый поглотитель вплотную; г – пористый поглотитель на откосе;
 д – пористый поглотитель вплотную с перфорированным покрытием;
 е, ж, з – резонансные звукопоглотители; и – многослойный резонансный
 звукопоглотитель: 1 – с воздушным промежутком, 2 – без воздушного промежутка

Рисунок 8.1 – Схемы плоских звукопоглощающих конструкций и их частотные характеристики

Резонирующие, колеблющиеся под воздействием звуковых волн панели состоят из плотного гибкого листа (обычно фанерного), шарнирно закрепленного на деревянном или металлическом каркасе с воздушной прослойкой между листом и стеной (потолком) (рисунок 8.2).



а – разрез и план; б – узел соединения (сопряжения)

1 – шарнирные сопряжения листа с каркасом; 2 – шайба; 3 – обвязка (25x10 мм);
4 – фанера толщиной не более 10 мм; 5 – звукопоглощающий мат толщиной 50 мм

Рисунок 8.2 – Конструктивное решение звукопоглощающих
деревянных панелей

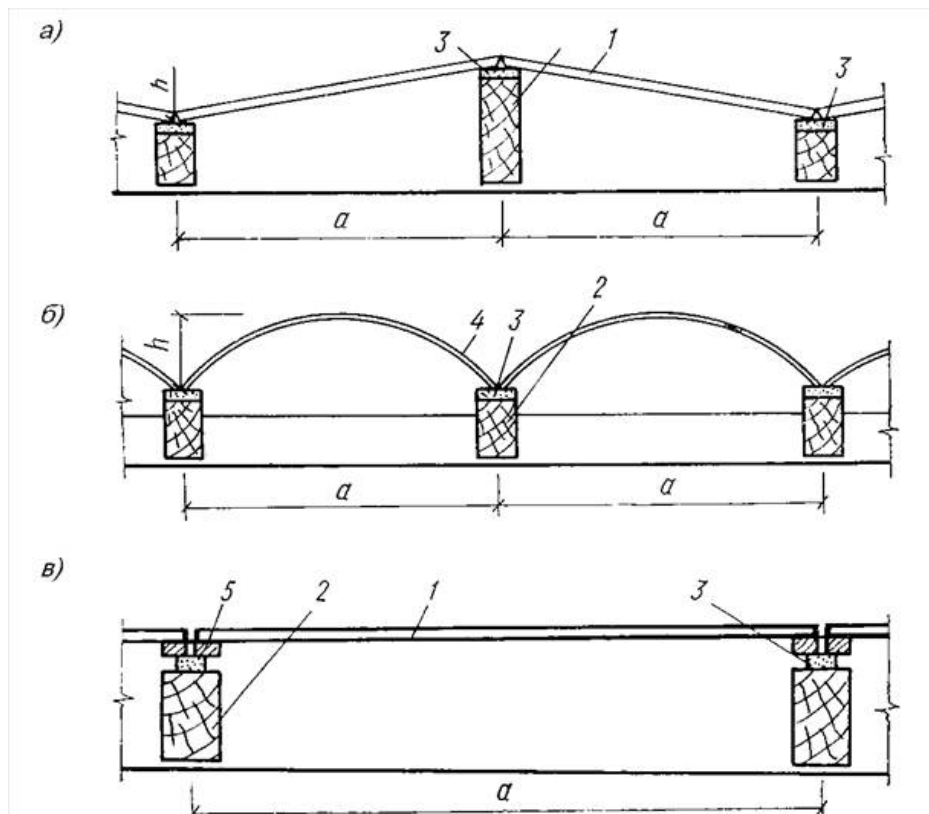
Гибкий лист из плотного материала действует как масса, а воздушная прослойка за ней – как пружина.

Максимальное звукопоглощение таких конструкций наблюдается на резонансной частоте f_0 , смещенной в область достаточно низких частот (до 300 Гц). При определенной жесткости панели и ее размерах можно получить достаточно высокий коэффициент звукопоглощения и на средних и высоких частотах. Для повышения коэффициента звукопоглощения также можно заполнять воздушную прослойку матом из минераловатного волокна, обернутого в мешковину; вводить упругие прокладки по периметру сопряжения листа с каркасом.

По сравнению с пористыми поглотителями резонирующие имеют преимущества: долговечность; гигиеничность; устойчивость против механических воздействий.

Их используют при коррекции частотных характеристик реверберации в радиовещательных, кино- и телестудиях, а также в зрительных залах.

Некоторые виды резонирующих панелей обладают не только значительным звукопоглощением в диапазоне низких частот, но и звукорассеивающим действием (рисунок 8.3).



- а – резонирующая панель звукорассеивающего профиля;
 б – полуцилиндрическая резонирующая панель звукорассеивающего профиля;
 в – плоская резонирующая панель;
- 1 – фанера толщиной 10 мм; 2 – деревянный каркас; 3 – упругая деформирующая прокладка; 4 – фанера толщиной 4 мм; 5 – деревянная обвязка, приклеенная к листу фанеры

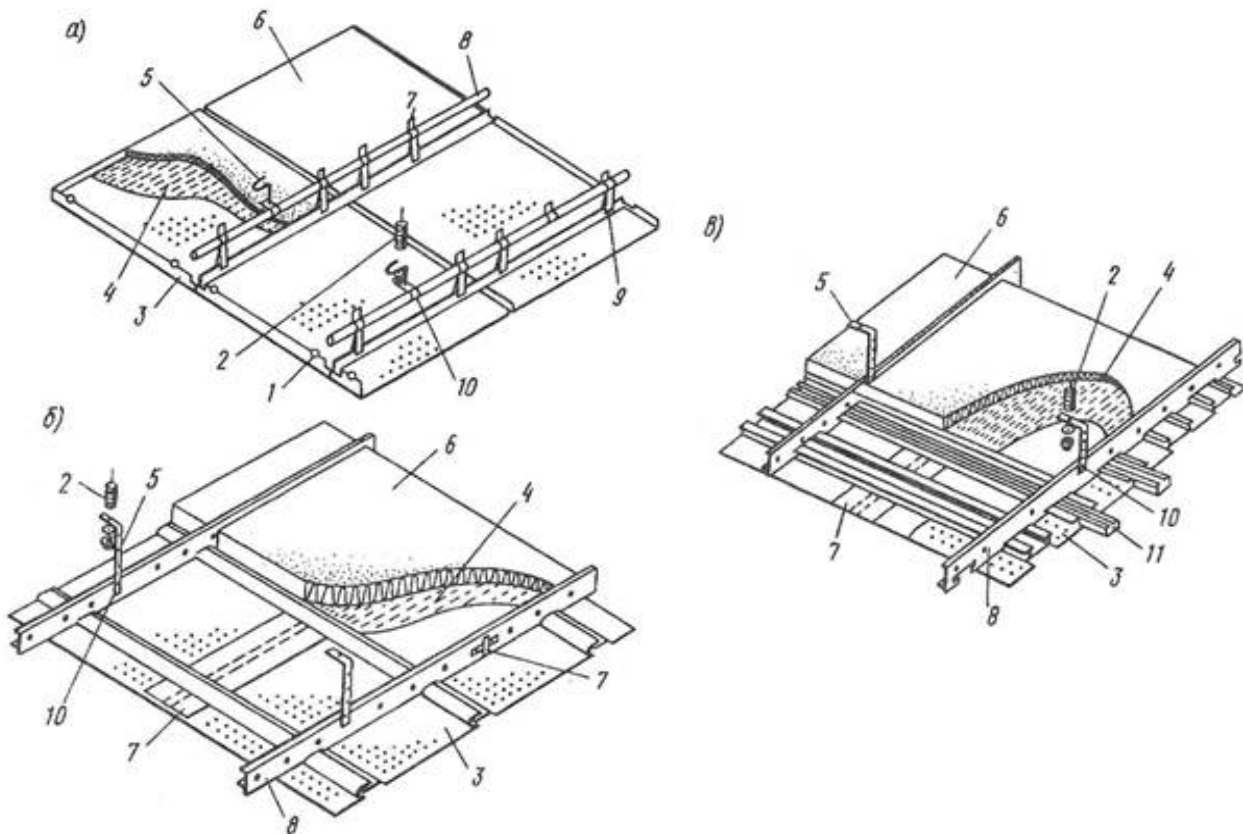
Рисунок 8.3 – Архитектурные типы звукопоглощающих деревянных панелей

Звукопоглощающие конструкции с перфорированным слоем состоят из следующих элементов:

- перфорированного листа из плотного облицовочного материала (стального, алюминиевого, пластмассового и т.п.);
- защитного (фрикционного) слоя, расположенного с внутренней стороны перфорированного листа (стеклоткань, ситец, бязь и др.) для увеличения потерь звуковой энергии;
- пористого поглотителя звука, располагаемого в воздушной прослойке между листом и стеной;
- каркаса, на котором крепятся изготовленные панели или кассеты.

В помещениях с формой близкой к кубической, любые звукопоглощающие конструкции следует размещать на потолке и верхних частях стен. В плоских и длинных помещениях – на потолке и двух или трех смежных стенах (или значительной части стен).

При выполнении акустической облицовки стен целесообразно размещать звукопоглощающие конструкции отдельными участками (полосами). Ширина участков (полос) с облицовкой и без нее должна быть одинаковой, применяют чаще всего в качестве подвесного потолка (рисунок 8.4).



а – с панелями 600х600 мм; б – с рейками 300х6000 мм; в – с рейками 100,150х4500 мм;
 1 – пружина уплотнения; 2 – дюбель-винт; 3 – лицевой перфорированный элемент;
 4 – прокладочный слой; 5 – подвеска; 6 – минеральная вата; 7 – соединительная накладка;
 8 – несущий профиль; 9 – пружина крепления; 10 – деталь регулировки уровня
 потолка по высоте; 11 – нащельник

Рисунок 8.4 – Подвесные потолки из алюминиевых сплавов с перфорацией

Изменяя диаметр отверстий перфорированного листа, расстояние между отверстиями, материал поглотителя и толщину воздушной прослойки, можно проектировать конструкции с заданной частотной характеристикой звукового поглощения.

Механизм звукопоглощения в конструкциях с перфорированным облицовочным листом основан на использовании резонатора Гельмгольца, который представляет собой ограниченный жесткими стенками объем, сообщающийся с окружающим пространством через горловину (рисунок 8.5).

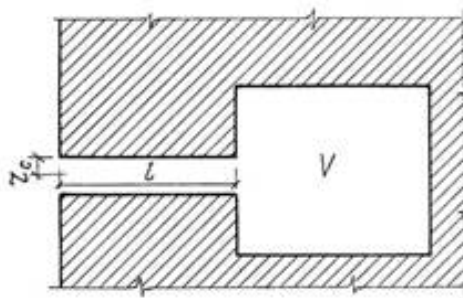


Рисунок 8.5 – Принципиальная схема резонатора

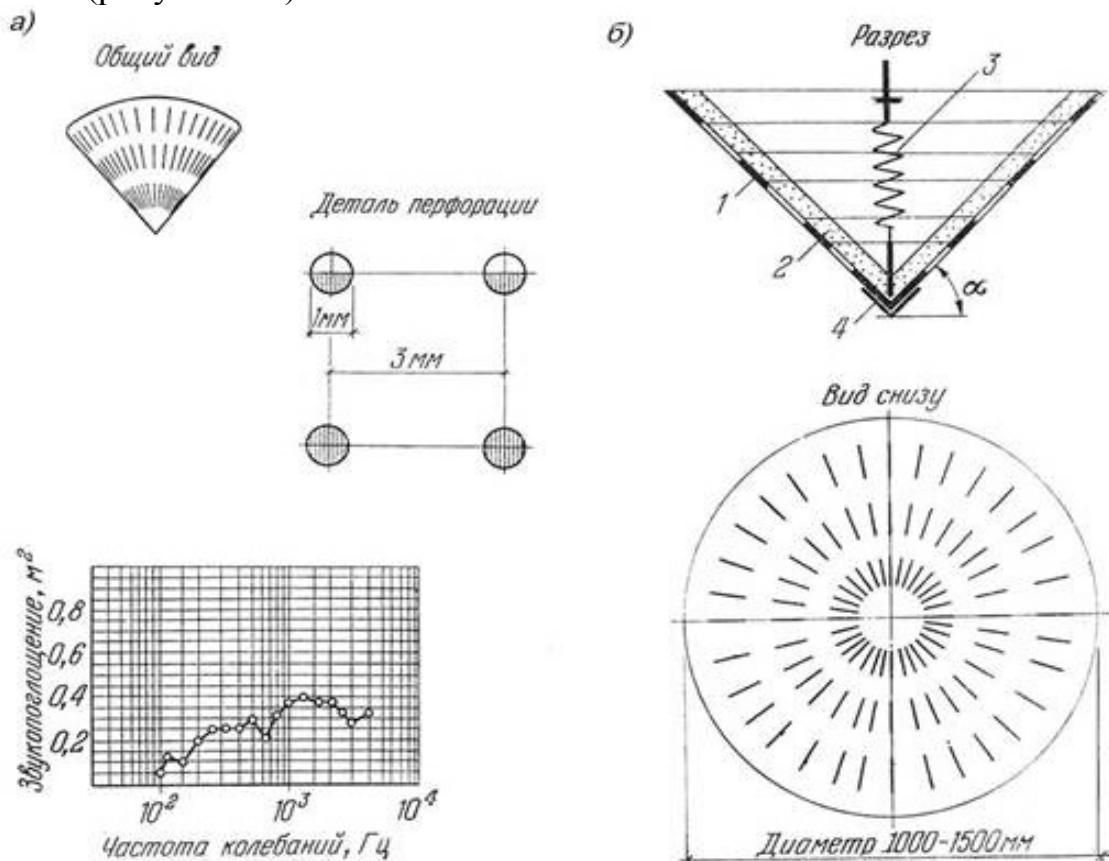
Содержащийся в резонаторах воздух ведет себя как упругое сопротивление. Если в горловину положить слой пористого материала (поглотителя) – то резонатор становится активным поглотителем звуковой энергии.

Звукопоглощающие конструкции с перфорированным облицовочным слоем нашли широкое применение, в том числе залах различного назначения, разнообразием декоративных решений интерьеров помещений.

Объемные дифракционные поглотители (штучные и кулисные) характеризуются коэффициентами звукопоглощения, как правило, не превышающими 0,8-0,9. И с учетом ограниченности занимаемой ими площади в помещении (часть потолка и стен) обеспечиваемый такой облицовкой средневзвешенный коэффициент звукопоглощения в большинстве случаев не превышает 0.5.

Дифракционные (штучные) поглотители являются подвесными объемными поглотителями конусообразной, кубообразной или других форм, например, в виде панелей – это разновидность резонансных поглотителей.

Состоит из перфорированного кожуха, изготовленного из тонких листов фольги, легкого пористого поглотителя звука толщиной 10÷15 мм, расположенного с внутренней стороны листа, а также крепежной пружины и колпачка (рисунок 8.6).



а – общий вид поглотителя; б – разрез и план поглотителя

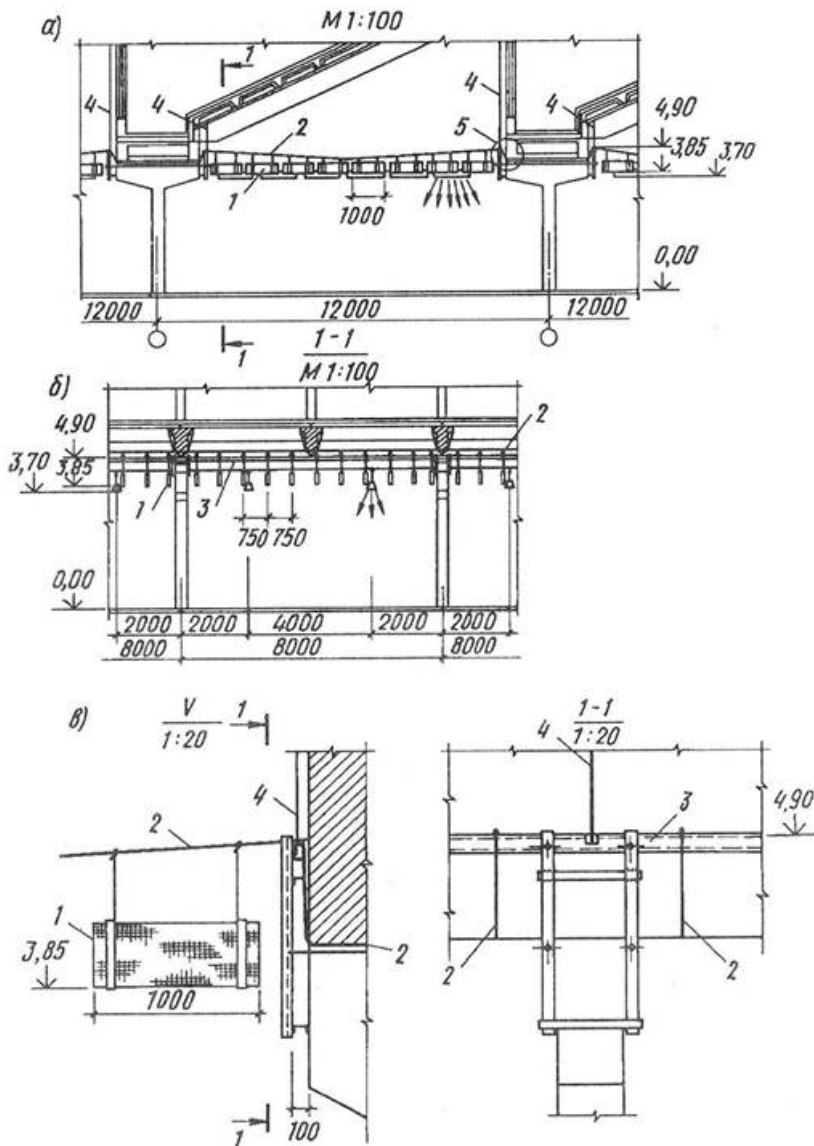
1 – кожух из перфорированной фольги толщиной от 15 до 0,4 мм (диаметр перфорации 1 мм, шаг 3 мм); 2 – мат из минерального волокна плотностью 150-230 кг/м³ в обертке из грубой ткани; 3 – крепежная пружина; 4 – колпачек

Рисунок 8.6 – Подвесной штучный поглотитель дифракционного типа

Благодаря дифракции звуковых волн, обтекающих кожух, а также более развитой поверхности поглощения, такие поглотители обладают достаточно высоким звукопоглощением (на 50-70% выше по сравнению с плоскими элементами).

Данные элементы используют в целях борьбы с шумами. Подвешивают их как можно ближе к источникам шума и в местах концентрации звуковой энергии (в местах образования фокусов в зрительных залах).

Кулисы поглотители (кулисы) являются одной из новых форм объемного элемента, два размера которого значительно превосходят третий. Они обладают: простотой изготовления и монтажа; экономичностью; привлекательным внешним видом; высокими огнестойкими качествами. Схема кулисного поглотителя приведена на рисунке 8.7.



а, б – поперечный и продольный разрезы здания; в – узлы;
 1 – кулисный звукопоглощающий элемент; 2 – трос для подвески кулис;
 3 – ригель; 4 – подвеска ригеля; 5 – устройство для крепления троса

Рисунок 8.7 – Кулисное звукопоглощающее устройство в зданиях с шедовым покрытием

Конструктивно звукопоглощающие элементы кулисного типа существуют в виде двух модификаций. В первой самонесущая конструкция выполняется из полужестких минераловатных плит в защитной оболочке из стеклоткани. Крепление и подвеска плит к потолку помещения (или несущим конструкциям) осуществляется с помощью проволочной системы крюков, пропущенных через специальную металлическую гильзу, запрессованную в тело плиты на определенных расстояниях от ее верхней кромки.

Во втором варианте используется сварной металлический каркас, обтянутый защитной пленкой или стеклотканью (иногда перфорированным павином – той же стеклотканью с нанесенными на нее чередующимися полосами пластмассы) и заполненный ультратонким стекловолокном.

Условный коэффициент звукопоглощения системы поглотителей кулисного типа (приведенная к 1 м^2 поверхности ограждения) достигает 2-2,5, т.е. значительно превосходит по эффективности элементы других групп звукопоглотителей.

8.2. Влияние формы залов и отдельных поверхностей на их акустические качества

При акустическом проектировании используются 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;
- мероприятия по улучшению диффузности звукового поля в зале.

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

Из перечисленных методов наиболее оптимальным является метод моделирования.

Размеры зала, зависящие от его вместимости и назначения, должны удовлетворять определенным нормам. Основные размеры и пропорции зала должны выбираться из следующих условий:

$$L \leq L_{\text{дон}}; \quad 1 < L/B < 2; \quad 1 < B/H < 2,$$

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

$L_{\text{дон}}$ – предельно допустимая длина зала, м;

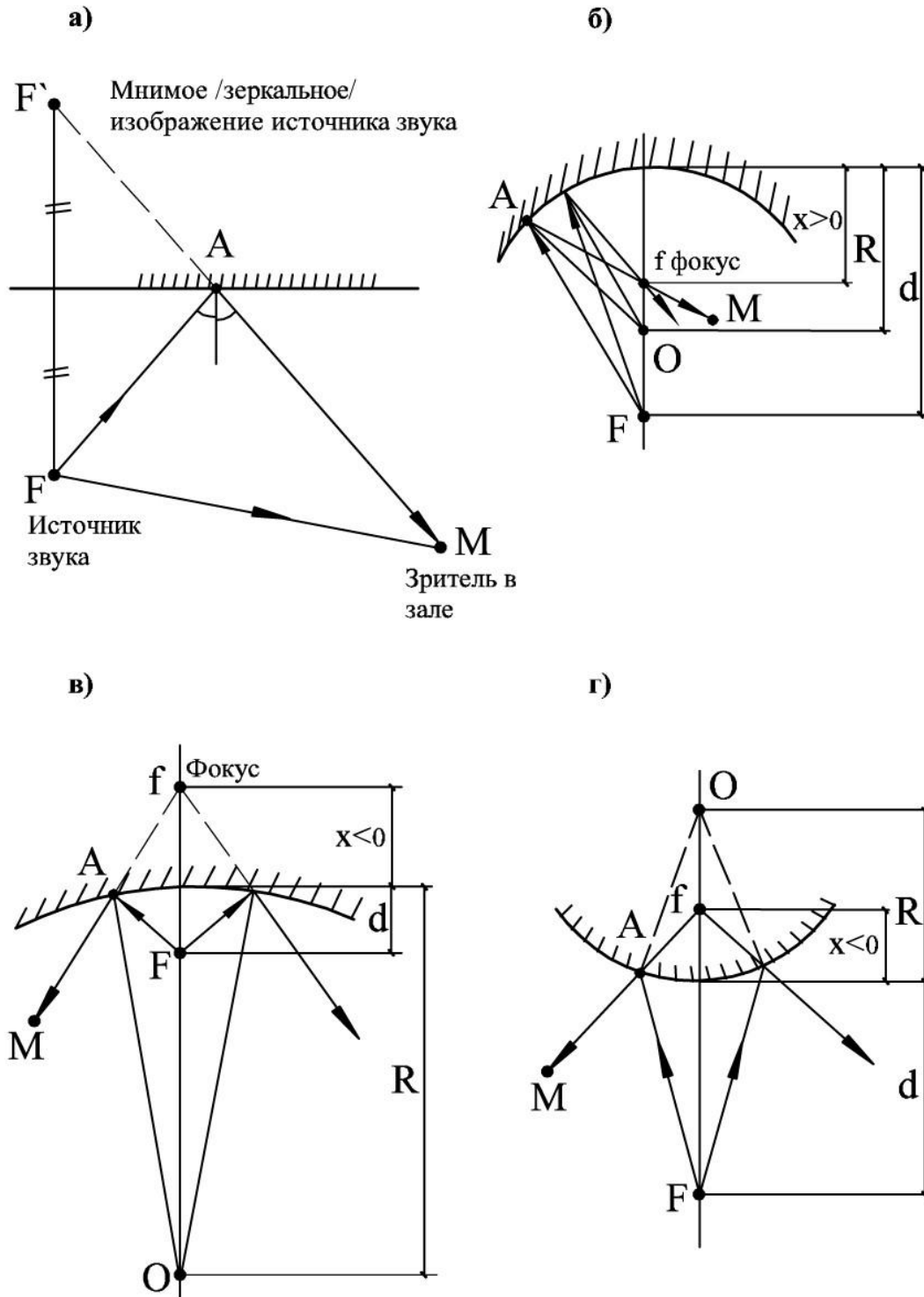
B и H – соответственно средние ширина и высота зала, м.

По акустическим соображениям отношение длины зала к его средней ширине следует принимать более 1 и не более 2. В тех же пределах рекомендуется принимать и отношение средней ширины зала к его средней высоте.

При проектировании акустики зрительных помещений большое значение имеет форма помещения в плане и разрезе, а также пластическая отделка интерьера. Прямоугольная форма в плане с плоским горизонтальным потолком допустима только для небольших лекционных залов вместимостью до

200 человек. Во всех других случаях зрительных залов оптимальной формой плана является трапецевидная с углом раскрытия $10-12^{\circ}$. Наличие параллельных плоских поверхностей несет опасность появления «порхающего эха», криволинейных вогнутых – фокусирования звука.

Наибольшую опасность с точки зрения образования эха, представляют вогнутые поверхности, которые концентрируют отраженный звук в небольшой области зала (рисунок 8.8).



а – плоских; б, в – вогнутых; г – выпуклых

Рисунок 8.8 – Построение отражения от поверхностей

Построение отражений от плоских поверхностей производится с помощью метода мнимого источника звука (рисунок 8.8, а). Мнимый источник F' симметричен с действительным точечным источником F по отношению к отражающей плоскости и находится по другую ее сторону.

Звуковой луч, исходящий от источника F , падает на отражающую поверхность под некоторым углом, отражается от нее под тем же углом и представляется наблюдателю исходящим из точки F' , которая является зеркальным изображением точки F .

Для построения мнимого источника из точки F опускается перпендикуляр на отражающую поверхность и на продолжении его откладывается отрезок $F'O$, равный FO . Продолжение AM прямой $F'M$, проведенной из мнимого источника звука, является отраженным лучом. Луч FA является лучом, падающим на поверхность, луч AM – отраженным от поверхности и луч FM является прямым звуком.

При отражении от вогнутых поверхностей звуковые лучи сходятся в точке, которая называется фокус (рисунок 8.8, б). Фокусировка или концентрация звуков в зале является крупным акустическим недостатком. При этом в районе фокуса возникает зона повышенной громкости, а другие участки лишены усиливающих отражений («звуковые ямы»).

Устранение этого недостатка при проектировании залов обеспечивается выбором надлежащего радиуса кривизны R , при котором фокус не образуется в районе расположения мест зрителей. Если же оставить форму поверхности без изменений, то для избегания фокусирования звука следует применить членение поверхности для рассеивания отраженных звуков или облицевать ее звукопоглощающими материалами.

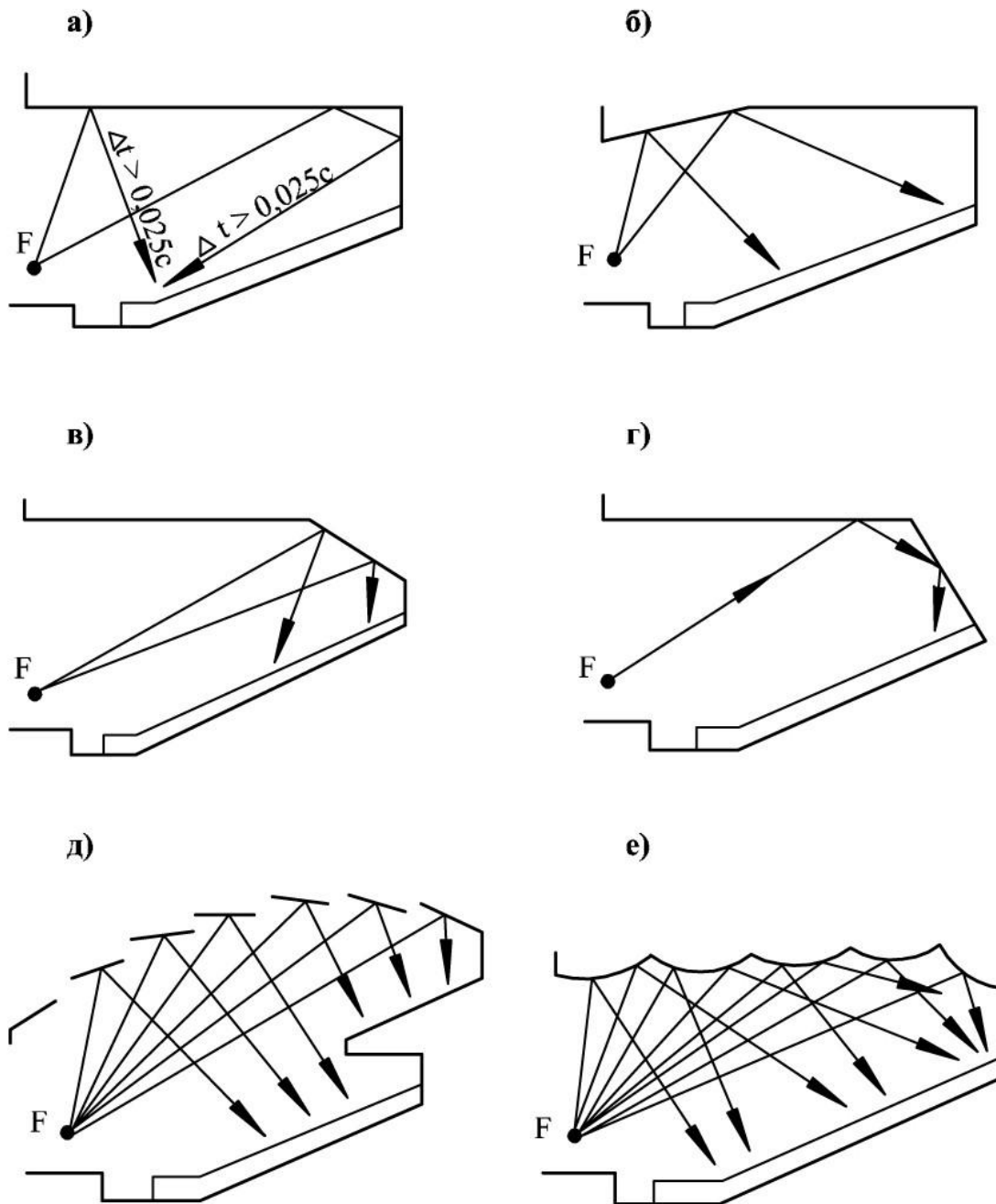
Необходимая структура ранних отражений в зрительных залах обеспечивается пластической отделкой интерьера и специальными звукоотражающими экранами, располагаемыми на пути распространения звуковых волн, которые через некоторые интервалы времени после одного или нескольких отражений доходят до зрителя.

Диффузность звукового поля может быть достигнута двумя средствами: за счет расположения на стенах помещения звукопоглощающих материалов в виде равномерных участков или за счет создания рельефа на поверхностях стен и потолка. Однако, применение звукопоглотителей может оказаться нежелательным, если оно приводит к уменьшению времени реверберации помещения по сравнению с оптимальным. Применение рельефа является более рациональным и особенно эффективным, когда длина звуковых волн близка к размерам рельефных деталей. Особенно пригодны для этой цели элементы с криволинейным выпуклым сечением, которые рассеивают также и более короткие волны.

Форма поверхности потолка. Очертание потолка должно способствовать равномерному распределению отраженного от него звука, направляя большую долю его на удаленные от источника звука места.

При проектировании зала следует при помощи геометрических построений контролировать распределение и запаздывание первых звуковых

отражений от потолка (рисунок 8.9).



а – распределение отражений от плоского горизонтального потолка; б – звукоотражатель в передней части потолка; в,г – рекомендуемое примыкание потолка к задней стенке; д,е – формы потолка, обусловленные акустическими требованиями

Рисунок 8.9 – Влияние форм поверхности потолка на распределение первых отражений в залах

Плоское горизонтальное очертание потолка не является оптимальным. Часть звука, отраженного передней частью потолка, попадает в первые ряды зрителей, для которых достаточная слышимость обеспечивается уже одним прямым звуком. А при значительной высоте зала запаздывание отраженного

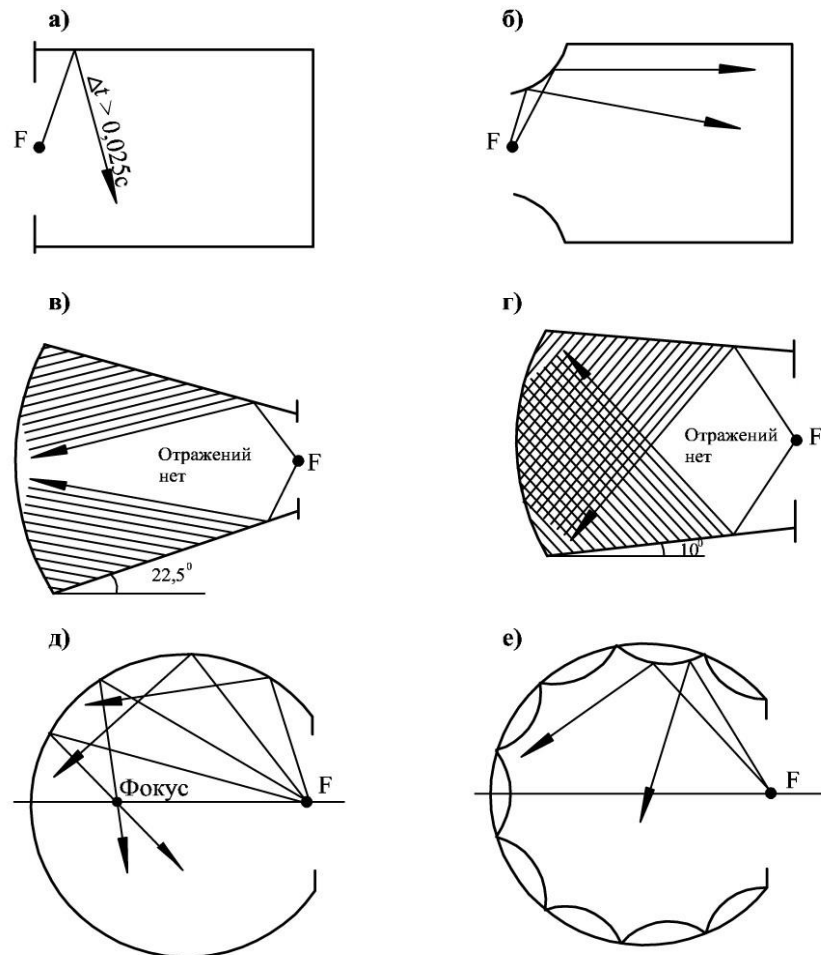
потолком звука превышает допустимое (рисунок 8.9 а).

Распределение отраженного передней частью потолка звука можно улучшить устройством над сценой отражателя, направляющего звук к более удаленным зрителям. В виде такого отражателя выполняется передняя часть потолка или устраивается отражатель, подвешиваемый под потолком (рисунок 8.9 б).

Примыкание потолка к задней стене под прямым углом может дать сильно запаздывающее обратное отражение звука в направлении к источнику (так называемое, театральное эхо). При устройстве наклонного участка потолка (рисунок 8.9 в) эти отражения направляются на балкон или задние места партера с малым запаздыванием.

Часто применяемое в практике проектирования залов расчленение потолка секциями дает при правильном их очертании хорошее распределение отраженного звука (рисунок 8.9 д,е).

Форма поверхностей стен. При выборе очертаний стен в плане имеют силу те же соображения, что и для потолка (рисунок 8.10).



а – распределение отражений при параллельных боковых стенах; б – звукоотражатели в первой части боковых стен; в,г – распределение отражений в зале секторной формы; д – распределение отражений в зале круглой формы; е – членение поверхностей с целью создания диффузного звукового поля

Рисунок 8.10 – Влияние формы плана на распределение первых отражений

При плоских параллельных боковых стенах отражения от их участков, прилегающих к сцене, попадают в передние ряды слушателей. Причем, если ширина зала велика, время запаздывания этих отражений превышает допустимое (рисунок 8.10 а). Положение улучшается при устройстве в передней части боковых стен в виде отражателей (рисунок 8.10 б).

Кроме того, в результате многократного отражения звука между плоскими параллельными поверхностями возникает нежелательный эффект «порхающего эха». Расчленение таких стен ослабляет этот эффект и увеличивает диффузность.

В залах с секторной формой плана распределение первых отражений зависит от угла раскрытия боковых стен. При угле 22,5 градусов (половина максимально допустимого угла видимости) первые отражения вообще не поступают в среднюю треть по длине зала (рисунок 8.10 в). При угле раскрытия до 10 градусов каждая боковая стена обеспечивает первыми отражениями половину зала (рисунок 8.10 г).

Криволинейные формы плана (круглые, полукруглые, овальные) нежелательны в зрительных залах, т. к. они не обеспечивают диффузное распределение звуковой энергии. Отражения от боковых поверхностей распределяются узкой полосой по периметру зала. В задней части зала наблюдается концентрация отраженной звуковой энергии (рисунок 8.10 д).

Во избежание концентрации (фокусировки) звуков радиус кривизны отражающей поверхности должен, по крайней мере, в 2 раза превышать расстояние от стены до источника звука. Для создания диффузного звукового поля и исключения фокуса в зале следует применить членение поверхности (рисунок 8.10 е).

При проектировании зрительных залов необходимо предусмотреть ряд шумозащитных мероприятий с целью ослабления проникающих в зальные помещения уличных шумов. С точки зрения шумозащиты особое значение имеют расположение здания и его внутренняя планировка.

8.3. Проектирование залов с естественной акустикой

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 методом компьютерного акустического моделирования для установления их соответствия 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, проводимую методом компьютерного моделирования.

В каждом зале должны быть выдержаны основные требования к его объемно-планировочному решению, дифференцированные в зависимости от конкретного назначения зала, таблица 8.1.

Таблица 8.1 – Требования к его объемно-планировочному решению

Предназначение зала	Удельный объем, м ³ /зритель	Максимальная длина зала, м
Залы драматических театров, аудитории и конференц-залы	4-5	24-25
Залы музыкально-драматических театров	5-7	28-29
Залы театров оперы и балета	6-8	30-32
Концертные залы камерной музыки	6-8	20-22
Концертные залы симфонической музыки	8-10	42-46
Залы для хоровых и органных концертов	10-12	42-46
Многоцелевые залы	4-6	27-28 (без сцены) 24-26 (со сценой)
Концертные залы современной эстрадной музыки	4-6	48-50

Возможные отклонения от приведенных выше значений удельного акустического объема и максимальной длины залов должны быть обоснованы, окончательный выбор размеров и пропорций зала может корректироваться на основании результатов акустического расчета.

Для обеспечения нормативного шумового режима в зрительных залах следует:

– при архитектурно-планировочном решении здания не располагать в смежных с залом помещениях источники интенсивного шума (венткамеры, насосные и т.п.);

– применять ограждающие конструкции зала с требуемой звукоизоляцией, обращая особое внимание на элементы с относительно небольшой звукоизоляцией (окна, двери);

– принимать меры по снижению шума систем вентиляции и кондиционирования воздуха до допустимых величин (глушители, ограничение скорости воздуха на воздухораспределительных устройствах).

8.4. Залы, акустика которых полностью основана на электроакустических системах

Многофункциональные залы, оборудованные системами звукоусиления, в настоящее время составляют подавляющее большинство зрительных

залов в мире. Это могут быть концертные залы, залы театров, цирков, спортивных сооружений и пр., те объекты культурно-зрелищного назначения, где звучанию или озвучиванию отводится одно из главных или важных мест.

Большинство таких залов оборудованы системами линейных массивов – мощными и современными электроакустическими излучателями, которые соединены в группы, образующие так называемые кластеры. Кластеры собираются из числа однотипных громкоговорителей, которые ориентируются в пространстве так, чтобы наилучшим образом покрывать равномерным звучанием закрепленную за ними часть зала.

Таким образом, правильно спроектированный и настроенный комплекс линейных массивов с помощью двух или трех кластеров (как правило, левый, правый и центральный кластеры) может равномерно озвучить зал вместимостью от 500 до 5000 человек. Но все это, безусловно, становится возможным при правильном акустическом оформлении помещения зала.

По сравнению с залами с живой акустикой, помещение с элетроозвучиванием прощает проектировщикам гораздо больше ошибок. Однако хорошие залы, тщательно сбалансированы по количеству звукопоглощающих и звуко-рассеивающих материалов и конструкций. При этом в таких залах нет места ярко выраженным акустическим дефектам, типа порхающего или театрального эха.

При проектировании залов с системами звукоусиления следует придерживаться следующих принципов:

1. Форма и пропорции зала должны выбираться исходя из требований наилучшей диффузности звука в помещении. Конечно, даже в зале с неудачными пропорциями с помощью электроакустики и средств архитектурной акустики можно получить результат. Однако, с правильными пропорциями помещения это достигается гораздо легче.

2. Время реверберации в зале в зависимости от его объема должно находиться в диапазоне, рекомендуемом для залов со звукоусилением.

3. Интерьер зала должен содержать равномерное, сбалансированное чередование звукопоглощающих и рассеивающих поверхностей.

4. В зале должны быть исключены акустические дефекты типа "порхающего" и "театрального" эха. Данные дефекты проявляются при наличии параллельных звукоотражающих поверхностей, а также в присутствии отражающих поверхностей большой площади, размещенных на больших расстояниях от источника звука (портальных кластеров) и направляющих звук назад к исполнителю (микрофону на сцене), но с большой задержкой.

5. В отделке интерьера зрительного зала должны применяться пожаробезопасные, экологичные и пригодные к длительной эксплуатации материалы с известными и стабильными акустическими характеристиками.

Особое место при проектировании залов со звукоусилением отводится компьютерному акустическому моделированию. Уже на стадии построения модели, помимо формы помещения и видов отделочных материалов, инженерами выбираются конкретные типы электроакустических систем и точное место их размещения. Построение компьютерной модели позволяет еще на

стадии проектирования выявить существенные акустические дефекты и проблемные зоны зала, рассмотреть варианты их решения и выбрать наилучшее решение задачи.

Для формирования общего представления о современных залах разного целевого назначения прежде необходима их классификация на предмет оборудования акустическими системами и использования архитектурного пространства зала для создания и улучшения акустических характеристик восприятия звука.

Исходя из этого, зрительные залы разделяют на три группы:

Первая – залы с естественной акустикой, т.е. помещения, в которых зрители слушают звучание голоса или инструмента непосредственно, а качество звучания зависит от акустических свойств помещения, создаваемых архитектурно-строительными средствами.

К ним относятся:

- театральные помещения, как драматические, так и музыкальные;
- концертные залы, создаваемые специально для концертных выступлений по широкой программе – от симфонического оркестра до камерных ансамблей и солистов;
- речевые помещения, такие как учебные аудитории, лекционные залы, конференц-залы, залы для собраний и т.п.

Залы первой группы возникли очень давно, и до нашего времени представляют собой наиболее распространенный тип зрительного зала.

Вторая – залы, в которых зрители слушают звучание только при помощи звуковоспроизводящей аппаратуры.

Это в основном зрительные залы кинотеатров:

- обычные кинотеатры;
- широкоформатные;
- круговые панорамы.

Передача звука в зрительных залах кинотеатров осуществляется при помощи одноканальной и многоканальной стереофонических систем.

Третьи – залы, в которых зрители слушают звучание и непосредственно, и при помощи систем звукоусиления.

Это залы многоцелевого назначения, снабжаемые электроакустическими системами не только для демонстрации кинофильмов, но и для усиления звука.

Каждая из этих групп предъявляет свои специфические требования к организации архитектурного пространства зала.

Объединяют все три группы залов общие требования к залам с естественной акустикой, а именно:

- обеспечение всех зрителей достаточной звуковой энергией;
- создание диффузного звукового поля;
- исключение эха и фокусировки звука;
- обеспечение оптимального времени реверберации;
- минимизация посторонних шумов.

Улучшение акустических характеристик помещений достигается ра-

циональным выбором размеров и формы зала в комплексе с характером отделки интерьера, учитывая конечно, шумоизоляцию ограждающих конструкций (рисунок 8.11).



Рисунок 8.11 – Общий вид концертного зала

Выделяют общие правила, которые необходимо соблюдать при проектировании залов любой из трех групп.

Необходимо учесть, что большие гладкие поверхности не способствуют достижению диффузности звукового поля. Особенно непривлекательны с этой точки зрения параллельные стены, приводящие к образованию так называемого «порхающего» эха.

Отклонение от параллельных стен на $2 \dots 3^\circ$ или одной стены на $5 \dots 6^\circ$ ослабляет образование «порхающего» эха.

Для повышения диффузности необходимо, чтобы большая часть поверхностей создавала рассеянное (ненаправленное) отражение.

Достигается это членением поверхностей балконами, пилястрами и нишами.

В случаях, когда невозможно изменить конструктивные особенности помещения зала, устранить повторяющееся эхо или флаттер, как его еще называют, возможно, размещением полуцилиндрических дефлекторов, из фанеры или гипса.

На поверхностях, создающих малозапаздывающие отражения, членения должны быть слабыми и соответственно диаметр дефлекторов не-

большим. Сильно расчленять рекомендуется поверхности, не дающие направленных ранних отражений.

При проектировании залов желательно не пренебрегать отношением длины к средней ширине – более 1, но менее 2. При отношении меньше 1 (широкий зал) наблюдается запаздывание отражений от боковых стен, и ухудшается слышимость на боковых местах. В тех же пределах желательно иметь отношение средней ширины к средней высоте. Длина зала (от задней стены до занавеса) не должна превышать 30 м. При большой высоте потолка первые отражения не поступают в партер, а в первых рядах запаздывают.

Объем зала на одного зрителя принимается, как правило, в пределах 4...8 м³ в зависимости от назначения. Залы с удельным объемом более 8 м³ являются концертными с повышенным временем реверберации и запаздыванием первых отражений.

Отдельно необходимо рассмотреть балконы. В залах вместимостью более 600 человек целесообразно их устройство. Этим достигается уменьшение удельного объема и расчленение стен. Отношение выноса балкона к средней высоте подбалконного пространства рекомендуется принимать не более 1,5, иначе разборчивость речи и качество звучания музыки в подбалконном пространстве ухудшается. Потолок балкона необходимо предусматривать наклонным с подъемом в сторону сцены. Наклон должен быть таким, чтобы отражения поступали в заднюю часть зала. При большом угле наклона имеют место отражения в среднюю часть зала, что может привести к образованию эха при значительных его размерах.

Контрольные вопросы

1. *Архитектурная акустика – это ...*
2. *Показатели, характеризующие звукопоглощающие материалы.*
3. *Классификация звукопоглощающих материалов и конструкций.*
4. *Плоские звукопоглощающие конструкции.*
5. *Объемные дифракционные поглотители звука.*
6. *Влияние формы залов и отдельных поверхностей на их акустические качества.*
7. *Принципы проектирования залов с системами звукоусиления.*
8. *Классификация залов по условиям создания и улучшения акустических характеристик восприятия звука.*
9. *Требования к акустическим качествам помещения.*

ТЕСТОВЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА»

$\alpha = (E_{над} - E_{отп})/E_{отп}$ – это коэффициент

$\beta = E_{отп}/E_{над}$ – это коэффициент

$\tau = P_{np}/P_{над}$ – это коэффициент

Абсолютная влажность воздуха – это ...

Азимут солнца – это...

Альбеде – это ...

Атмосферное давление зависит от:

Атмосферное давление с высотой –

Болевой порог звукового давления –

В зале бассейна КЕО нормируется –

В зале для камерной музыки объем на одно место должен составлять –

В зале для симфонического оркестра объем на одно место должен составлять –

Вид влаги, который проникает сквозь ограждения отапливаемых помещений и при неблагоприятных условиях конденсирует в их толще – это:

Вид влаги, который увлажняет внутреннюю поверхность в помещениях с повышенной влажностью – это:

Виды теплообмена –

В каких плоскостях лежат углы, определяющие широту и долготу точки местности?

В каких помещениях требуется малое время реверберации?

В каких пределах воздух с относительной влажностью воспринимается нормально?

В зале, предназначенном преимущественно для органной музыки, объем на одно место должен составлять –

В неветилируемых ограждающих конструкциях пароизоляционный слой должен располагаться ...

В случае покрытого отражающим слоем солнцезащитного наружного стекла ...

Воздухопроницаемость ограждающих конструкций – это ...

Восприятие цветов и их психологическое воздействие зависит от ряда факторов:

Время реверберации тем больше, чем ...

Второе условие комфортности температурной обстановки –

Городской остров тепла – это ...

Действие естественного освещения на человека делятся на виды:

Для жилых зданий значение КЕО нормируется в уровне горизонтальной поверхности, расположенной ...

Для определения направления ветра используют многолетние данные по скорости и повторяемости ветра и строят так называемые –

Допустимый температурный перепад между расчетной температурой воздуха и температурой поверхности пола для жилых помещений составляет

$E = \frac{\Phi}{S}$ – это формула для определения:

Единица измерения светового потока –

Единица измерения силы света –

Единица измерения телесного угла –

Единица измерения уровня звукового давления –

Запирающий (пароизоляционный) слой располагают ...

Изменение цветового восприятия под влиянием изменения цветовой адаптации называют:

Измеритель влажности воздуха –

Измеритель скорости ветра –

Индекс помещения для фонарей шахтного типа находят по формуле:

Инсографик представляет собой ...

Инсоляция – это ...

Как называется отношение толщины отдельного слоя к его коэффициенту теплопроводности?

Как определяется зона отраженного звука?

Какая область ультрафиолетовых лучей обладает наибольшей бактерицидной эффективностью?

Какая область ультрафиолетовых лучей обладает наибольшей оздоровительной эффективностью?

Какая часть света является основой подавляющего количества всей информации, воспринимаемой человеком?

Какие из конструкций не обеспечивают теплоизоляцию помещения?

Какие материалы применяются для увеличения общего звукопоглощения на средних и высоких частотах?

Какие материалы применяются для увеличения общего звукопоглощения на низких частотах?

Какие методы борьбы с городским шумом?

Какие основные источники шума в городах?

Каким цветом окрашивается поверхность солнечных коллекторов?

Какое время затухания плотности звуковой энергии принято эталоном времени стандартной реверберации?

Какое время называют временем реверберации?

Какое время реверберации устанавливается для жилых помещений?

Какое время реверберации устанавливается для концертных залов?

Какое звуковое давление соответствует порогу слышимости?

Какое звуковое поле называют диффузным?

Какое физическое явление используется в люксметре?

Какой вид грунта обладает наибольшей капиллярностью?

Какой вид теплопередачи имеет место, когда тело нагревается на солнце?

Какой из видов перечисленных материалов обладает минимальной па-

ропроницаемостью?

Какой источник энергии является не возобновляемым?

Какой метод требует, чтобы не была превышена максимально допустимая потребность в энергии на отопление?

Какой физический процесс является источником свечения люминесцентных ламп?

Какой шум называют белым шумом?

Какой шум называют воздушным?

Какой шум называют ударным?

Климат, определяемый факторами, действующими на малых расстояниях, называется:

Климатическими элементами не являются:

Когда происходит полное поглощение звука?

Колебательная скорость частиц определяется по формуле:

Количество эффективной солнечной радиации, приходящей в помещение, обеспечивающее необходимый санитарный минимум –

Конвективным теплообменом (конвекцией) называют –

Комбинированное освещение – это...

Координатами Солнца являются ...

Коэффициент температурного расширения – это ...

Метеорология – наука изучающая ...

Механические разрушения вызывает ветер со скоростью ...

Микроклимат охватывает:

Многолетний режим погоды называется ...

На какие группы разделяются осветительные приборы?

Наименьшая воспринимаемая яркость –

Наименьшая скорость распространения звука в ...

Наука, изучающая солнечную радиацию?

Необходимые размеры фонарей в многопрофильных помещениях определяются по формуле:

Нормативные значения параметров микроклимата зависят от ...

Нормированное значение КЕО в помещениях жилых и общественных зданий ...

Нормированное значение КЕО в помещениях жилых и общественных зданий должно обеспечиваться в ...

Область видимого излучения лежит в пределах длин волн:

Общий коэффициент светопропускания фонаря определяется по формуле:

Оптимальная относительная влажность воздуха в помещении –

Оптимальная температура внутреннего воздуха помещений –

Оптимальная температура поверхности пола –

Освещенность поверхности определяется по формуле:

Освещенность поверхности от точечного источника света:

Основные факторы климата, действующие на здания:

От чего не зависит теплопроводность?

Относительная влажность воздуха – это ...

Отношение светового потока Φ к телесному углу Ω , внутри которого этот поток распространяется –

Паропроницаемость ограждающих конструкций – это ...

Первое условие комфортности температурной обстановки –

Перемещение воздуха, возникающее вследствие неравномерного распределения атмосферного давления по земной поверхности, обусловленное неравномерным нагревом подстилающей поверхности –

По гигиеническим нормам количество углекислого газа в воздухе в жилых помещениях не должно превышать ...

По какой формуле определяется телесный угол?

По какой формуле определяют уровень звукового давления, если задан порог слышимости P_0 ?

По какой формуле определяют уровень звукового давления?

По какой формуле определяют уровень интенсивности звука, если задан порог слышимости J_0 ?

По какой формуле рассчитывается время реверберации для залов большого объема?

По какой формуле рассчитывается время реверберации?

Поле зрения при наблюдении обоими глазами называют ...

Поле зрения при наблюдении одним глазом называют ...

Полное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций здания определяется как:

При каком звуковом давлении возникает болевой порог у человека?

При каком наименьшем радиусе кривизны отражающей поверхности, отражение звуковых волн можно считать направленным?

При каком остеклении энергетический коэффициент пропускания ниже?

При каком уровне интенсивности звука возникает болевой порог у человека?

При наличии инсоляции уже возможен перегрев помещений при температуре воздуха ...

Принципы строительного-климатического районирования:

Приспособление для отражения радиации –

Прозрачность воздуха оценивается ...

Расположение слоя крупного гравия под подошвой фундамента ...

Расчеты инсоляции следует производить непосредственно на плане застройки ...

С увеличением плотности материала его теплоемкостная способность ...

С увеличением удельной теплоемкости материала его теплоемкостная способность ...

Светимость определяется по формуле:

СЗУ объединяющие средства, относящиеся к затенению элементов зданий, изделий из стекла и пленок:

СЗУ объединяющие средства, относящиеся к композиции застройки на генеральном плане, планировки зданий и благоустройству территории:

СЗУ объединяющие средства, относящиеся к средствам обеспечения искусственного микроклимата технического характера:

Сила света источника определяется по формуле:

Скорость ветра с высотой –

Способность воспринимать отдельно предметы, расположенные близко друг к другу называют:

Стена для отделения или разграничения участков пожара –

Степень континентальности климата характеризуется ...

Температура воздуха с высотой убывает –

Теплонакопительная способность стен выше, если ...

Теплообменом называют ...

Теплопроводностью называют ...

Термическое сопротивление ограждения:

Термическое сопротивление стены зависит ...

Точка росы – это ...

Третье условие комфортности температурной обстановки –

У каких ограждающих конструкций коэффициент теплопередачи наибольший?

Увлажнение материалов наружного ограждения ...

Укажите выражение для светимости в точке поверхности:

Укажите закон изменения силы света для плоской равнояркой поверхности:

Укажите определения 2-го закона светотехники:

Укажите связь между яркостью и освещенностью поверхности равномерно рассеивающей падающий на нее свет:

Укажите формулу 1-го закона светотехники:

Укажите формулу, определяющую коэффициент отражения тела:

Укажите формулу, определяющую коэффициент поглощения тела:

Укажите формулу, определяющую коэффициент пропускания тела:

Укажите формулу, определяющую лучистый поток:

Укажите формулу, определяющую относительную влажность воздуха:

Укажите формулу, определяющую связь между коэффициентами пропускания, отражения и поглощения:

Уравнение Фурье:

Установлено режимов погоды:

Факторы, влияющие на человека в помещении:

$\Phi = I\omega$ – это формула для определения:

Формула освещенности в любой точки внутренних поверхностей помещения:

Формула теплового сопротивления:

Формула $P = k \frac{\rho v^2}{2}$ для определения:

Характеристика зрительного ощущения, служащая для оценки отличия

данного цвета от ахроматического цвета той же светлоты ...

Чем выше сопротивление теплопередаче R конструкции, тем ...

Чем меньше теплопроводность материала, тем...

Чем отличается коэффициент естественной освещенности (КЕО) от геометрического коэффициента естественной освещенности?

Чем отличается центральное зрение от периферического?

Чему равно декретное время?

Чему равно численное значение световой солнечной постоянной?

Чистота цвета позволяет:

Что из перечисленного относится к недостаткам пористых материалов?

Что называется звуковым давлением?

Что называется звуковым полем?

Что называется коэффициентом звукопроницаемости?

Что называется коэффициентом отражения звука?

Что называется коэффициентом поглощения звука?

Что называется светимостью?

Что называют звуковой мощностью?

Что называют звуковыми волнами?

Что называют коэффициентом звукопередачи?

Что называют теплопроводностью?

Что относится к количественным характеристикам атмосферы?

Что относится к преимуществам пористых строительных материалов?

Что показывает точка росы?

Что такое «мостик холода»?

Что такое защитный угол светильника?

Что такое звучание?

Что такое шум?

Чтобы рассчитать поясное время надо –

Энергетический паспорт здания – это ...

Яркость в точке поверхности источника в указанном направлении определяется по формуле:

Яркость стекла, через которое проходит световой поток, определяется по формуле:

$I = \frac{\Phi}{\omega}$ – это формула для определения:

$D_d = (t_{int} - t_{ht}) z_{ht}$ – это формула для определения:

$L = \frac{I}{S \cos \alpha}$ – это формула для определения:

$M = \pi L = \frac{\Phi}{S} = E\rho$ – это формула для определения:

$R_{mk} = \delta/\lambda$ – это формула для определения:

$R_{vp} = \sum \delta_i/\mu_i$ – это формула для определения:

$Q = K_0 \cdot \Delta t$ – это формула для определения:

$\omega = \frac{S}{r^2}$ – это формула для определения:

ЛИТЕРАТУРА

Ананьин, М.Ю. Строительная физика. Звукоизоляция зданий ограждающими конструкциями: учебное пособие для вузов / М.Ю. Ананьин, Д.В. Кремлева. – М.: Издательство Юрайт, 2020.– 91 с. – Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <http://biblio-online.ru/bcode/454563>.

Блази, В. Справочник проектировщика. Строительная физика / Блази В. – М.: Техносфера, 2004. – 480 с.

Викторова О.Л. Строительная физика: курс лекций: учеб. пособие по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» / О.Л. Викторова. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 88 с.

ГОСТ Р 54852-2011 Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций. Дата введения 2012-05-01.

ГОСТ Р 57795-2017 Метод расчета продолжительности инсоляции. Дата введения 2018-02-01.

ГОСТ 30494-2011 Межгосударственный стандарт. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Дата введения 2013-01-01.

Куприянов, В.Н. Физика среды и ограждающих конструкций: Учебник / В.Н. Куприянов. – Москва: Издательство АСВ, 2015. – 312 с.

Куприянов, В.Н. Физика среды и ограждающих конструкций: Учебник для бакалавров / В.Н. Куприянов. – М.: АСВ, 2017. – 310 с.

СП 131.13330.2018. СНиП 23-01–99 Строительная климатология. – М.: Минрегион России, 2012. – 136 с.

СП 50.13330.2012. СНиП 23-02–2003 Тепловая защита здания. – М.: Минрегион России, 2012. – 36 с.

СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты здания. – М.: Госстрой России, 2005. – 140 с.

СП 52.13330.2011 СНиП 23-05–95 «Естественное и искусственное освещение». – М.: Минрегион России, 2011.

СП 51.13330.2011 СНиП 23-03-2003. Защита от шума. – М.: Минрегион России, 2011. – 36 с.

СП 23-102-2004. Проектирование звукоизоляции гражданских зданий. – М.: Госстрой России, 2005. – 140 с.

Стецкий, С.В. Строительная физика [Электронный ресурс]: краткий курс лекций для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению 270800 «Строительство» / М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т, каф. архитектуры гражданских и промышленных зданий; сост. С.В. Стецкий, К.О. Ларионова. – Электрон, дан. и прогр. (6,6 Мбайт). – Москва: МГСУ, 2014. – Учебное электронное издание комбинированного распространения: 1 электрон. опт. Диск (CD-ROM). – Систем. требования: Intel; Microsoft Windows (XP, Vista, Windows 7); дисковод CD-ROM, 512 Мб ОЗУ; разрешение экрана не ниже 1024×768; ПО Adobe Air, ПО IPRbooks Reader, мышь; ЭБС IPRbooks. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/> – Загл. с титул. экрана.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Лекция 1. СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА – ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЛИМАТОЛОГИИ	4
1.1. Строительная физика – общие понятия и положения	4
1.2. Строительная климатология – термины и определения.	
Особенности климата России	5
1.3. Основные факторы климата и их воздействие на здания и сооружения	8
1.4. Строительно-климатическое районирование	13
Контрольные вопросы	16
Лекция 2. СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА. ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА В ПОМЕЩЕНИИ ...	17
2.1. Понятие микроклимата. Определение теплового комфорта в помещении	17
2.2. Виды теплообмена	20
2.3. Схема теплообмена человека с окружающей средой	23
Контрольные вопросы	28
Лекция 3. ТЕПЛОЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	29
3.1. Задачи теплозащиты зданий и сооружений	29
3.2. Теплопередача в нестационарных условиях	30
3.3. Теплоустойчивость ограждающих конструкций	31
3.4. Требования по теплозащите здания в целом	35
3.5. Воздухопроницаемость, паропроницаемость ограждающих конструкций	39
Контрольные вопросы	45
Лекция 4. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА И ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ЗДАНИЙ	46
4.1. Факторы, влияющие на теплозащиту зданий	46
4.2. Передача тепла через ограждения в нестационарных условиях	48
4.3. Повышение теплозащитных свойств существующих зданий	53
4.4. Энергетический паспорт здания	55
Контрольные вопросы	57
Лекция 5. СТРОИТЕЛЬНАЯ СВЕТОТЕХНИКА. НОРМИРОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ	58
5.1. Задачи строительной светотехники, естественное освещение – основные понятия и законы, световые величины	58
5.2. Световой климат местности. Методы расчета КЕО	64
5.3. Нормирование естественного освещения	69
5.4. Требования по проектированию и конструированию систем естественного освещения	71
Контрольные вопросы	75
Лекция 6. ИНСОЛЯЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	76
6.1. Современные тенденции в расчетах и проектировании	

естественного и совмещенного освещения	76
6.2. Инсоляция и солнцезащита	83
6.3. Техничко-экономическая и энергетическая оценка систем естественного освещения зданий	92
Контрольные вопросы	93
Лекция 7. ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ АКУСТИКИ И ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА	94
7.1. Формирование акустического комфорта в помещении	94
7.2. Внешние источники, методы и средства защиты от шума	95
7.3. Архитектурно-планировочные методы защиты от шума	99
7.4. Методы расчета звукового поля	104
7.5. Время реверберации и его расчеты	106
Контрольные вопросы	109
Лекция 8. ОСНОВЫ АРХИТЕКТУРНОЙ АКУСТИКИ	110
8.1. Звукопоглощающие материалы и конструкции	110
8.2. Влияние формы залов и отдельных поверхностей на их акустические качества	119
8.3. Проектирование залов с естественной акустикой	124
8.4. Залы, акустика которых полностью основана на электроакустических системах	125
Контрольные вопросы	129
Приложение. ТЕСТОВЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА»	130
ЛИТЕРАТУРА	136

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

МИХЕЕВ ПАВЕЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

Курс лекций

**для студентов направления 08.03.01 – Строительство,
направленности: Промышленное и государственное строительств и
Экспертиза и управление недвижимостью**

Компьютерная верстка Михеева П.А.

Подписано в печать 20.05. 2022.

Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл.- печ. л. 8,2. Уч.- изд. л. 8,5. Тираж 50. Заказ № 47-9905.

Издательство Лик

346430, г. Новочеркасск, пр. Платовский, 82 Е
тел: 8(8635)226-442, 8-952-603-0-609

Отпечатано в Издательско-полиграфическом комплексе
«Колорит»

346430, г. Новочеркасск, пр. Платовский, 82 Е
тел: 8(8635)226-442, 8-918-518-04-29, center-op@mail.ru