

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

Н.Д. Черныш, В.Н. Тарасенко

СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

Учебное пособие для студентов заочной формы обучения
с применением дистанционных технологий специальностей
270102 — Промышленное и гражданское строительство
270105 — Городское строительство и хозяйство

Белгород
2009

УДК 621.03+72+53

ББК 38.113я7

Ч 87

Черныш, Н.Д.

Ч 87 Строительная физика: учебное пособие / Н.Д. Черныш, В.Н. Тарасенко. — Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. — 238 с.

В учебное пособие включены разделы по строительной климатологии, теплотехнике, светотехнике, звукоизоляции и инсоляции. Изложены физико-технические основы проектирования зданий. В пособие отобраны материалы, которые предназначены помочь разобраться в многочисленных факторах, учитываемых при проектировании ограждающих конструкций при воздействии на них температуры, влажности и шума.

Учебное пособие предназначено для студентов заочной формы обучения с применением дистанционных технологий специальностей 270102 — Промышленное и гражданское строительство, 270105 — Городское строительство и хозяйство.

УДК 621.03+72+53

ББК 38.113я7

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2009

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ 1 ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЛИМАТОЛОГИИ.....	6
РАЗДЕЛ 2 ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОТЕХНИКИ.....	24
РАЗДЕЛ 3 ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ И АРХИТЕКТУРНОЙ АКУСТИКИ.....	44
РАЗДЕЛ 4 ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ СЕТОТЕХНИКИ.....	62
ВЫВОДЫ.....	118
ТРЕНИРОВОЧНЫЕ ЗАДАНИЯ.....	119
ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ.....	122
ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ.....	136
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ.....	147
КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ.....	180
ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ.....	206
ТОЛКОВЫЙ СЛОВАРЬ.....	209
ИТОГОВЫЙ ТЕСТ.....	219
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	237

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ ОСНОВНЫХ ИНДЕКСОВ

Обозначение	Расшифровка обозначения	Обозначение	Расшифровка обозначения
<i>a</i>	— воздушная среда	<i>max</i>	— максимальное значение
<i>a.l.</i>	— воздушная прослойка	<i>min</i>	— минимальное значение
<i>av</i>	— средняя величина	<i>m</i>	— элемент ограждающей конструкции, предельное целочисленное значение
<i>b</i>	— подвал, подполье	<i>n</i>	— нормативное значение, предельное целочисленное значение
<i>b.c</i>	— перекрытие подвала	<i>o</i>	— нормативное значение, обозначение градуса, показатель в сухом состоянии
<i>b.w</i>	— стены подвала	<i>p</i>	— водяной пар, агрессивная среда
<i>bal</i>	— баланс	<i>r</i>	— приведенное значение
<i>c</i>	— покрытие, потолок	<i>req</i>	— требуемое значение
<i>cal</i>	— рассчитанное значение	<i>s</i>	— солнечная радиация, грунт
<i>con</i>	— условная расчетная величина	<i>se, si</i>	— наружная, внутренняя поверхности соответственно
<i>d</i>	— сутки, точка росы	<i>scy</i>	— зенитный фонарь
<i>des</i>	— проектное значение	<i>sum</i>	— суммарное значение
<i>e, ext</i>	— компактность, наружная среда или ограждение	<i>t</i>	— температура
<i>ed</i>	— двери и ворота	<i>tr</i>	— трансмиссионная составляющая
<i>eq</i>	— эквивалентное значение	<i>V</i>	— объем
<i>f</i>	— эквивалентное значение	<i>ven</i>	— вентиляционная составляющая
<i>F</i>	— эквивалентное значение	<i>vr</i>	— паропроницание
<i>g</i>	— пол	<i>w</i>	— стена, показатель во влажном состоянии
<i>g.c</i>	— окно	<i>y</i>	— год
<i>g.f</i>	— чердак	<i>τ</i>	— температура поверхности
<i>g.w</i>	— покрытие, крыша	<i>1, 2, 3</i>	— порядковая нумерация
<i>h</i>	— чердачное перекрытие	<i>A, B</i>	— наименование условий
<i>h.l</i>	— стены чердака		
<i>hor</i>	— теплота		
<i>ht</i>	— теплопотери помещения		
<i>i, int</i>	— горизонт		
<i>i</i>	— отопление		
<i>ins</i>	— внутренняя среда		
<i>inf</i>	— целочисленное перечисление		
<i>k</i>	— теплоизоляция		
<i>l</i>	— инфильтрационная составляющая конструкции		
	— площадь жилья		

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методический комплекс (УМК) подготовлен в соответствии с программой дисциплины «Строительная физика» и предназначен для студентов, обучающихся по направлению «Строительство» заочной формы обучения.

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

Основная задача строительной физики — обоснование применения в строительстве материалов и конструкций, выбора размеров и формы помещений, которые обеспечили бы оптимальные температурно-влажностные, акустические и светотехнические условия в помещениях соответственно их функциональному назначению.

Предмет изучения «Строительной физики» — вопросы теплопередачи, воздухопроницаемости и влажностного состояния конструкций, вопросы звукоизоляции, акустики и светотехники, рассматриваемые соответственно в разделах *строительная теплотехника, строительная и архитектурная акустика, строительная светотехника*.

Традиционно при проектировании ограждающих конструкций отдельно рассматривают вопросы теплозащиты и влажностный режим, вопросы звукоизоляции. Комплексный подход к проектированию позволяет избежать возникающие в процессе эксплуатации здания проблемы.

Ограждающие конструкции, архитектурно-планировочное решение здания должны обеспечивать комфортные условия микроклимата, световой режим помещений. При решении данных архитектурно-строительных задач не обойтись без учета влияния окружающей среды. Обезвредить отрицательные факторы климата и использовать положительные позволяют сведения о климатических нормативах, которые являются предметом изучения *строительной климатологии*.

Изучение курса сопровождается выполнением лабораторных и кон-

трольной работы. УМК содержит примеры решения различного рода задач, а также задания для выполнения контрольной работы. В УМК представлены вопросы для самопроверки, тестовые задания, вопросы для подготовки к зачету.

РАЗДЕЛ 1 ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЛИМАТОЛОГИИ

Строительная климатология — наука об учёте климата при решении архитектурно-строительных задач, предусматривает составление климатической характеристики района строительства с целью выявления благоприятных и неблагоприятных для человека факторов климата.

Климат территории нашей страны чрезвычайно разнообразен, многообразны его воздействия на человека, на формирование внутренней среды обитания, т.е. микроклимата в зданиях. Без учёта климата нельзя построить экономично и удобно здание, предназначенное для деятельности человека.

Строительная климатология изучает взаимодействия климата, архитектурно-планировочной структуры города и архитектуры зданий. Комплексный учёт метеорологических данных района позволяет связать климатическое районирование с задачами архитектурной типологии.

Основными климатообразующими элементами являются температура, влажность, ветер и солнечная радиация.

В процессе проектирования необходимо определить преобладающие погодные условия для заданного пункта строительства, которые приведены в нормах проектирования [1].

Задача строительной климатологии заключается в том, чтобы помочь строителям учесть специфику климата данного района при проектировании, использовать его полезные стороны и предусмотреть меры защиты от его вредных воздействий.

Целями изучения данной темы являются:

- получение знаний о влиянии климата на архитектурные и конструктивные решения зданий;
- получение знаний и навыков обоснования целесообразных проектных решений планировки населенных мест, типов зданий и ограждающих конструкций с учетом особенностей климата.

Изучив тему, студент должен знать и уметь:

- применять методы строительной климатологии;
- применять основные правила учёта климатических характеристик при проектировании зданий;
- пользоваться нормативной литературой (СНиП).

Изучая тему, необходимо акцентировать внимание на следующих понятиях: *климатология, климат, погода, климатические параметры, температура, влажность, ветер, солнечная радиация, инсоляция, температура точки росы.*

Тема 1 Информация о климате и климатических нормативах для строительства

1.1 Определение климата

Климатологией называют науку, изучающую условия формирования климата и климатический режим различных стран и районов.

Слово «климат» греческое, означает «наклон». Древние греки полагали, что состояние атмосферы, а именно: температура воздуха T_B , зависит лишь от угла α (наклона), под которым падают на Землю солнечные лучи. Чем выше Солнце, чем ближе его лучи к перпендикулярному направлению к земной поверхности, тем больше они приносят на Землю тепла, тем выше температура земной поверхности T_3 и прилегающего к ней слоя воздуха T_B . С отклонением лучей Солнца от перпендикуляра к земной поверхности (с изменением их наклона) температура поверхности земли понижается (рисунок 1). Отсюда и произошло название «климат». Климат Земли делился по астрономическому признаку в соответствии со средней высотой Солнца и продолжительностью дня.

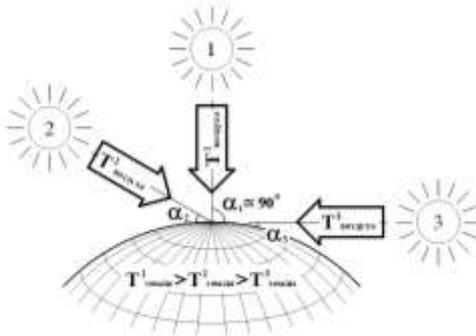


Рисунок 1 — К определению «климат»

На основании метеорологических наблюдений были установлены основные климатообразующие факторы:

– астрономические (солнечная радиация, космические тела, излу-

чения и др.);

- географические (рельеф, лес, вода);

- циркуляционные (циркуляция воздуха и магнитных полей), зависящие от астрономических и географических факторов.

Эти факторы и их взаимодействие определяют *погоду* — состояние атмосферы за короткий промежуток времени. Погода изо дня в день может меняться или повторяться. *Климат* — это многолетний режим погоды с закономерной последовательностью атмосферных процессов, создающихся в данной местности в результате влияния солнечной радиации, атмосферной циркуляции и физических явлений. Для изменения климата необходимы длительные периоды. Климат характеризуют однотипные показатели метеорологических элементов над обширными территориями.

Условия формирования климата данного места зависят от широты, высоты над уровнем моря, от положения относительно океанов, морей и других больших водоемов, от формы рельефа, характера поверхности почвы, растительного и снежного покрова.

Приток солнечной радиации является одним из факторов, определяющих климат. Однако тепло может поступать не только непосредственно от Солнца. После преобразования радиации в атмосфере, тепло переносят воздушные потоки, т.е. действует *атмосферная циркуляция*. В холодное время года воздушными течениями тепло переносится с поверхности морей и океанов. Вода медленно нагревается Солнцем, но сохраняет тепло дольше, чем суша. Поэтому летом вблизи моря холоднее, а зимой теплее, чем вдали от моря. По этой же причине осень на побережьях морей и океанов теплее, чем весна. Благодаря атмосферной циркуляции влияние морей распространяется на значительные расстояния от побережья. Например, перенос воздушных масс из области теплого течения Гольфстрим смягчает климат Европы. На температурный режим атмосферы влияют испарения и конденсация. На испарение воды затрачивается тепло, при конденсации водяного пара тепло выделяется. При испарении водяной пар поднимается, охлаждается и превращается в капли воды, образуя облака. Воздушные течения переносят водяной пар (облака). Влагооборот оказывает влияние на атмосферную циркуляцию: водяной пар (облака) уменьшает прозрачность атмосферы и приводит к перераспределению солнечной радиации на земной поверхности. Влияние на климат крупных форм рельефа, какими являются горы, создает особый климат — горный. С высотой уменьшается плотность и увеличивается прозрачность атмосферы, возрастает интенсивность прямой солнечной радиации, уменьшается рассеянная радиация, увеличивается излучение тепла. Вода, лес, вспаханная почва поглощают тепло.

Пространства, покрытые снегом и льдом, большую часть тепла отражают.

При исследовании климата района определяют его основные показатели и изучают взаимодействие климатообразующих факторов.

1.2 Краткая история создания климатических нормативов для строительства

Учет влияния климата производят как в стадии планирования, так и стадии проектирования объектов. От правильности учета этого влияния зависит правильность выбора места для города, фабрики, завода. Климат определяет архитектурно-планировочное решение объектов строительства, от него зависит длительность эксплуатации сооружений, комфортность условий работы, проживания и отдыха человека.

Правильность учета климата определяют показателями, входящими в строительные нормы. Климатические нормативы, входящие в расчеты при проектировании, называют *климатическими параметрами*.

Количественные климатические показатели для оценки влияния климата на здания и сооружения как обязательные нормы, учитываемые при проектировании, применяют сравнительно недавно. Это не значит, что ранее совсем не учитывалось влияние климата на жилище человека. Например, на основе опыта в северных снежных районах строили низкие бревенчатые дома с соломенными крышами. В южных жарких районах строили мазанки белого цвета, дома с верандами, лоджиями. В Прибалтике, в районах с большим количеством осадков, где летом преобладает пасмурная погода, строили дома с крутым уклоном крыш, большими свесами, остекленными верандами и высокими цоколями.

В зависимости от преобладающих погодных процессов были созданы определенные типы жилищ, которые стали традиционными для каждого народа и по существу отражают учет влияния на них местных природно-климатических условий. Поэтому строителям следует изучать опыт постройки народных жилищ в различных климатических районах и использовать его при планировке современных городов и при проектировании зданий.

Однако с развитием капитализма городские дома стали строить без учета санитарно-гигиенических требований. Особенно часто нарушали требования комфортности жилых помещений при постройке доходных домов, имеющих целью не создание благоприятных условий для жизни людей, а извлечение наибольшей выгоды.

Во второй четверти XX века архитекторы большое внимание уделяли внешнему эффекту. Они прежде всего стремились, чтобы дом

был красивым, мало учитывали влияние климата на здания и микроклимат помещений. По мнению американского архитектора Аронина, *«архитекторы перестали понимать всю важность влияния климата на архитектуру»*. С развитием средств сообщения, с расширением международных связей народы стали заимствовать друг у друга различные «стили», мало

думая о пригодности их в различных климатических условиях. В качестве примера оригинальной, но нелепой постройки часто приводят железнодорожный вокзал «Пенсильвания» в Нью-Йорке, имеющий форму римских терм. В северных районах США были построены дома с пристроенными к ним наружными лестницами высотой в два-три этажа. Зимой лестницы покрывало снегом и гололедом, затрудняя связь жителей домов с внешним миром.

В результате увлечения модой архитекторами в некоторых северных городах СССР были построены дома с балконами и лоджиями. Эти летние помещения зимой заносит снегом, а летом они мешают проникновению солнечного света в квартиры.

В середине XX века положение изменилось. Строители поняли необходимость учета климатических условий в процессе планирования и проектирования зданий. После Великой Отечественной войны в стране началось строительство с небывалым размахом. В 60-х годах прошлого века отношение строящейся жилой площади к числу жителей страны было вдвое больше, чем в США, Англии и Франции. На строительство зданий и различных сооружений ассигновали большие суммы, и правительство страны потребовало правильного, экономного расхода средств. Вместе с тем от строителей требовали создания наилучших условий для труда и жизни человека.

Учитывая большое разнообразие климатов страны и существенное влияние климатических факторов на сроки эксплуатации сооружений и на микроклимат внутри зданий, необходимо производить всесторонний учет климатических условий каждого географического района. Первые запросы советских строителей к климатологии были очень скромными. По государственным стандартам и строительным нормам можно проследить историю развития строительной климатологии в стране.

1930 год. Изданы «Правила и нормы застройки населенных», в которых были даны указания об учете отношения световой площади к площади пола в жилых зданиях в зависимости от их ориентации в различных широтах. Даны нормы уклонов крыш. Проведено районирование территории РСФСР по снеговой нагрузке на крыши.

1934 год. Первое деление территории СССР по климатическим

условиям для целей строительства в «Основных строительных нормах». Выделено четыре района (или пояса): северный, средний, южный и субтропический. Требования к устройству жилищ в зависимости от района ограничивали толщину стен зданий: в первом районе — не менее 2½ кирпича, во втором — 2 кирпича, в третьем и четвертом — 1½ кирпича.

1938 год. В Нормах уточняют ориентировку жилых комнат в квартирах с учетом широты. Впервые приведены расчетные температуры, по которым определяли величину требуемого сопротивления теплоотдаче наружных стен.

1948 год. Изданы «Нормы проектирования жилых зданий». Территория СССР разделена на пять климатических поясов: холодный, умеренный, умеренно-холодный, теплый и жаркий.

В 30-х и 40-х годах XX века выявилась сложность учета влияния климата на строительные объекты, возникла необходимость в проведении лабораторных и натурных наблюдений по изучению влияния климата на различные объекты.

1954 год. В главе «Жилые здания» СНиП территория СССР разделена на четыре района и три подрайона.

1958 год. В «Нормах проектирования жилых зданий» число подрайонов увеличено до пяти, сформулированы санитарно-гигиенические требования к жилищам в различных районах. Районирование проведено по средним температурам воздуха за январь и июль. Приведены данные по снеговому и ветровому нагрузкам.

1962 год. Климатические показатели выделены в отдельную главу СНиП «Строительная климатология и геофизика».

1966 год. Изданы «Указания по определению гололедных нагрузок».

1972 год. Переиздана глава СНиП «Строительная климатология и геофизика». В нее вошли уточненные и новые климатические показатели.

1982 год. В СНиП «Строительная климатология и геофизика» внесены изменения и уточнения.

2000 год. Выделена глава СНиП «Строительная климатология», введены климатические характеристики холодного и теплого периодов года.

Перечень климатических показателей, вошедших в СНиП «Строительная климатология» приведен в таблице 1.

Расчетные нормативы определяют по вероятностным значениям, причем обеспеченность (вероятность) задана в зависимости от проектируемой длительности эксплуатации сооружения. Так, температура наружного воздуха в СНиП [1] приведена обеспеченностью 0,98 и 0,92.

Таблица 1 — Основные климатические показатели

№ п/п	Показатели
<i>Температура воздуха и почвы</i>	
1	Средняя по месяцам
2	Средняя за год
3	Абсолютная температура воздуха
4	Температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92
5	Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее хо-
6	лодного месяца
7	Продолжительность периода со средней суточной температурой
8	воздуха $\leq 8^{\circ}\text{C}$
9	Средняя температура воздуха, периода со средней суточной темпе-
10	ратурой воздуха $\leq 8^{\circ}\text{C}$
8	Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого ме-
9	сяца
9	Абсолютная максимальная температура воздуха
10	Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее тепло-
10	го месяца
<i>Влажность воздуха</i>	
1	Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее хо-
2	лодного месяца
2	Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее теп-
2	лого месяца
<i>Осадки</i>	
1	Количество осадков за ноябрь — март
2	Количество осадков за апрель — октябрь
3	Суточный максимум осадков
<i>Ветер</i>	
1	Преобладающее направление ветра за декабрь — февраль
2	Преобладающее направление ветра за июнь — август
<i>Солнечная радиация</i>	
1	Количество тепла, поступающего от прямой, рассеянной и суммар-
2	ной радиации на горизонтальную поверхность
2	Количество тепла, поступающего от прямой, рассеянной и суммар-
2	ной радиации на вертикальную поверхность

Тема 2 Основные характеристики климата и их значение при проектировании

2.1 Основные климатические характеристики

Строительная климатология предусматривает учет климата при решении архитектурно-строительных задач, составление климатических характеристик района строительства с целью выявления благоприятных и неблагоприятных для человека факторов климата.

Климат страны разнообразен, многообразны его воздействия на человека, на формирование среды обитания. Климат влияет на долговечность зданий — длительность их эксплуатации, что определяют способностью противостоять климатическим воздействиям. Чтобы обезвредить отрицательные факторы климата и использовать положительные, необходимо, изучив климат района строительства, выбрать наиболее подходящие строительные материалы, известным образом реагирующие на мороз или жару, повышенную или пониженную влажность, стойкие против коррозии и т.п.; определить планировку здания, обеспечивающую наибольший комфорт для человека.

Показатели климата можно разделить на две группы — общие и специальные.

К общим показателям климата относят: температуру (t , °C), влажность (ω , %), перемещение воздуха (v , м/с), солнечную радиацию (P , Вт/м²).

Температура — один из важнейших климатических элементов. В таблице 2 приведены температурные шкалы и их связь.

Таблица 2 — Температурные шкалы

Наименование	Обозначение	Абсолютный ноль	Связь шкал
Цельсия	°C	-273 °C	—
Кельвина	°K	0 °K	1 °K = 1 °C
Реомюр	°R	218 °R	1 °R = 5/4 °C
Фарингейт	°F	523,4 °F	1 °F = 5/9 °C
Ранкин	°Ra	0 °Ra	1 °Ra = 5/9 °C

Температура в рабочее время дня $t_{cp}^{дн}$ зависит от средней температуры климата за отдельные месяцы года $t_{cp}^{мес}$ и средней амплитуды колебаний температуры Δt_n в течении суток и имеет наибольшее значение для тепловой характеристики.

С учетом теплового воздействия на человека выделены следующие виды погоды:

- холодная (ниже плюс 8 °C);
- прохладная (плюс 8—плюс 15 °C);
- теплая (плюс 16—плюс 28 °C);

- жаркая (выше плюс 28 °С);
- очень холодная (ниже минус 12 °С);
- очень жаркая (выше плюс 32 °С).

Продолжительность характерных видов погоды в течение года определяет основные черты климата, которые влияют на конструктивные и архитектурные решения зданий.

Долговечность здания зависит от состояния основных его частей — фундамента, несущих стен или каркаса, ограждающих конструкций. Под переменным воздействием тепла и холода материалы конструкций разрушаются. Интенсивнее разрушение происходит при быстрой смене температур и особенно при перепадах температуры с переходами через 0° С.

Поэтому при проектировании зданий учитывают:

- расчетную температуру наиболее холодных суток и пяти суток;
- амплитуды колебаний температуры воздуха — суточные, месячные, годовые.

Влажность воздушной среды существенно влияет на влажностное состояние конструкций. Для определения влажностного режима используют следующие показатели.

Абсолютная влажность ω , г/м³, — количество влаги в граммах, содержащееся в 1 м³ воздуха, при данных температуре и давлении воздуха.

Парциальное давление (упругость) водяного пара e , Па, — давление газа или пара, находящегося в смеси с другими газами — дает представление о количестве водяного пара, содержащегося в воздухе.

Состояние полного насыщения воздуха водяными парами называют *стан насыщения* W , г/м³. Стан насыщения постоянен при заданной температуре и давлении воздуха.

Предельное значение парциального давления E , Па, соответствует полному насыщению воздуха водяными парами.

Значения E для воздуха с различной температурой приведены в таблице 3.

С повышением температуры воздуха величины E и W увеличиваются.

Относительная влажность воздуха φ характеризует степень насыщения воздуха водяным паром; может быть определена как отношение абсолютной влажности к влажности воздуха в стане насыщения при постоянной температуре и давлении

$$\varphi = \frac{\omega}{W} 100 \% . \quad (1)$$

Относительная влажность воздуха также может быть определена

как отношение абсолютного парциального давления к парциальному давлению в стане насыщения

$$\varphi = \frac{e}{E} 100 \% . \quad (2)$$

Таблица 3 — Значения максимального парциального давления водяного пара (при атм. давлении 100415 Па)

Для температур от 0 до -40 °С							
°С	Е, Па	°С	Е, Па	°С	Е, Па	°С	Е, Па
0	609	-10	259	-20	102	-30	37
-1	567	-11	237	-21	93	-31	33
-2	525	-12	217	-22	85	-32	31
-3	484	-13	198	-23	77	-33	27
-4	442	-14	181	-24	69	-34	25
-5	400	-15	165	-25	63	-35	23
-6	367	-16	150	-26	56	-36	20
-7	336	-17	137	-27	51	-37	17
-8	309	-18	125	-28	45	-38	16
-9	283	-19	113	-29	41	-39	14
-	-	-	-	-	-	-40	12
Для температур от 0 до +40 °С							
°С	Е, Па	°С	Е, Па	°С	Е, Па	°С	Е, Па
0	609	10	1225	20	2328	30	4229
1	656	11	1311	21	2495	31	4540
2	704	12	1396	22	2663	32	4850
3	754	13	1496	23	2830	33	5161
4	811	14	1596	24	2998	34	5471
5	870	15	1703	25	3165	35	5782
6	932	16	1809	26	3378	36	6093
7	1025	17	2078	27	3591	37	6403
8	1070	18	2203	28	3803	38	6714
9	1145	19	2242	29	4016	39	7024
-	-	-	-	-	-	40	7335

Величина φ влияет на интенсивность испарения влаги с любых увлажненных поверхностей.

По величине φ различают *влажностный режим* помещений:

- сухой ($\varphi < 50\%$);
- нормальный ($\varphi = 50 \div 60\%$);
- влажный ($\varphi = 61 \div 75\%$);
- мокрый ($\varphi > 75\%$).

С повышением температуры воздуха относительная влажность φ понижается, величина парциального давления e остается постоянной, а

величина E увеличивается, так как теплый воздух может быть более насыщен парами влаги, чем холодный.

При понижении температуры относительная влажность φ возрастает, может достигнуть 100 % и при некоторой температуре может оказаться $E = e$. Наступает состояние полного насыщения воздуха водяным паром. Температуру, при которой наступает полное насыщение воздуха водяным паром, называют *температурой точки росы* t_d . При дальнейшем понижении температуры воздуха внутри помещения t_{int} избыток влаги переходит в жидкое состояние — конденсирует и в капельно-жидком виде оседает на ограждении.

Во избежание конденсации водяного пара на внутренней поверхности ограждения ее температура должна быть выше точки росы.

Например. Температуре внутреннего воздуха $t_{int} = +18$ °C соответствует парциальное давление пара $E = 2203$ Па (см. таблицу 3). При относительной влажности воздуха $\varphi = 50\%$ парциальное давление пара определяют по формуле

$$e_{int} = \frac{E \cdot \varphi}{100} = \frac{2203 \cdot 50}{100} = 1101,5 \text{ (Па)}.$$

Методом интерполяции по таблице 3 определяют температуру, соответствующую $e_{int} = 1101,5$ Па.

°C	E, Па
8	1070
9	1145

$$8 + \frac{(1101,5 - 1070) \cdot 1}{1145 - 1070} = 8,42 \text{ (°C)}.$$

Это и есть температура точки росы $t_d = 8,42$ °C.

Величина φ влияет на процессы конденсации влаги в толще и на поверхности ограждения, на влагосодержание материала ограждения.

Повышенная влажность воздуха ухудшает эксплуатационные качества конструкций, уменьшает срок их пригодности и отрицательно влияет на микроклимат помещений. При проектировании производят расчет возможного увлажнения, образования конденсата на поверхности или в толще ограждения.

По сочетанию температуры и влажности воздуха определяют *комфортность условий* в помещениях. Требования к условиям комфортности установлены в санитарно-гигиенических нормах с учетом климатического района строительства. Это объясняется особенностями влияния климата на организм человека в различных условиях. В районах с холодной зимой для нормализации теплового состояния человека в жилище требуется более высокая температура в помещении, чем в

теплых районах.

В зависимости от климата, соотношения температур и влажности наружного воздуха и внутри помещения, перемещение водяного пара через ограждение происходит наружу или внутрь помещений.

Например, в Москве в течение года температура наружного воздуха (таблица 4) редко превышает температуру внутри помещения (плюс 18 °С), преобладает тепловой поток наружу. Абсолютная влажность воздуха 50-60 % внутри помещений большую часть года выше, чем снаружи, следовательно, преобладает движение водяного пара из помещения наружу. В качестве меры, предупреждающей конденсационное увлажнение ограждений, в Москве предусматривают гидроизоляционный слой ближе к внутренней стороне стены (к наиболее влажной зоне ограждения).

Таблица 4 — Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С

Город	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Москва	-10,2	-9,2	-4,3	4,4	11,9	16,0	18,1	16,3	10,7	4,3	-1,9	-7,3	4,1
Белгород	-8,5	-6,4	-2,5	7,5	14,6	17,9	19,9	18,7	12,9	6,4	0,3	-4,5	6,4

Нельзя автоматически переносить профилактические меры из одного района в другой, без учета особенностей климата, а именно, температуры и влажности воздуха.

Количество выпадающих осадков и их интенсивность имеют большое значение при проектировании гидротехнических сооружений и наземных путей сообщения. В СНиП [1] приведены данные о влажности и осадках (таблица 5).

Влияние осадков на ограждения зданий существенно. При дождях с сильным порывистым ветром стены увлажняются. В холодное время года влага перемещается внутрь конструкции от более холодных и влажных слоев к более теплым и сухим.

Если ограждения легкие, влага может достигать внутренней поверхности стены. Если стены массивные, влага не проникает внутрь помещения, но такие стены медленно высыхают, а при понижении температуры влага внутри конструкций замерзает и разрушает стены. Разрушение ускоряют оттепели. Более вредное действие оказывают морозящие длительные осадки, чем интенсивные, непродолжительные в виде крупных капель. Мелкие капли удерживаются на поверхности и впитываются материалами. Крупные капли скатываются со стен под действием силы тяжести.

Осадки (дождь, таяние снега) увеличивают влажность грунта, повышают уровень грунтовых вод. Это опасно для зданий возможностью вспучивания грунта, затоплением подземной части здания.

Количество выпадающего снега увеличивает нагрузку на крыши зданий. При проектировании покрытий учитывают возможность интенсивных снегопадов, создающих кратковременную нагрузку.

Ветер оказывает непосредственное воздействие на здания. От направления и скорости воздушных потоков зависит температурно-влажностный режим территории. От скорости ветра зависит теплоотдача зданий. Ветровой режим влияет на планировку, ориентацию зданий, размещение промышленной и жилой зоны, направление улиц.

Таблица 5 — Влажность и осадки

Город	Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца, %	Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч. наиболее холодного месяца, %	Количество осадков за ноябрь – март, мм	Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %	Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч. наиболее теплого месяца, %	Количество осадков за апрель – октябрь, мм	Суточный максимум осадков, мм
Москва	84	77	201	70	56	443	61
Белгород	84	84	191	66	52	362	83

Например. В Сибири и на Урале внутренняя поверхность наружной стены, расположенной перпендикулярно холодному ветру, несколько холоднее, чем при штиле. В Мурманске зимой в квартирах, окна которых выходят на юг, холоднее, чем в ориентированных на север, потому что южный ветер там оказывается более холодным. В условиях жаркого климата расположением комнат можно добиться сквозного проветривания квартир, т.е. ветер улучшает микроклимат жилища. Во влажных районах ветер ускоряет просушивание ограждений, таким образом, увеличивая долговечность зданий.

Лучистая энергия Солнца (солнечная радиация) создает естественное освещение земной поверхности. *Солнечную радиацию* можно определить как количество энергии на единицу поверхности, Вт/м².

Спектр солнечной радиации состоит из ультрафиолетовых лучей (около 1 %), видимых лучей, которые светят (около 45 %), и инфракрасных лучей, которые греют (около 54 %).

Земной поверхности достигает лишь часть солнечной радиации: прямая, рассеянная и отраженная (рисунок 2).



Рисунок 2 — Солнечная радиация: 1 — прямая; 2 — рассеянная; 3 — отраженная

Количество суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации приведено в СНиП [1] для горизонтальных и вертикальных поверхностей.

Облучение какой либо поверхности прямыми солнечными лучами называют *инсоляцией*. Инсоляцию территории или помещения измеряют продолжительностью в часах, площадью облучения и глубиной проникновения солнечных лучей в помещение.

Положительное действие инсоляции определяют бактерицидные свойства солнечных лучей и тепловое воздействие.

Количество солнечной радиации также зависит от широты района строительства, времени года и имеет максимальную интенсивность в летний период (рисунок 3).

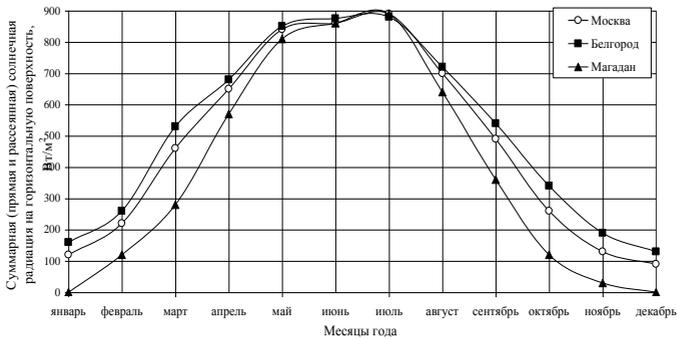


Рисунок 3 — Сравнение интенсивности солнечной радиации

От количества приходящей солнечной радиации зависит нагрев стен и температура внутри помещений. При открытых окнах в помещение поступает тепла столько же, сколько и на стены. При закрытых окнах часть радиации отражают стекла, часть поглощают стекла и оконные переплеты. При одинарном остеклении через окно проникает около половины падающей радиации (41—58 %), при двойном остеклении —

около 1/3 радиации (23—40 %).

Рассматривая влияние солнечной радиации на здание, следует учитывать поглощательную способность различных материалов, которая зависит от их цвета и состояния. В таблице 6 приведена поглощательная способность различных материалов.

Подобрав соответствующие материалы и нужные цвета для ограждений здания, можно изменить величину радиации, поглощаемую стеной, уменьшить или увеличить нагрев конструкций солнечным теплом.

Таблица 6 — Поглощательная способность материалов

Наименование материала	Характеристика поверхности	Цвет поверхности	Поглощенная радиация, %
<i>Стены</i>			
Кирпич неоштукатуренный: глиняный силикатный Кирпич оштукатуренный	Новая	Красный	70—77
	Новая	Светлый	40—55
	Гладкая	Белый	30
	Гладкая	Розовый	50
	Гладкая	Светло-желтый	47
Панель: бетонная оштукатуренная	Шероховатая	Темно-розовый и светло-бежевый	70
	Шероховатая	Коричневый	90
	Гладкая	Белый	30
	Гладкая	Светло-голубой	55
	Гладкая	Темно-серый	70—72
Гранит	Полированная	Серый	85
Мрамор	Чисто отесанная	Светло серый	65
	Отесанная	Белый	55
<i>Кровля</i>			
Рубероид Оцинкованная сталь Черепица		Темно-коричневый	88
		Светло-серый	65
		Светло-красный	60

Необходимо учитывать, что стены разной ориентации в разное время суток нагреваются неодинаково, при этом их температура на 15—20°C выше температуры окружающего воздуха. Кроме того, возникают большие контрасты между температурами стен здания. Такое возможно и в холодное время года в некоторых районах.

В результате нагрева в стенах возникают температурные напряжения, которые сравнимы по своей величине с другими нагрузками и следует учитывать при проектировании.

2.2 Климатическое районирование для строительства

Климат нашей страны разнообразен. При районировании территории страны для строительства учитывали основные климатические показатели — температура и влажность воздуха, скорость ветра, количество поступающей солнечной радиации.

На рисунке 4 приведена карта климатического районирования территории.

От климатических характеристик зависит любое проектное решение, начиная с выбора места для населенного пункта, архитектурно-планировочное решение зданий и сооружений, конструктивные решения ограждающих конструкций, до разработки защитных мероприятий, направленных на создание благоприятных условий для труда, быта и отдыха человека.

2.3 Учет климатических факторов при проектировании зданий и населенных мест

Создание наиболее благоприятных условий для труда, быта и отдыха человека при современном уровне техники может быть обеспечено в любых климатических условиях при соответствующих системах отопления, освещения, кондиционировании воздуха. Архитектурные сооружения становятся совершенно независимыми от внешних условий. Однако такие решения нецелесообразны и экономически невыгодны.

При этом в современном жилищном строительстве в понятие жилища включают квартиру, дом, улицу, квартал, населенный пункт — город, поселок, село. Проектирование отдельных зданий связано с планировкой населенного пункта в целом.

Учет климатических условий начинают с выбора места для населенного пункта.

При решении архитектурно-планировочных задач необходимо учесть не только влияние климата на застройку, но и предусмотреть активное воздействие человека на климат, по возможности предусмотреть улучшение микроклимата путем создания садов, парков, водоемов и т.п.

Температуру воздуха учитывают при разработке:

- объемно-планировочного решения здания (габариты и размещение помещений);
- конструктивного решения зданий (материал и толщина ограждений, вид остекления);
- технического обеспечения (отопления, вентиляция и др.).

Влажность воздуха и *осадки* влияют:

- на выбор места строительства;
- на конструктивное решение ограждающих конструкций (материал, толщина, наличие и размещение гидроизоляционных слоев);
- на разработку защитных мероприятий (отвод воды);
- на выбор инженерного оборудования (отопление, вентиляция, кондиционирование).

Перемещение воздуха (ветер) влияет на:

- планировку зданий;
- **этажность зданий**;

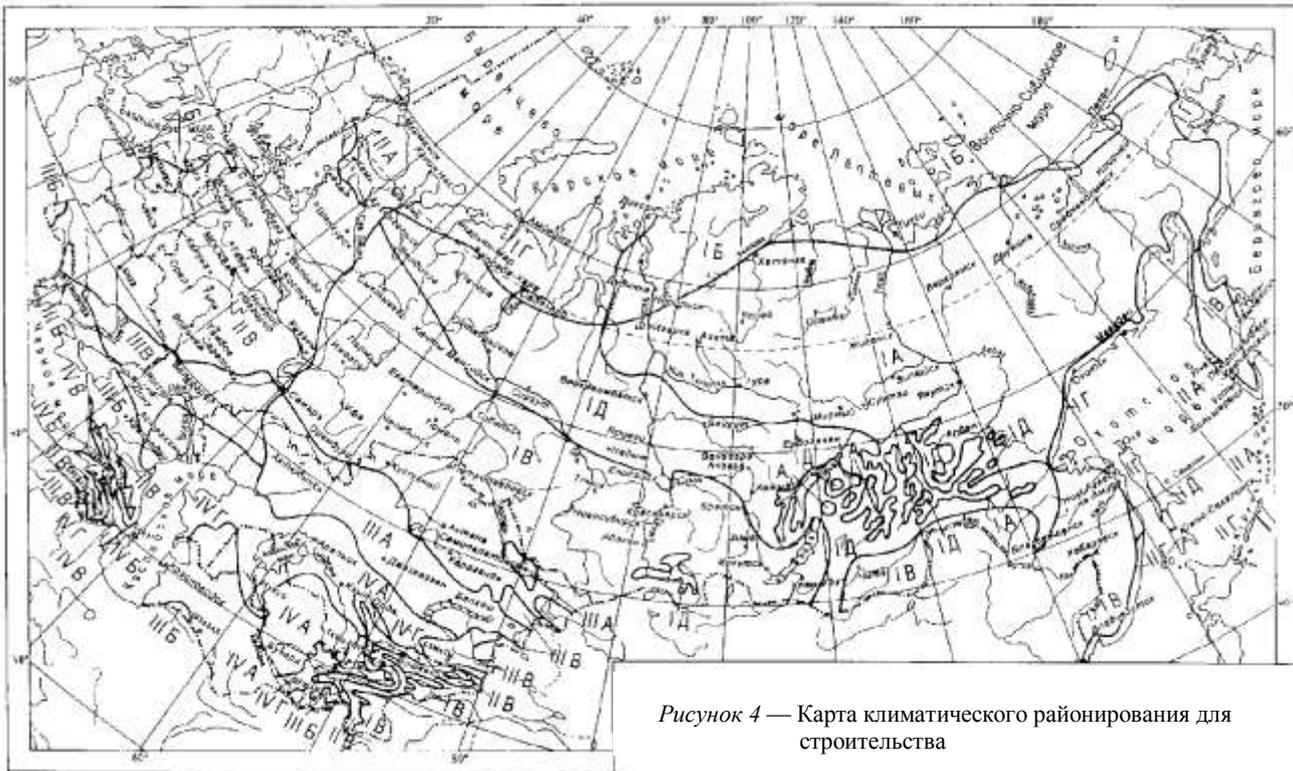


Рисунок 4 — Карта климатического районирования для строительства

- ориентацию зданий;
- размещение промышленной и жилой зон населенных мест;
- планировку населенных мест (направление улиц);
- конструктивное решение зданий.

Солнечную радиацию и инсоляцию учитывают при разработке:

- объемно-планировочного решения зданий (наличие балконов, лоджий, веранд, эркеров и др.);
- конструктивного решения зданий (материал, толщина ограждений, заполнение оконных проемов);
- отделки (качество поверхности, цвет);
- планировки территорий (затенение здания другими зданиями);
- ориентации здания по сторонам света.

ВЫВОДЫ к разделу 1.

Здания и их ограждающие конструкции подвергаются различным климатическим воздействиям, которые осложняют обеспечение комфортного теплового режима в помещениях, а также нормальных условий эксплуатации зданий и их ограждающих конструкций. Поэтому в неблагоприятных климатических условиях необходимо предусматривать специальные мероприятия, ограничивающие интенсивность климатических воздействий и повышающие защитные свойства наружных конструкций зданий. Эти вопросы рассматривает строительная климатология.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные климатические характеристики.
2. Назовите типы температурных шкал.
3. Дайте определения показателей: абсолютная влажность, относительная влажность, температура точки росы, парциальное давление, стан насыщения воздуха водяными парами.
4. Охарактеризуйте влияние температуры на долговечность здания.
5. Как влияет влажность на долговечность здания?
6. Охарактеризуйте влияние осадков на здание.
7. Дайте определение солнечной радиации и инсоляции.
8. Какие климатические факторы учитывают при разработке объемно-планировочного решения зданий?
9. Какие климатические факторы влияют на выбор ограждающих конструкций здания?
10. Какие климатические факторы влияют на планировку населенных мест?

ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОТЕХНИКИ

Строительная теплотехника (теплофизика) изучает процессы теплопередачи, воздухопроницаемости и влажностного режима ограждающих конструкций, разделяющих воздушные среды с отличающимися температурой, влажностью и скоростью перемещения воздуха.

Основная задача строительной теплофизики — обоснование рационального выбора ограждающих конструкций, удовлетворяющих требованиям обеспечения в помещениях благоприятного микроклимата для деятельности или отдыха человека.

Ц е л я м и изучения данной темы являются:

– получение знаний о теплозащитных свойствах зданий и конструкций;

– получение знаний и навыков методов расчета ограждающих конструкций, обеспечивающих необходимую теплозащиту помещений.

Изучив тему, студент должен з н а т ь и у м е т ь :

– применять методы строительной теплотехники;

– пользоваться нормативной литературой.

Изучая тему, необходимо акцентировать внимание на следующих понятиях: *теплопередача, теплопроводность, тепловой поток, коэффициент теплопроводности, термическое сопротивление, сопротивление теплопередаче, слой резких колебаний температур, температурный перепад, градусо-сутки отопительного периода, удельный расход тепловой энергии, теплоустойчивость, коэффициент теплоусвоения, тепловая инерция, воздухопроницаемость, тепловой напор, ветровой напор, инфильтрация, эксфильтрация, сопротивление воздухопроницанию, аэрация, гигроскопическая влага, конденсационная влага, сопротивление паропроницанию, плоскость возможной конденсации.*

Тема 3 Теплозащитные свойства ограждения

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

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

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

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

3.1 Передача тепла через ограждения

На ограждение, постоянно подвергающееся различным климатическим воздействиям, с одной стороны действует температура наружного воздуха, с другой стороны — температура внутреннего воздуха. Из-за отсутствия теплового равновесия внутри конструкции происходит перемещение тепла из более нагретой среды через ограждение в менее нагретую среду, в результате чего изменяется температура в толще конструкций (рисунок 5). Этот процесс называют *теплопередача* или *теплообмен*.

Для твердых строительных материалов, имеющих капиллярно-пористую структуру, основным видом теплопередачи является *теплопроводность*, т.е. теплообмен между частицами тела, находящимися в непосредственном соприкосновении друг с другом.

Интенсивность теплопередачи посредством теплопроводности называют *тепловым потоком* Q .

При рассмотрении процесса перехода тепла через однородное ограждение от внутреннего воздуха к наружному следует различать три этапа: тепловосприятие — теплопроницание через ограждение — теплоотдача.

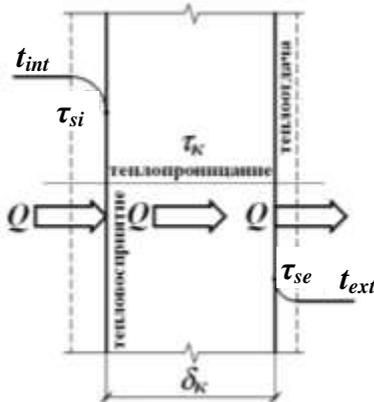


Рисунок 5 — Процесс теплопередачи

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

$$Q = (\tau_{si} - \tau_{se}) \frac{\lambda}{\delta} F \cdot z, \quad (3)$$

- где τ_{si} и τ_{se} — температура внутренней и наружной поверхности ограждения, °С;
 λ — коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м · °С);
 δ — толщина ограждения, м;
 F — площадь ограждения, м²;
 z — время передачи тепла, час.

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

Коэффициент теплопроводности — одна из основных характеристик строительных материалов. В таблице 7 для сравнения приведены коэффициенты теплопроводности различных материалов.

Коэффициент теплопроводности материалов зависит от:

- пористости (плотности) материала;
- структуры материала;
- влажности материала;
- вида взаимосвязи влаги с материалом;
- температуры;
- химико-минералогического состава материала.

Таблица 7 — Сравнение коэффициентов теплопроводности материалов

Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · °С)	Материал				
	Пенопласт	Гранит	Сталь	Алюминий	Медь
λ	0,04	3,5	58	220	383

Чем меньше пористость материала, образуемая относительно мелкими порами, т.е. чем больше плотность материала, тем больше его коэффициент теплопроводности (таблица 8).

Таблица 8 — Теплопроводность кирпича различной плотности

Плотность, кг/м ³	1200	1800
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · °С)	0,4	0,6

Вода обладает высоким коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, поэтому увлажнение материалов и тем более образование в них льда ($\lambda = 2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$) увеличивает теплопроводность.

Коэффициент теплопроводности зависит от природы материала, его химического состава и особенностей кристаллической структуры. В металлах значительная часть тепла переносится потоком электронов. Чем выше электропроводность металла, тем больше его теплопроводность (медь, алюминий). Теплопроводность камневидных материалов вызвана волнами тепловых упругих колебаний структуры. Чем тяжелее атомы или атомные группы, образующие кристаллы в структуре материала, и чем слабее они между собой связаны, тем меньше теплопроводность материала.

Расчетные величины теплофизических показателей основных строительных материалов приведены в строительных нормах и правилах [3—5].

3.2 Теплотехнический расчет ограждающих конструкций при установившемся потоке

Основная задача теплофизического расчета конструкций — придание ограждениям необходимых теплозащитных качеств, показателем которых является *термическое сопротивление* R .

Термическое сопротивление однородного слоя зависит от его толщины и коэффициента теплопроводности материала и может быть определено по формуле

$$R = \delta / \lambda, \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт} . \quad (4)$$

Численно термическое сопротивление равно разности температур на противоположных поверхностях ограждения, при которой через каждый 1 м^2 ограждения в течение 1 ч проходит тепловой поток, равный 1 ккал .

При проходе теплового потока через ограждение падение температуры происходит не только в материале, но и у поверхностей ограждения (рисунок 6). При этом общий температурный перепад* $t_{int} - t_{ext}$ складывается из трех частных перепадов:

$t_{int} - \tau_{si}$ — у внутренней поверхности ограждения;

$\tau_{si} - \tau_{se}$ — в толще ограждения;

$\tau_{se} - t_{ext}$ — у наружной поверхности ограждения.

Такое падение температуры свидетельствует о наличии дополнительных термических сопротивлений переходу тепла от внутреннего воздуха к внутренней поверхности ограждения и от наружной поверх-

ности ограждения к наружному воздуху. Это *сопротивление теплоотдаче* обозначают R_{int} и R_{ext} , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

*Здесь и далее применены обозначения соответствующие СНиП 23-02-2003.

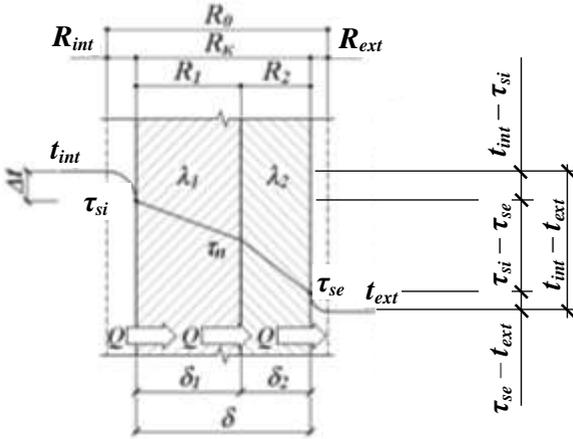


Рисунок 6 — Теплопередача при установившемся режиме

В расчетах используют обратные величины:

α_{int} — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций (или коэффициент тепловосприятия), $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$;

α_{ext} — коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающих конструкций, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$;

$$R_{int} = 1 / \alpha_{int}, \quad R_{ext} = 1 / \alpha_{ext}. \quad (5)$$

Общие величины сопротивления теплопередаче ограждения однослойного

$$R_o = \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{ext}}; \quad (6)$$

многослойного

$$R_o = \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{ext}} \quad (7)$$

3.3 Расчет толщины ограждения

На основе закономерности теплопередаче при установившемся режиме тепловой поток Q , Вт/м², проходящий за 1 секунду через 1 м² ограждения, определяют по формуле

$$Q = (t_{int} - t_{ext}) / R_o . \quad (8)$$

Тепловой поток Q , Вт/м², проходящий через внутреннюю поверхность ограждения, определяют по формуле

$$Q = (t_{int} - \tau_{si}) / R_{int} . \quad (9)$$

Левые части этих уравнений равны, т.к. тепловой поток при установившемся потоке одинаков в любом сечении ограждения.

Поэтому

$$(t_{int} - t_{ext}) / R_o = (t_{int} - \tau_{si}) / R_{int} , \quad (10)$$

$$R_o = (t_{int} - t_{ext}) \cdot R_{int} / (t_{int} - \tau_{si}) . \quad (11)$$

Основным нормируемым показателем принят *температурный перепад* $(t_{int} - \tau_{si}) = \Delta t_o$. *Нормируемый температурный перепад* Δt_n между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждения зависит от назначения здания и вида ограждения [3, 5], имеет большое санитарно-гигиеническое значение. Температурный перепад устанавливают во избежание появления конденсата водяных паров на поверхности ограждения, а также излишнего охлаждения тела человека. Человек в жилом помещении чувствует себя комфортно, с точки зрения температуры, в том случае, если температура внутренней поверхности стен зимой не более , чем на 3°С ниже, а летом не более, чем на 3 °С выше температуры воздуха в помещении. Для стен Δt_n допускается большим, чем для потолков и полов, в противном случае возникают токи холодного воздуха вниз. Значительные перепады температур понижают комфортность помещений.

Теплообмен через ограждения, не соприкасающиеся непосредственно с наружным воздухом (например, чердачные перекрытия, перекрытия над холодными подвалами), отличается от условий теплообмена с наружным воздухом. Поэтому введен поправочный безразмерный коэффициент n , зависящий от положения наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху [3, 5].

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции R_o должно быть больше или равно величине, при которой ограждение будет удовлетворять теплотехническим требованиям, называемой *приведенным сопротивлением теплопередаче* R_{req} .

Для проектирования ограждающих конструкций строительными нормами установлено минимальное или требуемое сопротивление теплопередаче R_{req} .

Требуемые значения R_{req} определяют исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий по формуле и условий энергосбережения [3].

Формула для определения требуемого сопротивления имеет вид

$$R_{req} = n \cdot (t_{int} - t_{ext}) / \Delta t_n \cdot \alpha_{int}, \quad (12)$$

где n — коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху;

t_{int} — расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

t_{ext} — расчетная температура зимнего наружного воздуха, °С, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92;

Δt_n — нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции;

α_{int} — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций.

Для определения R_{req} из условий энергосбережения введена величина D_d (*градусо-сутки отопительного периода*) [3, 5], определяемая по формуле

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) \cdot z_{ht}, \quad (13)$$

где t_{ht} — средняя температура, °С, периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной 8 °С [1];

z_{ht} — продолжительность, сут., периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной 8 °С [1].

В строительных нормах [3, 5] приведены минимальные сопротивления теплопередаче ограждений в зависимости от назначения зданий и помещений и района строительства, учитываемого градусо-сутками отопительного периода.

При расчетах влажностного режима ограждений, определении возможности образования конденсата требуется знать распределение температуры в толще конструкции. Из уравнения (10) могут быть получены формулы для определения температуры на внутренней и наружной поверхностях ограждения

$$\tau_{si} = t_{int} - (t_{int} - t_{ext}) \cdot R_{int} / R_o, \quad (14)$$

$$\tau_{se} = t_{int} - (t_{int} - t_{ext}) \cdot (R_{int} + R_k) / R_o . \quad (15)$$

Температуру на внутренней поверхности любого слоя многослойного ограждения, считая от внутренней поверхности, определяют по формуле

$$\tau_n = t_{int} - (t_{int} - t_{ext}) \cdot (R_{int} + \Sigma R_i) / R_o . \quad (16)$$

где R_i — сопротивление теплопередаче слоев ограждения, расположенных между внутренней поверхностью и расчетной плоскостью в толще ограждения (см. рисунок 6).

3.4 Расчет толщины многослойного ограждения с воздушной прослойкой

Эффективным средством теплозащиты в ограждении является воздушная прослойка. Однако воздушная прослойка эффективна при неподвижном состоянии воздуха, т.е. герметичной прослойке, что в ограждающих конструкциях неисполнимо. Строительные материалы пористы, конструкции имеют неплотности, в результате прослойка вентилируется. При толщине прослойки более 50 мм усиливается циркуляция воздуха, термическое сопротивление воздушной прослойке $R_{a.l.}$ снижается. На рисунке 7 приведены графики зависимости термического сопротивления воздушной прослойки $R_{a.l.}$ от ее толщины $\delta_{a.l.}$ при горизонтальном и вертикальном положении прослойки.

Сопротивление теплопередаче рассчитываемой конструкции определяют по формуле

$$R_o = \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + R_{a.l.} + \frac{1}{\alpha_{ext}} . \quad (17)$$

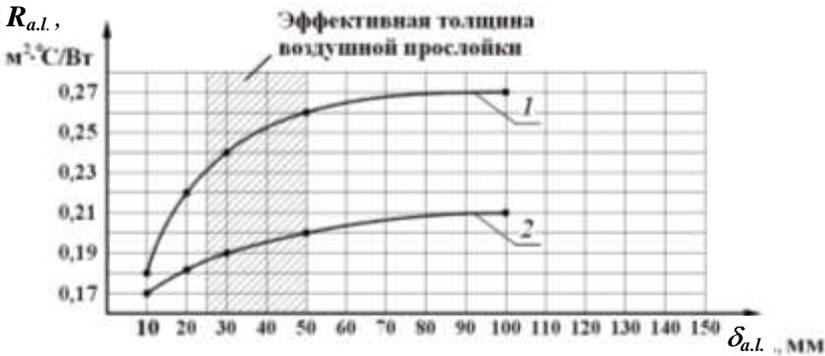


Рисунок 7 — Зависимость термического сопротивления воздушной прослойки от ее толщины: 1 — при вертикальном расположении; 2 — при горизонтальном расположении

3.5 Расчет толщины ограждения с включениями

При проектировании ограждающих конструкций иногда приходится вводить в конструкцию включения, например, железобетонные или металлические колонны фахверковых стен; железобетонные или металлические колонны, заглубленные в кирпичные стены и т.п. Железобетон и металл имеют большую теплопроводность, чем кирпич, и в местах их расположения в ограждении создаются условия для интенсивного прохода холода, образования «мостика холода», или образования конденсата. Предупредить местное промерзание позволяют конструктивные приемы, показанные на рисунке 8.

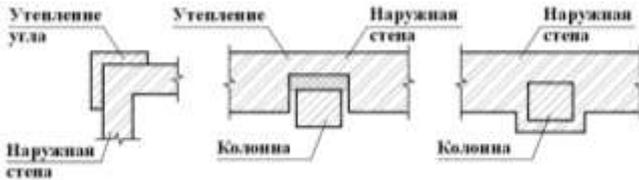


Рисунок 8 — Конструктивные приемы по предупреждению промерзания

Для определения сопротивления теплопередаче ограждения R_o с включениями следует применить приближенное значение коэффициента теплопроводности λ (18), а расчет толщины ограждения выполнять как для однослойной конструкции.

$$\lambda = \frac{V_1 \cdot \lambda_1 + V_2 \cdot \lambda_2 + \dots + V_n \cdot \lambda_n}{V}, \quad (18)$$

где V_1, V_2, \dots, V_n — объемы включений, м^3 ;

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ — коэффициенты теплопроводности включений;

V — объем конструкции с включениями, м^3 .

3.6 Графический метод определения температур внутри ограждения

Практика показывает, что для выполнения ряда теплотехнических расчетов важное значение имеет определение не только температуры наружной и внутренней поверхности ограждающей конструкции, но и температура любой точки в толще ограждения. Эта задача проще решается графическим способом.

На произвольно принятой горизонтальной прямой отложить последовательно в одинаковом масштабе сопротивление тепловосприятию R_{int} , термическое сопротивление каждого из слоев конструкции R_i , сопротивление теплоотдаче R_{ext} . Сумма составит общее сопротивление теплопередаче R_o . На вертикальной линии отложить температуру внутреннего воздуха (положительную) — вверх от оси, и наружного (отрицательную) — вниз. Полученные точки соединить прямой линией. Рядом вычертить в масштабе схему ограждающей конструкции и перенести температуры, соответствующие границам слоев.

Распределение температур в слоистом ограждении имеет характер ломаной линии (рисунок 9).

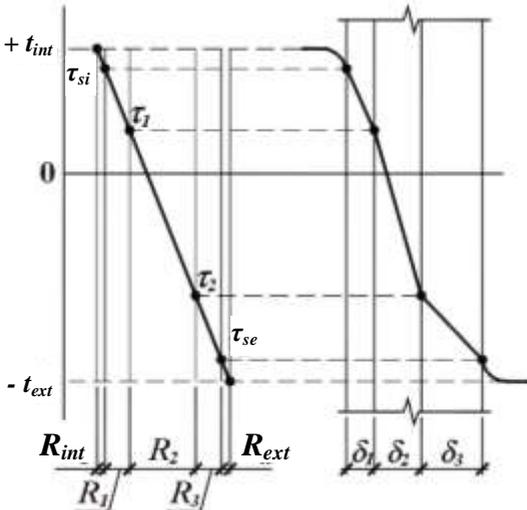


Рисунок 9 — Графический метод определения температур в толще ограждения

3.7 Тепловая защита зданий

Требования к повышению тепловой защиты зданий и сооружений, основных потребителей энергии, рассматривают с точки зрения охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов, уменьшения выделения вредных веществ в атмосферу.

Одновременно с созданием эффективной тепловой защиты принимают меры по повышению эффективности инженерного оборудования зданий.

Строительные нормы [3, 5] устанавливают требования к тепловой защите в целях экономии энергии при обеспечении санитарно-гигиенических и оптимальных параметров микроклимата помещений, а также долговечности ограждающих конструкций; предусматривают введение показателя энергетической эффективности здания — *удельный расход тепловой энергии на отопление на отопление здания* q_h^{des} с учетом воздухообмена, теплопоступлений и ориентации зданий; устанавливают правила оценки по показателям энергетической эффективности при проектировании, строительстве и эксплуатации: $q_h^{des} \leq q_h^{red}$.

Тема 4 Обеспечение защитных свойств ограждения

4.1 Передача тепла через ограждения в нестандартных условиях.

Теплоустойчивость ограждений

Температура наружного воздуха в течение суток не постоянна. Колебания температуры наружного воздуха вызывают колебания температуры воздуха внутри помещения. Изменения температуры постоянно действуют на ограждения. Вследствие периодических колебаний внутренней и наружной температуры установлены дополнительные требования к ограждению: обеспечение минимального колебания температуры на внутренней поверхности ограждения в целях обеспечения комфортных условий в помещении.

Свойство ограждающей конструкции сохранять относительное постоянство температуры на внутренней поверхности ограждающих конструкций при периодических колебаниях температуры наружной поверхности называют *теплоустойчивостью* ограждения.

Теплоустойчивость ограждения зависит от *теплоусвоения* его поверхности, т.е. свойства внутренней поверхности ограждения воспринимать тепло при периодических колебаниях теплового потока или температуры воздуха, которое характеризует коэффициент теплоусвоения материала S , $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

Коэффициент теплоусвоения S материала показывает способность ограждения площадью 1 м^2 усваивать теплоту за единицу времени при температурном перепаде 1° .

Значение коэффициента теплоусвоения S внутренней поверхности ограждения из однородного материала значительной толщины зависит от коэффициента теплопроводности λ , удельной теплоемкости c , плотности материала γ , а так же от периода колебания теплового потока z .

В таблице 9 приведены коэффициенты теплоусвоения некоторых материалов.

Таблица 9 — Коэффициенты теплоусвоения

Коэффициент теплоусвоения, Вт/(м ² ·°С)	Материалы			
	Сталь	Гранит	Минеральная вата	Пенопласт
S	125,7	24,9	0,64	0,26

С изменением температуры на поверхности ограждения связаны ее колебания внутри ограждения. Каждому моменту времени соответствует своя волнообразная кривая распределения температуры в слоях ограждения, смещенная по отношению к предыдущей кривой (рисунок 10). Амплитуда колебаний температуры в толще ограждения затухает по мере удаления от наружной поверхности. Расстояние между двумя максимумами или минимумами волны называют *длиной волны* l .

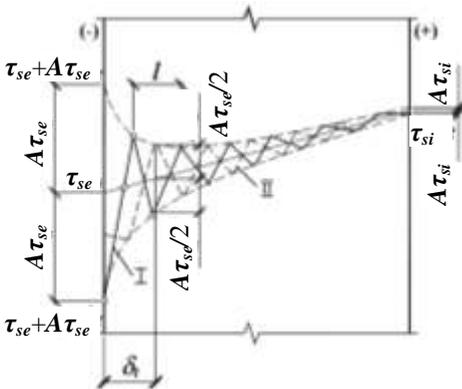


Рисунок 10 — Схема колебаний температуры внутри ограждения

При этом в ограждении есть *слой резких колебаний температур* δ_t , где происходит изменение температуры примерно в 2 раза

$$\delta_t = \lambda / S. \quad (19)$$

Например. Слой резких колебаний для кирпича: для периода 24 часа — 0,084 м; для периода 12 часов — 0,06 м.

4.2 Инерционность ограждающих конструкций

Для теплозащиты зданий большую роль играет способность конструкции накапливать тепловую энергию и отдавать ее в период понижения температуры внутреннего воздуха.

Свойство ограждения сохранять или медленно изменять распределение температуры внутри конструкции называют *инерционность* (прежнее название *массивность*) ограждающей конструкции и характеризуют величиной *тепловой инерцией*.

Количество температурных волн I , размещающихся в толще ограждения, пропорционально показателю тепловой инерции, который служит критерием оценки степени затухания температурных колебаний, называют *условной толщиной ограждения* (рисунок 11).

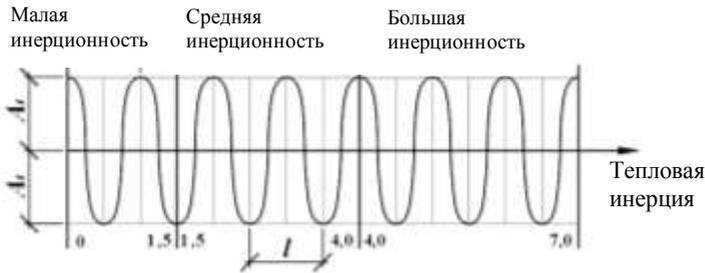


Рисунок 11 — К определению показателя тепловой инерции

Чем больше тепловая инерция, тем труднее изменить первоначальное состояние ограждения.

Например, кирпичные стены долго сохраняют свою «летнюю» температуру и не чувствительны к резким и кратковременным перепадам температур наружного воздуха в осенний период. Чтобы получить нормальные условия после отключения системы отопления в весенний период, промерзшие кирпичные стены надо очень долго прогревать. Поэтому летом в кирпичных домах бывает прохладно. Легкие ограждающие конструкции быстро прогреваются на всю толщину летом и быстро охлаждаются зимой, что вызывает недопустимые колебания температуры внутренней поверхности, а следовательно, и температуры внутреннего воздуха.

Наружные стены с тепловой инерцией менее 4 в районах со среднемесячной температурой июля 21°C и выше в летний период года подвергаются не только колебаниям температуры наружного воздуха в те-

чение суток, но и активно нагреваются солнечными лучами в дневное время. Поэтому требуется расчет теплоустойчивости ограждающих конструкций [3, 5].

4.3 Воздухопроницаемость ограждений

Из-за разности давления холодного и теплого воздуха образуется воздушный поток, т.е. перемещение холодного наружного воздуха через ограждение в сторону помещения. Фильтрация холодного воздуха в помещение через ограждения происходит постоянно через открытые поры в материалах, через неплотности швов и стыков конструкций, через неплотности оконных и дверных проемов. В помещении образуется *воздухообмен*.

Разность давлений воздуха, возникающую из-за разности температур наружного и внутреннего воздуха, называют *тепловым напором*. Разность давлений воздуха, возникающую под действием ветра, называют *ветровым напором* (рисунок 12).

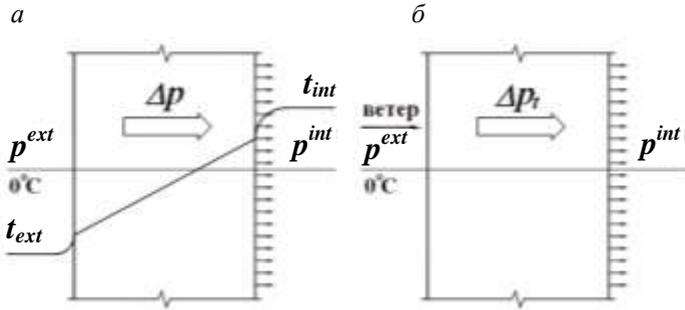


Рисунок 12 — Схема воздухопроницания через ограждение:
а — из-за разности температур; б — под действием ветра

В нижней части помещения (или нижних этажах здания) происходит приток наружного холодного воздуха внутрь помещения — *инфильтрация*, а в верхней части (или верхних этажах) — вытяжка теплого воздуха из помещений наружу — *эксфильтрация*. Положение нейтральной зоны зависит от расположения и площади открытых приточных и вытяжных проемов (рисунок 13).

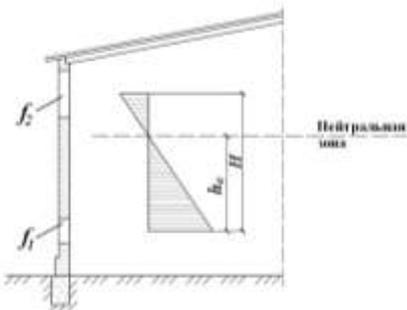


Рисунок 13 — Положение нейтральной зоны в помещении с учетом влияния приточных и вытяжных проемов

Зимой инфильтрация сильна при больших перепадах внутренней и наружной температур, летом инфильтрация возрастает при большом ветре. В помещении создается неорганизованный воздухообмен, который ощущается в виде потоков холодного воздуха. При незначительных объемах он удаляет излишнюю влагу из ограждения и уменьшает влажность внутреннего воздуха. Повышенная инфильтрация вызывает дискомфортные ощущения у людей и сильно охлаждает помещение.

Под *воздухопроницаемостью* наружных конструкций понимают фильтрацию сквозь ограждения внутрь помещения холодного воздуха, возникающую при разности давлений на противоположных поверхностях конструкции (см. рисунок 12, а).

Сопrotивление воздухопроницанию R_{inf}^{des} — это разность давлений воздуха, при которой через ограждающие конструкции площадью 1 м^2 за 1 час проникает 1 кг воздуха.

Сопrotивление воздухопроницанию слоев ограждающих конструкций, расположенных между наружной поверхностью конструкции (стены, покрытия) и воздушной прослойкой, вентилируемой воздухом, не учитывают. Сопrotивление воздухопроницанию воздушных прослоек и слоев ограждающих конструкций, выполняемых из сыпучих, рыхлых и волокнистых материалов, принимают равным нулю независимо от толщины слоев.

Воздухопроницаемость ограждения зависит от наличия в материале крупных пор, сообщающихся между собой, а так же влагосодержания. При наличии жидкой влаги в капиллярах воздухопроницаемость при умеренной разности давлений уменьшается. В многокомпонентных материалах, например, шлакобетоне, из-за наличия микроскопических трещин в местах контакта компонентов воздухопроницаемость выше (рисунок 14).

Воздухопроницаемость ограждающих конструкций существенно зависит от качества работ (например, заполнения швов кладки раствором), от плотности поверхностных слоев.

а

б

в

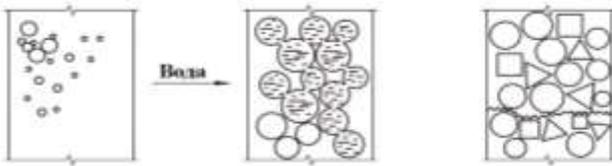


Рисунок 14 — Воздухопроницаемость ограждений: *а* — имеющих крупные сообщающиеся поры; *б* — то же, содержащих влагу; *в* — в многокомпонентных материалах

Для уменьшения воздухопроницаемости слоистых стен применяют прокладки (картон, строительная бумага) под наружным слоем ограждения, производят наружную штукатурку или облицовку, выполняют расшивку швов кладки (рисунок 15).

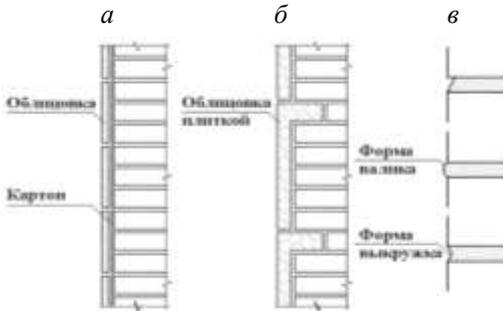


Рисунок 15 — Конструктивные мероприятия уменьшения воздухопроницаемости стен: *а* — облицовка с прокладкой; *б* — облицовка; *в* — обработка швов кладки расшивкой

4.4 Аэрация

Аэрацией называют организованный и управляемый (регулируемый) воздухообмен.

Воздухообмен при проветривании помещений через форточки и фрамуги в окнах является управляемым, но неорганизованным, поскольку нельзя регулировать объем поступающего и выходящего воздуха, зависящий от ветра, разности температур и других случайных факторов.

Замедлить воздухообмен можно, используя вместо форточек вентиляционные каналы.

Форточки и вентиляционные каналы применяют для воздухообмена в гражданских зданиях, где не происходит вредных выделений.

Для промышленных зданий со значительным тепловыделением, выделением дыма, газа или других вредных примесей воздухообмен имеет важное значение. В основном в промышленных зданиях предусматривают приточно-вытяжную вентиляцию с механическим побуждением. При этом система управляемых приточных и вытяжных отверстий допускает регулировку количества подаваемого и извлекаемого воздуха в зависимости от температуры, направления и скорости ветра.

Действие аэрации основано на тепловом подпоре, возникающем в результате разности температур внутреннего и наружного воздуха, и на перепаде высот приточных отверстий, располагаемых в нижней зоне. Приточные отверстия предусматривают в окнах в виде фрамуг, открывающихся и закрывающихся механически. Вытяжные отверстия находятся в самой верхней зоне помещения и проектируют в виде аэрационных или светоаэрационных фонарей (рисунок 16).

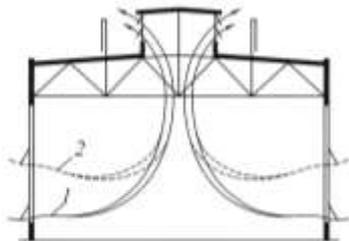


Рисунок 16 — Схема аэрации промышленного здания для летнего (1) и зимнего (2) времени

4.5 Влажностный режим ограждений

В толщу ограждения влага попадает во время кладки с раствором, а в дальнейшем происходит увлажнение атмосферной влагой, влагой внутреннего воздуха, грунтовой влагой. Для защиты стен от атмосферной влаги наружные поверхности штукатурят или облицовывают. Для защиты стен от грунтовой влаги устраивают в цокольной части гидроизоляцию.

При эксплуатации зданий существует два вида увлажнения: *гигроскопическая влага*, поглощаемая пористым материалом из окружающего воздуха, и *конденсационная влага*, образующаяся на внутренней поверхности стен и появляющаяся при конденсации в ограждениях во-

данных паров воздуха. Степень насыщения воздуха водяным паром определяет *относительная влажность φ* .

Наблюдать действие гигроскопической влаги можно на примере стен, выполненных из силикатного кирпича. При большой влажности воздуха такие стены темнеют, так как кирпич впитывает влагу. Влага нарушает структуру материала и его прочность, поскольку при замерзании влага, находящаяся в конструкции, увеличивается в объеме, создавая внутреннее напряжение в материале (рисунок 17).

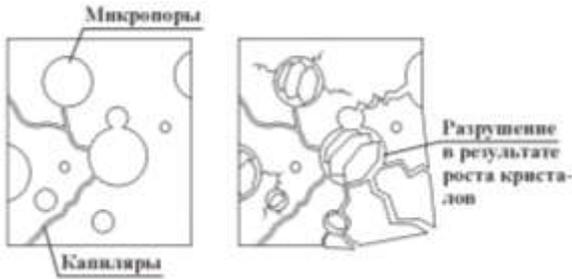


Рисунок 17 — Схема разрушения конструкций, содержащих гигроскопическую влагу

Растворенные во влаге агрессивные вещества, проникая в конструкцию, вызывают коррозию не только металлических конструкций и арматуры в железобетоне, но и кирпича, бетона.

При увлажнении материалов снижается коэффициент теплопроводности ограждения, возрастает теплопередача и нарушается температурно-влажностный режим внутри помещения, что отражается на самочувствии людей. При высокой влажности и высокой температуре снижается возможность испарения, в помещении душно, трудно дышать. При очень низкой влажности и высокой температуре возникает не только ощущение жары, но и пересыхает слизистая оболочка, что так же ухудшает самочувствие. Нормативными для жизнедеятельности человека являются относительная влажность помещения от 50 до 60 % и температура воздуха 18–20°C.

Конденсат выпадает в первую очередь на более охлажденных поверхностях: в углах помещений, на более холодных стеклах окон.

Появление конденсата на внутренней поверхности стены можно предупредить увеличением сопротивления теплопередаче ограждения R_0 , за счет утолщения стен, средствами вентиляции или повышением температуры внутреннего воздуха. Для ликвидации запотевания внут-

ренных стекол окон достаточно увеличить воздухообмен, т.е. проветриванием снизить влажность воздуха в помещении. Если конденсат выпал на внутренней поверхности наружного стекла, следует ликвидировать доступ теплого и влажного воздуха в межстекольное пространство, заделав щели внутреннего переплета.

Если температура и влажность внутреннего воздуха очень высоки, конденсат может выпасть не только на внутренней поверхности ограждения, но и внутри его, происходит движение пара из помещения наружу — *диффузия водяного пара* (рисунок 18).

При проникании водяного пара через слой материала последний оказывает сопротивление, называемое *сопротивлением паропрооницанию* R_{vp} .

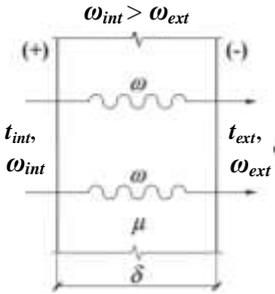
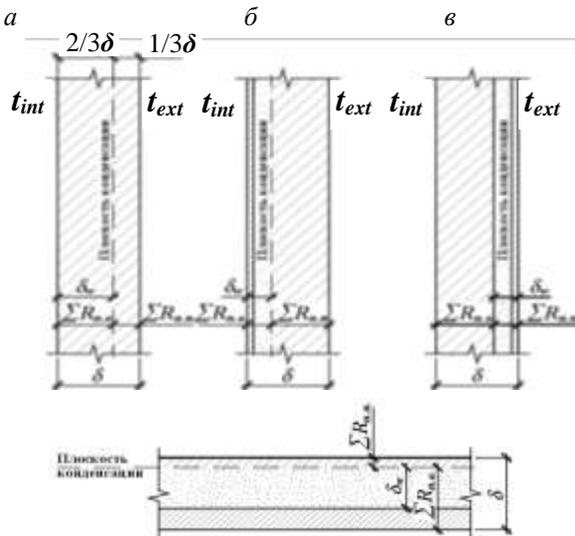


Рисунок 18 — Диффузия водяных паров через ограждение: ω_{ext} , t_{ext} — влажность и температура наружного воздуха; ω_{int} , t_{int} — то же, внутреннего воздуха; ω — количество влаги, проходящее через ограждение

Сопротивление паропрооницанию R_{vp} конструкции определяют в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации. *Плоскость возможной конденсации* однослойной конструкции располагается на расстоянии, равном $2/3$ толщины конструкции, а в многослойной совпадает с наружной поверхностью утеплителя. На рисунке 19 показаны вероятные плоскости возможной конденсации.



2

Рисунок 19 — Положение плоскости возможной конденсации: *a* — в однослойной стене; *b* — в стене, утепленной с наружи; *в* — в стене, утепленной внутри; *г* — в покрытии

Сопротивление паропроницанию воздушных прослоек в ограждении принимают равным нулю независимо от расположения и толщины прослоек.

Конденсация пара внутри ограждения снижает теплотехнические качества ограждения. При образовании конденсата между наружной штукатуркой и кладкой из пористого кирпича при отрицательных температурах наружного воздуха образуются ледяные линзы и происходит отслаивание наружной отделки стен (см. рисунок 17).

В покрытии плоскость возможной конденсации расположена под стяжкой или гидроизоляцией. Зимой замерзшая вода образует линзу льда, которая, увеличиваясь в объеме, отдирает гидроизоляцию или стяжку.

ВЫВОДЫ к разделу 2.

Строительная теплотехника рассматривает теплофизические процессы, протекающие в ограждающих конструкциях в условиях эксплуатации зданий, и устанавливает методы расчетов, дающие возможность разрабатывать конструктивные решения, обеспечивающие необходимую долговечность и высокие эксплуатационные качества ограждающих конструкций при наименьших строительных и эксплуатационных затратах.

Вопросы для самопроверки

1. Напишите закон Фурье.
2. Охарактеризуйте коэффициент теплопроводности λ .
3. Дайте определение термического сопротивления R .
4. Дайте определение общего сопротивления теплопередаче R_0 .
5. Дайте определение требуемого сопротивления теплопередаче R_{req} .
6. Сформулируйте порядок расчета толщины ограждения.

7. Правила построения графика распределения температур.
8. Как определить слой резких колебаний температур?
9. Что такое инерционность ограждения?
10. Дайте определение теплоустойчивости ограждения.
11. Как определить температурный перепад давлений?
12. Дайте определение сопротивления воздухопроницанию R_{inf}^{des} .
13. Дайте определение требуемого сопротивления воздухопроницанию R_{inf}^{req} .
14. Дайте определение сопротивления паропроницанию R_{vp} .

РАЗДЕЛ 3

ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ И АРХИТЕКТУРНОЙ АКУСТИКИ

Прикладная акустика состоит из двух частей — строительная и архитектурная акустика. *Строительная акустика* рассматривает вопросы звукоизоляции помещений, т.е. защиту помещений от внешних шумов, и вопросы снижения шума в помещениях, в которых находится источник шума. *Архитектурная акустика* исследует условия, обеспечивающие хорошую слышимость речи и музыки в помещениях, и разрабатывает архитектурно-планировочные и конструктивные решения, обеспечивающие эту слышимость.

Ц е л я м и изучения данной темы являются:

- получение знаний в области строительной и архитектурной акустики;
- получение знаний и навыков методов расчета ограждающих конструкций, обеспечивающих необходимую звукоизоляцию помещений.

Изучив тему, студент должен з н а т ь и у м е т ь :

- применять методы оценки изоляции от шума;
- пользоваться нормативной литературой.

Изучая тему, необходимо акцентировать внимание на следующих понятиях: *строительная акустика, архитектурная акустика, звук, звуковые волны, скорость звука, длина звуковой волны, частота колебаний, октава, период колебаний, сила (интенсивность) звука, порог слышимости, болевой порог, звуковое давление, интенсивность звукового давления, уровень силы звука, уровень звукового давления, шум, прямой звук, отраженный звук, воздушный шум, ударный шум, коэффициент отражения, коэффициент звукопроницаемости, структурный шум, звукоизоляция, гулкие помещения, глухие помещения, реверберация, время реверберации, стандартная реверберация.*

Тема 5 Звукоизоляция помещений

5.1 Общие понятия о звуке и его свойствах

Звук — это механические колебания воздуха, возникающие при колебаниях какого-либо тела (источника звука). Колебания распространяются в воздухе по всем направлениям в виде *звуковых волн* (рисунок 20), представляющих собой чередующиеся области уплотнения и разрежения. Скорость распространения звуковой волны и есть *скорость звука* c . Скорость звука различна в различных средах. Скорость звука в воздухе принимают равной 340 м/с, в воде — 1450 м/с, в стали — 5100 м/с.

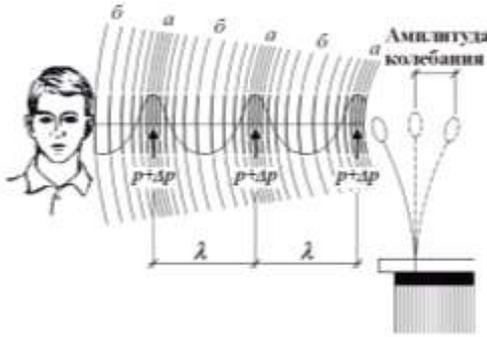


Рисунок 20 — Распространение звуковых волн в упругой среде:
a — уплотнение; *б* — разрежение; λ — длина звуковой волны

К основным физическим характеристикам звука относят следующие.

Длина звуковой волны λ — расстояние, на которое распространяется звуковая волна за время одного полного колебания, м, определяют, как отношение скорости звука к частоте колебаний

$$\lambda = c / f. \quad (20)$$

Частота колебаний f — число полных колебаний в течении единицы времени. Единица измерения частоты — Герц (Гц), равный одному колебанию в секунду.

Человек воспринимает звуки в диапазоне частот от 20 до 20000 Гц. Чем больше частота колебаний, тем короче длина волны. Интервал частот, ограниченный двумя частотами, из которых — верхняя вдвое больше предыдущей нижней, называют *октавой* (рисунок 21).

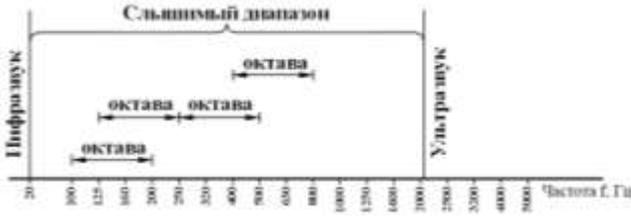


Рисунок 21 — Октавная полоса

Период колебания T — время в течении которого происходит одно полное колебание.

Сила (интенсивность) звука I — количество энергии, переносимое звуковой волной за 1 секунду через площадку в 1 см^2 (или м^2), перпендикулярную направлению движения звуковой волны. Единица измерения — $\text{Вт}/\text{см}^2$ или $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Минимальную силу звука ($1 \times 10^{-16} \text{ Вт}/\text{см}^2$), воспринимаемую человеческим ухом, называют *порогом слышимости*. Верхний предел силы звука ($1 \times 10^{-2} \text{ Вт}/\text{см}^2$), воспринимаемый как болевое ощущение, называют *болевым порогом*. Звуки одинаковой силы, но разной частоты, воспринимаются как различные по громкости. Эталон звука по частоте, равный 1000 Гц, служит количественной оценкой восприятия звука.

Звуковое давление P — переменное давление, возникающее при распространении звука вследствие колебательных движений частиц среды (рисунок 22). Единица измерения — $\text{Н}/\text{м}^2$ или Па.

$$P = P_n - P_{cp}, \quad (21)$$

где P_n — мгновенное значение полного давления в звуковой волне;

P_{cp} — среднее давление в данной точке при отсутствии звука.

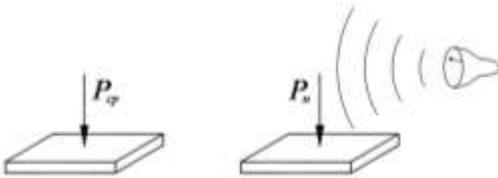


Рисунок 22 — Звуковое давление

Интенсивность звукового давления I — это мощность звукового излучения на единицу площади (рисунок 23). Единица измерения — Вт/м².

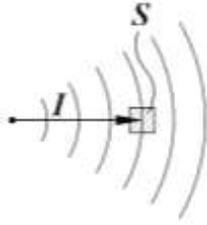


Рисунок 23 — Интенсивность звукового давления

Уровень силы звука L . По закону Вебера—Фехнера слуховое восприятие пропорционально не абсолютному изменению силы звука, а ее логарифму. В акустике для измерения силы звука используют логарифмический масштаб

$$L = \lg \frac{I}{I_0}, \quad (22)$$

где I — сила данного звука;

I_0 — сила звука на пороге слышимости.

Уровень звукового давления L_p — характеризует восприятие звука человеком

$$L_p = 20 \cdot \lg \frac{P}{P_0}, \quad (23)$$

где P — звуковое давление звука данной частоты;

P_0 — давление звука частотой 1000 Гц на пороге слышимости.

Единица измерения — Бел (Б), крупная единица, поэтому принята величина Децибел (дБ); 1 дБ = 10 Б.

Чем больше уровень силы звук, тем громче звук.

Уровни интенсивности звука не учитывают чувствительности слуха к звукам различной частоты и не дают правильного представления о громкости звука. Ухо человека обладает наибольшей чувствительностью на средних и высоких частотах (3200—4500 Гц) и наименьшей — на низких (500—100 Гц). Поэтому в акустике введено понятие *уровня громкости*, который выражают в Фонах.

5.2 Проникновение звука через ограждающие конструкции

Падающий на поверхность звук частично отражается, частично поглощается, частично проходит через перегородку (рисунок 24).

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

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

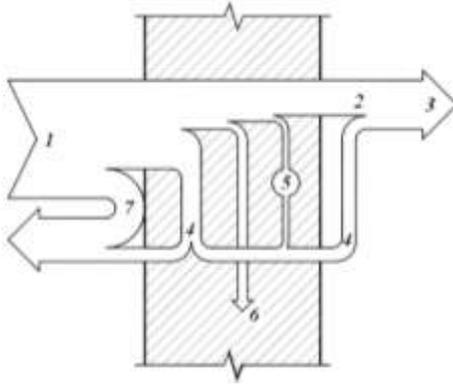


Рисунок 24 — Схема прохождения звука через ограждающую конструкцию: 1 — падающий звук; 2 — звук прошедший через щели и поры материала; 3 — суммарный звук, прошедший через конструкцию; 4 — звук, возникающий от колебания конструкции; 5 — звуковая энергия, трансформирующаяся в тепловую; 6 — структурный шум; 7 — отраженный звук

В зависимости от источника звука различают *воздушный* и *ударный* шумы. Воздушные шумы возникают и распространяются в воздухе (речь, музыка). Ударные звуки возникают непосредственно в материале ограждения при механическом воздействии на него (ходьба, передвижение грузов).

Коэффициенты отражения β и звукопроницаемости τ зависят от материала конструкции, частоты звуковых волн и угла падения на поверхность (рисунок 25).

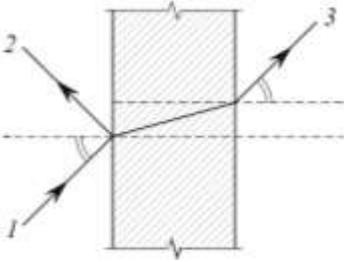


Рисунок 25 — Схема проникновения звука:

- 1 — падающий звук;
- 2 — отраженный звук;
- 3 — звук, проникающий сквозь преграду

На рисунке 26 показаны возможные пути передачи шума в здании. Пути передачи шума от источника в помещение могут быть *прямыми* и *косвенными*.



Рисунок 26 — Пути распространения шума в здании

Косвенная передача шума образуется при колебании ограждающих конструкций, вызываемом ударным или воздушным звуком. Такой шум называют *структурным*. Он особенно заметен в строительных конструкциях, жестко связанных с вибрирующими механизмами.

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

5.3 Звукоизоляция. Оценка звукоизоляции

Звукоизоляцией называют ослабление шума, обеспечиваемое ограждением.

Меры достижения звукоизоляции:

- достаточные звукоизолирующие качества ограждения;
- объемно-планировочные решения;
- конструктивные решения;
- размещение оборудования.

При изоляции от шума основное влияние оказывает то, насколько трудно падающей на конструкцию звуковой энергии привести ее в колебательное движение.

Звукоизоляция конструкции зависит от:

- поверхностной массы в $\text{кг}/\text{м}^2$;
- изгибной жесткости материала конструкции;
- частоты звука (количество колебаний в секунду);
- косвенной передачи звука через фланкирующие конструкции, такие как перекрытия, стены.
- неплотностей.

Расчет звукоизоляции внутренних стен и перегородок производят по *индексу изоляции воздушного шума R_w* , а междуэтажных перекрытий — по *индексу воздушного шума R_w* и *индексу приведенного уровня ударного шума L_{nw}* . Нормируемые значения индексов изоляции шума приведены в нормах [7].

Чтобы получить представление о достигаемой величине звукоизоляции, можно использовать субъективные ощущения в соседнем помещении, приведенные в таблице 10.

Таблица 10 — **Величина звукоизоляции и слышимость разговора и приборов**

В помещении с источником	В помещении с приемником	Требуемая величина звукоизоляции R_w , дБ, при базовом шуме в помещении с приемником в 30 дБ
--------------------------	--------------------------	--

Нормальный разговор	Хорошо понятный	35
Нормальный разговор	Еле слышный	40
Громкий разговор: радио, телевизор	Неразборчивый	45
нормальной громкости	Хорошо понятный	45
Громкий разговор: радио, телевизор	Слабо слышимый	50
нормальной громкости	Слабо слышимы	50
Нормальный разговор: радио, телевизор,	Не слышен	55
установленные на большую громкость	Еще еле слышен	55
Громкий разговор: радио, телевизор,	Не слышен	60
установленные на большую громкость	Не слышен	60

5.3.1 Графический метод определения звукоизоляции

Показатель изоляции от шума определяют сопоставлением расчетной частотной характеристики изоляции шума с оценочной (нормативной) кривой, параметры которых приведены в таблице 11.

Таблица 11 — Параметры оценочных кривых

Параметры	Среднегеометрические частоты третьоктавных полос f , Гц							
	100	125	160	200	250	315	400	500
Изоляция воздушного шума $R_{ш}$, дБ	33	36	39	42	45	48	51	52
Приведенный уровень ударного шума $L_{шв}$, дБ	62	62	62	62	62	62	61	60

Продолжение таблицы 11

	Среднегеометрические частоты третьоктавных полос f , Гц							
	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
$R_{ш}$, дБ	53	54	55	56	56	56	56	56
$L_{шв}$, дБ	59	58	57	54	51	48	45	42

На рисунке 27 приведена кривая нормативной (оценочной) частотной характеристики изоляции от воздушного шума.

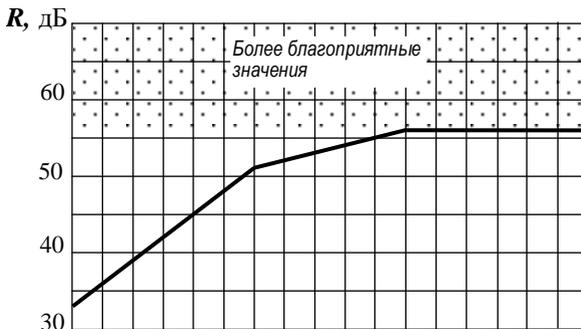




Рисунок 27 — Нормативная частотная характеристика изоляции от воздушного шума

Нормативная кривая выражает, что ухо человека более чувствительно к высоким частотам и ощущает их более мешающими, чем низкие частоты. Поэтому требования к величине звукоизоляции примерно до 400 Гц соответствуют ниже, чем при высоких частотах. Для высоких частот величина звукоизоляции должна быть больше.

Частотную характеристику изоляции воздушного шума однослойной ограждающей конструкции сплошного сечения с поверхностной плотностью от 100 до 800 кг/м² определяют, изображая ее в виде ломаной линии (рисунок 28).

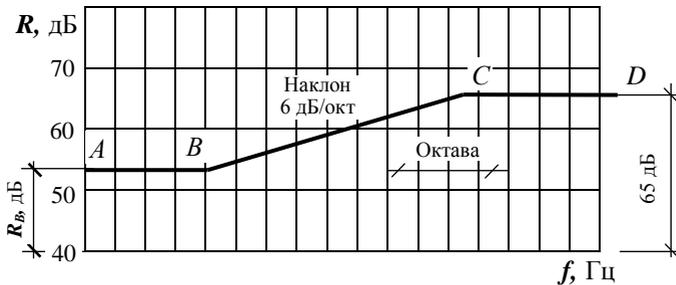


Рисунок 28 — Частотная характеристика изоляции воздушного шума однослойным плоским ограждением

Построение частотной характеристики производят в следующей последовательности.

На координатной сетке (см. рисунок 28) наносят точку B .

Абсциссу точки B — f_B определяют в зависимости от толщины и плотности материала конструкции по таблице 12 [7, таблица 8]. Значения f_B следует округлять до среднегеометрической частоты, в пределах

которой f_B находится. Границы третьоктавных полос приведены в таблице 13 [7, таблица 9].

Ординату точки В — R_B определяют в зависимости от эквивалентной поверхностной плотности $m_э$ по формуле

$$R_B = 20 \cdot \lg m_э - 12. \quad (24)$$

Эквивалентную поверхностную плотность $m_э$, кг/м², определяют по формуле

$$m_э = K \cdot m, \quad (25)$$

где K — коэффициент, учитывающий относительное увеличение изгибной жесткости ограждения из бетонов на легких заполнителях, поризованных бетонов; кладки из кирпича и пустотелых керамических блоков. по отношению к конструкциям из тяжелого бетона с той же поверхностной плотностью [6, таблица 10];

m — *поверхностная плотность* конструкции, кг/м²:

$$m = \gamma \cdot \delta, \quad (26)$$

где γ — плотность материала однослойного ограждения;

δ — толщина ограждения, м.

Из точки В влево откладывают горизонтальную прямую ВА, вправо от точки В проводят прямую ВС с наклоном 6 дБ на октаву до точки С. При этом изоляция воздушного шума R_C (ордината точки С) равна 65 дБ.

Координатную сетку с расчетной частотной характеристикой изоляции от воздушного шума совмещают с кривой нормативных показателей (см. рисунок 29).

Для определения индекса изоляции воздушного шума R_w необходимо определить сумму неблагоприятных отклонений данной частотной характеристики от оценочной кривой. Неблагоприятными считают отклонения вниз от оценочной кривой.

Таблица 12 — Частота f_B

Плотность бетона γ , кг/м ³	f_B , Гц
---	---------------

≥ 1800	2900/h
1600	3100/h
1400	3300/h
1200	3500/h
1000	3700/h
800	3900/h
600	4000/h
<i>Примечания.</i>	
1. h — толщина ограждения.	

мм.	50	45—56	630	562—707
2. Для промежуточных значений γ частоту f_B определяют интерполяцией.	63	57—70	800	708—890
	80	71—88	1000	891—1122
	100	89—111	1250	1123—1414
	125	112—140	1600	1415—1782
	160	141—176	2000	1783—2244
	200	177—222	2500	2245—2828
	250	223—280	3150	2829—3563
	315	281—353	4000	3564—4489
	400	354—445	5000	4490—5657
	500	446—561		

Таблица 13 — Границы 1/3-октавной полосы

Границы 1/3-октавной полосы	Среднегеометрическая частота 1/3-октавной полосы	Границы 1/3-октавной полосы
-----------------------------	--	-----------------------------

За величину индекса R_w принимают ординату смещенной (вверх или вниз) оценочной кривой в третьоктавной полосе со среднегеометрической частотой 500 Гц.

Если сумма неблагоприятных отклонений максимально приближается к 32 дБ, но не превышает эту величину, величина индекса R_w составляет 52 дБ.

Если сумма неблагоприятных отклонений превышает 32 дБ, оценочную кривую смещают вниз на целое число децибел так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений не превышала указанную величину.

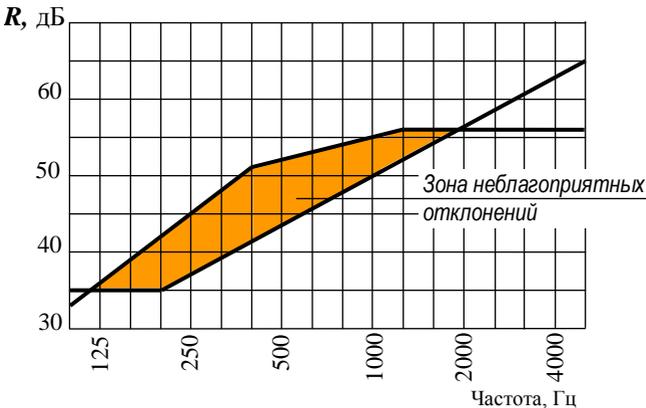


Рисунок 29 — Возможное положение кривых

Если сумма неблагоприятных отклонений значительно меньше 32 дБ или неблагоприятные отклонения отсутствуют, оценочную кривую смещают вверх (на целое число децибел) так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений от смещенной оценочной кривой максимально приближалась к 32 дБ, но не превышала эту величину.

5.4 Меры защиты от шума

Шумы различают:

1) по происхождению:

- бытовые;
- транспортные;
- техногенные;
- «социальные»;
- природные;

2) по частоте:

- низкочастотные до 300 Гц;
- среднечастотные до 8000 Гц;
- высокочастотные более 8000 Гц;

3) по интенсивности:

- I зона до 40 дБ — тихая зона;
- II зона 40—80 дБ — основные шумы;
- III зона более 80 дБ — высокоинтенсивные;

4) по «характеру»:

- непрерывные;
- прерывистые;
- кавитационные (тип сирены);
- ударные.

Защиту помещений от шума достигают совокупностью архитектурно-планировочных, конструктивных и эксплуатационных мер.

Архитектурно-планировочные меры защиты от шума являются самыми простыми и дешевыми. К ним относят мероприятия, предусмотренные в проектах городов и зданий.

Во-первых, зонировании территории, предполагающее удаленность промышленных предприятий от жилых районов (рисунок 30).

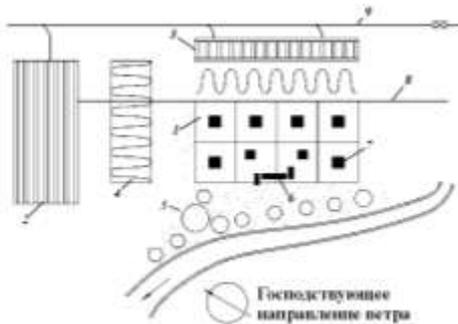


Рисунок 30 — Функциональное зонирование городской территории: 1 — сели-тебная зона; 2 — тяжелая промышленность; 3 — обрабатывающая промышленность; 4 — санитарно-защитная зона; 5 — зеленые насаждения; 6 — городской центр; 7 — общественный центр жилого района; 8 — городская магистраль; 9 — железная дорога

Во-вторых, упорядочение зон, т.е. размещение зон с учетом интенсивности шума (рисунок 31).

В-третьих, использование преград для распространения шума та-ких, как (рисунок 33):

- зеленые насаждения;
- использование природных формирований — рельеф;
- прием защиты дорог — дорога ниже уровня размещения зданий;
- ориентация здания.

Объемно-планировочные методы защиты от шума следующие:

- размещение с наименее шумной стороны наиболее уязвимых с точки зрения шума помещений (детская, спальня, кабинет) (рисунок 35);
- группирование шумовыделяющих помещений (лифтовые шах-ты, вентиляционные камеры и т.п. — рисунок 32; 34, б);
- устройство экранов между шумовыделяющими помещениями (см. рисунок 32);
- по возможности вынос источников шума за пределы здания (рисунок 34);
- рациональные габариты помещения (чем меньше и ближе к квадрату, тем меньше шум).

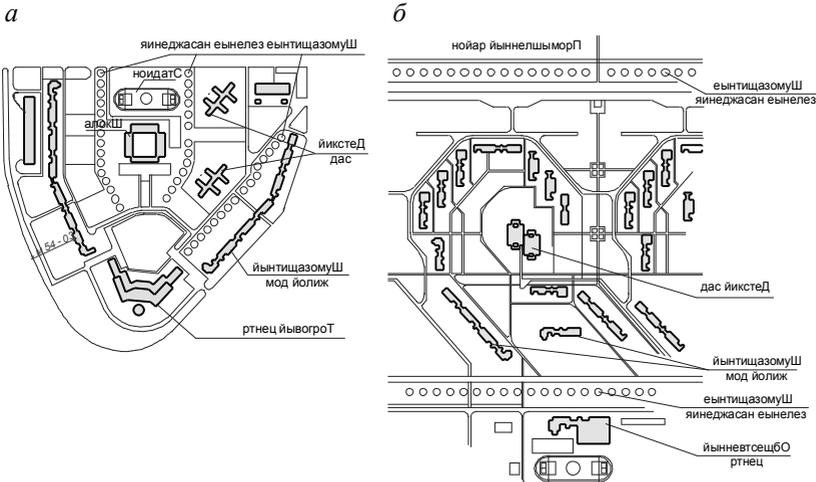


Рисунок 31 — Схема жилой застройки: а — закрытой системы планировки; б — с открытой планировкой



Рисунок 32 — Размещение шумовыделяющих помещений

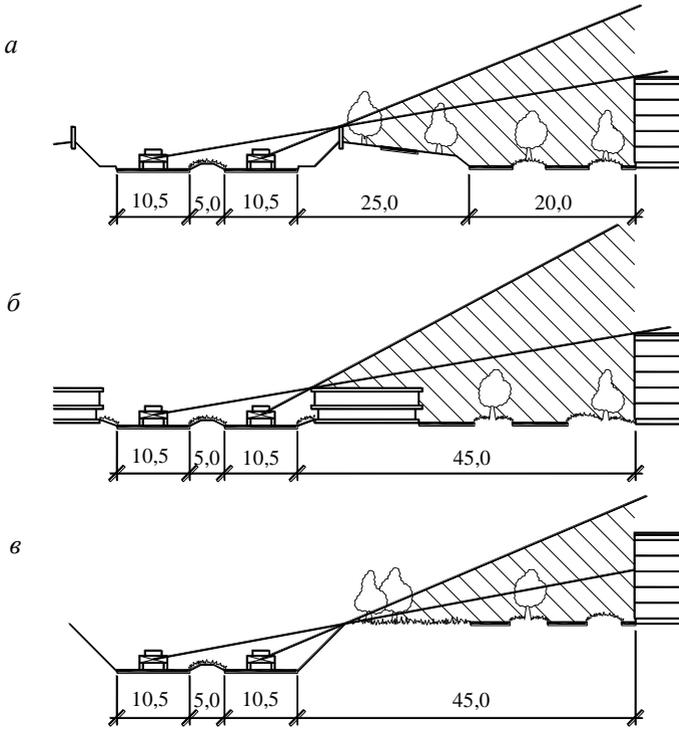


Рисунок 33 — Шумозащитные сооружения и устройства: а — экранная стенка; б — экранирующая малоэтажная застройка; в — размещение транспортного потока в выемке



Рисунок 34 — Примеры выноса источников шума за пределы зданий

- увеличением толщины стены $\delta_{ст.}$;
- повышением массы ограждения (чем больше вес ограждения, тем труднее привести его в колебание);
- подбором материала ограждения. Плотный материал (например бетон) отражает от своей поверхности до 99 %. При этом изолируя соседние помещения, внутри самого помещения такой материал увеличивает шум за счет многократного отражения звука. Для снижения уровня шума в помещении с источником шума целесообразно применять рыхлые, пористые материалы;
- применением многослойных конструкций, состоящих из двух слоев (стенок), разделенных воздушной прослойкой без жесткой связи между элементами ограждения. Звукоизолирующая способность отдельных конструкций лучше, если стенки имеют различную толщину или выполнены из разных по плотности и жесткости материалов. Воздух упруго воспринимает колебания одной стенки и передает их другой ослабленными.

Выбор мероприятий по звукопоглощению зависит от назначения и размеров помещений. Для снижения уровня шума применяют:

- поглощение звука пористыми материалами. При падении звуковых волн на поверхность материала, воздух в его порах начинает колебаться. При многократном отражении от стенок пор происходит потеря звуковой энергии, превращающейся в тепловую;
- «мембранное поглощение звука» конструкции со слоями различной звукопроницаемости, отдельные конструкции с воздушной прослойкой. В качестве «мембраны» (плит на откосе) используют гипсокартонные листы, древесностружечные и древесноволокнистые плиты, прибиваемые к деревянным рейкам (рисунок 36);

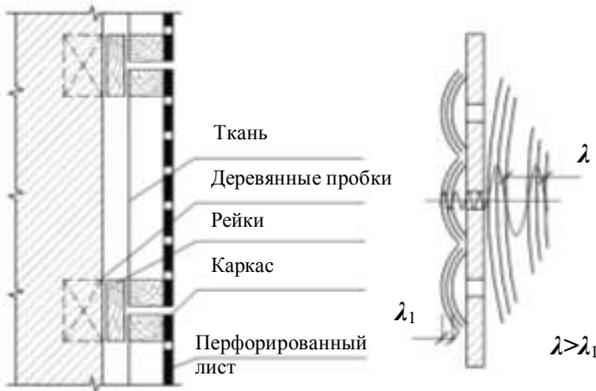


Рисунок 36 — Звукоизолирующая конструкция

– «перфорация» — перфорированная поверхность листовых материалов. К звукопоглощающим относят: акустические плиты, металлические плитки, металлические перфорированные листы (рисунок 36).

Тема 6 Архитектурная акустика

Основная задача архитектурной акустики — исследование условий, определяющих слышимость речи или музыки в помещениях, разработка архитектурно-планировочных и конструктивных решений, обеспечивающих оптимальные условия слухового восприятия.

Акустические свойства помещения определяются уровнями процессов отражения и поглощения звука. Для хорошей акустики необходимо обеспечить равномерное распределение звука в объеме помещения.

Акустическое качество помещений зависит: от формы помещения (рисунок 37 а, б); от размеров помещения; от профиля отдельных поверхностей, например, стен, потолка (рисунок 37 в, г, д, е); от применения и размещения звукопоглощающих материалов.

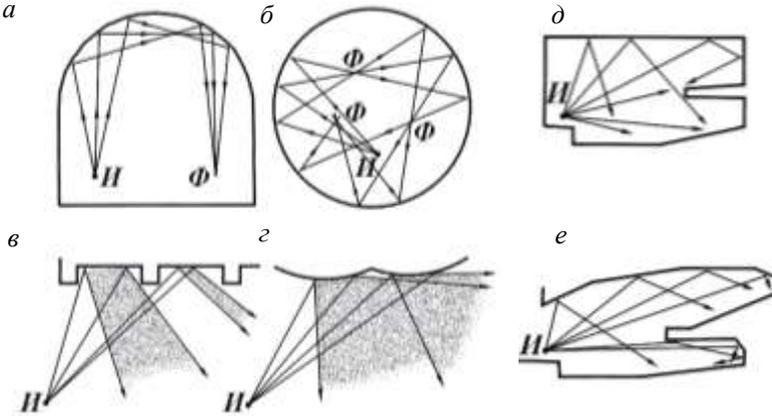


Рисунок 37 — Схемы к акустическим качествам помещений: а, б — распространение звука в сводчатом и круглом залах; в, г — отражение звука от поверхности с ребрами из жесткого профиля; д, е — распространение звука в зале с горизонтальным потолком и в зале со скошенными формами потолка и стен; И — источник звука; Ф — точка фокусирования

Существуют помещения, в которых звук получается полным, глубоким, продолжительным. Такие помещения называются *гулками*. Помещения, где звук быстро глохнет, называют *глухими*.

Одним из показателей акустических свойств помещений является *реверберация*. Время, в течение которого происходит затухание звука, называют *временем реверберации*. При небольшой реверберации звук становится громче, лучше проявляются нюансы звучания. При увеличении времени реверберации исчезает четкость речи, звук как бы налезает на звук. Эхо вызывается при еще большем увеличении времени реверберации.

Время реверберации зависит от мощности источника звука и акустических свойств помещения, характеристик которых является скорость затухания отраженного звука, называемая *стандартной реверберацией $T_{0,0,0}$* . Оптимальное время реверберации разное для помещений различного назначения.

ВЫВОДЫ к разделу 3.

Увеличивающиеся шумовые воздействия снаружи, повышенные шумовые воздействия изнутри здания заставляют строителей все больше уделять внимания защите от шума. Шумовые воздействия делают людей более чувствительными. Мероприятия по шумозащите в большинстве случаев не могут проводить после постройки здания. Часто они касаются основных вопросов проектирования и строительства здания. Строительная акустика исследует проблему передачи звука в зданиях, когда источник звука и воспринимающий звук человек находятся в разных помещениях. Акустика помещений занимается вопросами звукового воздействия на человека, находящегося в том же помещении, в котором возникает звук.

Вопросы для самопроверки

1. Какова природа звука.
2. Дайте определение длины, частоты, скорости звуковой волны, амплитуды колебаний, определение звукового давления, уровня звукового давления L .
3. Что такое интенсивность звука I ?
4. Как классифицируют шумы.
5. Охарактеризуйте объемно-планировочные методы борьбы с шумом.
6. Перечислите конструктивные методы борьбы с шумом.
7. Дайте определение индекса звукоизоляции R_w .
8. Последовательность расчета индекса звукоизоляции R_w .
9. В чем заключается расчет ограждения по условиям звукоизоляции.
10. Перечислите звукопоглощающие изделия.

ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ СВЕТОТЕХНИКИ

Светотехника является частью строительной физики, исследующей условия, определяющие создание оптимального светового режима в помещениях в соответствии с их назначением. При этом рассматривается только естественное освещение.

Задача строительной светотехники — решение физико-технических (освещение зданий и помещений) и психофизиологических (видимость и восприятие зданий и их элементов) вопросов.

Цели и изучения данной темы являются:

- получение знаний о влиянии света на архитектурные и конструктивные решения зданий;
- получение знаний и навыков обоснования целесообразных проектных решений планировки населенных мест, типов зданий;
- получение знаний и навыков определения формы, размеров и расположения световых проемов с целью лучшего освещения помещений естественным светом.

Изучив тему, студент должен **знать и уметь**:

- применять методику проектирования естественного освещения помещений;
- технику расчета естественного освещения помещений;
- пользоваться нормативной литературой (СНиП).

Изучая тему, необходимо акцентировать внимание на следующих понятиях: *спектральный состав излучения, световой поток, сила света, телесный угол, яркость, освещенность, яркость неба, коэффициент неравномерной яркости неба, показатель дискомфорта, показатель ослепленности, боковое освещение, верхнее освещение, комбинированное освещение, условная рабочая поверхность, коэффициент естественной освещенности, метод А.М. Данилюка, инсоляция, времена года, время, сутки, местное время, мировое время, поясное время, декретное время.*

Тема 7 Общие положения светотехники

7.1 Природа света

Научное обоснование природы света прошло несколько этапов.

Исаак Ньютон (1643—1727) — английский математик, механик, астроном и физик. Открыл дисперсию света, развил корпускулярную теорию света, в работе «Оптика» (1704) сформулировал гипотезу о разложении света: любые частицы (атомы, фотоны, электроны и др.) обладают свойствами и корпускул (частиц) и волн.

Огюстен Жан Френель (1788—1827) — французский физик. Создал в 1818 г. теорию дифракции (преломления) света, доказал в 1821 г. поперечность световых волн, объяснил поляризацию света. Дифракционная картина (чередование световых максимумов и минимумов) — результат интерференции — пространственного перераспределения энергии светового излучения при наложении световых волн. Интерференция света наблюдается в виде характерного чередования на экране светлых и темных полос.

Джеймс Клерк Максвелл (1831—1879) — английский физик. Выдвинул идею электромагнитной природы излучения (динамическая теория света).

Альберт Эйнштейн (1879—1955) — немецкий физик-теоретик. Создал теорию относительности. Автор основополагающих трудов по квантовой теории света: ввел понятие фотона. Свет — это электромагнитное излучение, распространяющееся частицами, имеющими электронный заряд, — квантами.

Современная теория характеризует свет как электромагнитные волны, распространяющиеся в пространстве порциями — фотонами. Фотон не имеет массы покоя. Скорость света в пустоте составляет $C \approx 2,998 \cdot 10^8$ м/с. При этой скорости масса электрона стремится к бесконечности.

В настоящее время существуют теории, доказывающие, что существуют скорости перемещения во времени и пространстве, превышающие скорость света. Есть результаты экспериментальных исследований, где скорость света замедлена. Оба случая противоречат традиционной теории.

В настоящее время изучен очень широкий диапазон электромагнитных излучений (ЭМИ). Светотехника изучает только незначительную область в оптической части электромагнитных излучений — видимое излучение (рисунок 38).



Рисунок 38 — Спектральный состав излучения

Излучение в пределах видимого спектра вызывает ощущение цвета от фиолетового до красного (рисунок 39).

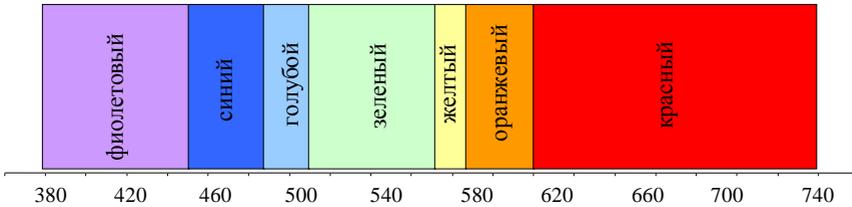


Рисунок 39 — Спектральный состав видимого излучения

7.2 Основные светотехнические величины

Любое тело, температура которого выше 0 K , излучает некоторую лучистую энергию Q_E (рисунок 40). Часть лучистого излучения видима для человека — видимое излучение.

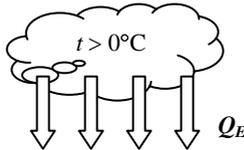


Рисунок 40 — К определению светового потока

Световым потоком Φ называют мощность светового излучения энергии. Единица измерения — люмен (лм).

Расчетная формула светового потока

$$\Phi = Q / t, \quad (27)$$

где Q — энергия видимого излучения;

t — время излучения.

Световой поток распределяется в пространстве неравномерно, поэтому для оценки светового действия используют понятие силы света.

Сила света I — это мощность светового излучения в определенном направлении. Единица измерения — кандела (кд).

Силу света вычисляют по формуле

$$I = \Phi / \Omega, \quad (28)$$

где Φ — световой поток;

Ω — телесный угол, в пределах которого распространяется световой поток.

Телесный угол — часть пространства, ограниченная некоторой конической или многогранной поверхностью (рисунок 41).

Если поместить источник света в центр сферы с радиусом R , телесный угол вырезает на поверхности сферы площадь S , равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы R .

Расчетная формула телесного угла

$$\Omega = S / R^2, \quad (29)$$

где S — площадь сферической поверхности, вырезаемой телесным углом.

Для полусферы радиусом $R = 1$ м телесный угол определяют размерами поверхности S . Единица измерения телесного угла — стерадиан (ст).

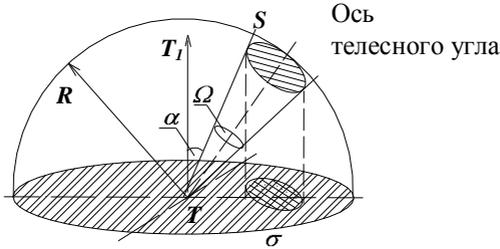


Рисунок 41 — Схема к определению телесного угла

При оценке светопрозрачной среды, особенно с архитектурным объектом, имеет значение яркость поверхности.

Яркость L — мощность светового излучения единицы площади проекции поверхности излучающего тела S на плоскость, перпендикулярную направлению излучения (рисунок 42). Единица измерения — кандела на квадратный метр (кд / м²).

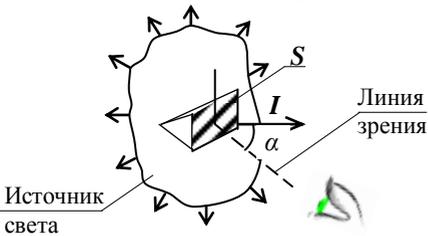


Рисунок 42 — Схема к определению яркости

Например, стена, окрашенная масляной краской, при взгляде перпендикулярно плоскости стены и из любой точки имеет различную яркость.

Яркость определяют по формуле

$$L = I / S \cdot \cos \alpha . \quad (30)$$

Параметры, входящие в зависимость (30), показаны на рисунке 42.

Освещенность E представляет собой плотность падающего светового потока Φ на освещаемую поверхность S (рисунок 43). Единица измерения — люкс (лк).

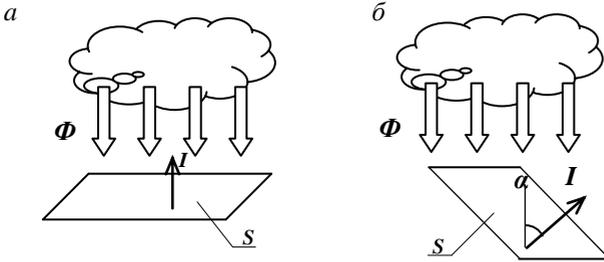


Рисунок 43 — Схема к определению освещенности: а — нормальной; б — произвольно ориентированной плоскости

Освещенность определяют по формуле

$$E = \Phi \cdot \cos \alpha / S , \quad (31)$$

где Φ — световой поток;

S — площадь освещаемой поверхности;

α — угол между нормалью к освещаемой поверхности и направлением светового потока.

Если освещаемая поверхность S перпендикулярна падающему световому потоку Φ , то ее освещенность называют *нормальной* E_n (рисунок 43, а).

Для определения освещенности произвольно ориентированной плоскости от точечного источника света может быть использована зависимость (рисунок 43, б)

$$E = I \cdot \cos \alpha / R^2 . \quad (32)$$

Эта зависимость характеризует *закон квадрата расстояния* (рисунок 44).

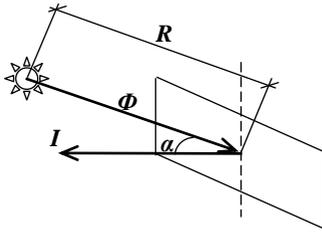


Рисунок 44 — Закон квадрата расстояния

7.3 Прохождение света через атмосферу

Естественное освещение земной поверхности создает лучистая энергия Солнца. На границе атмосферы Земли освещенность плоскости, перпендикулярной солнечным лучам, составляет примерно 135—137 тыс. лк и называется — *световая солнечная постоянная С*. Земной поверхности достигает лишь часть энергии, излучаемой Солнцем, попавшей в атмосферу Земли. Проходя через атмосферу, поток лучей изменяется и ослабляется из-за отражения, рассеивания и поглощения атмосферой (рисунок 45).

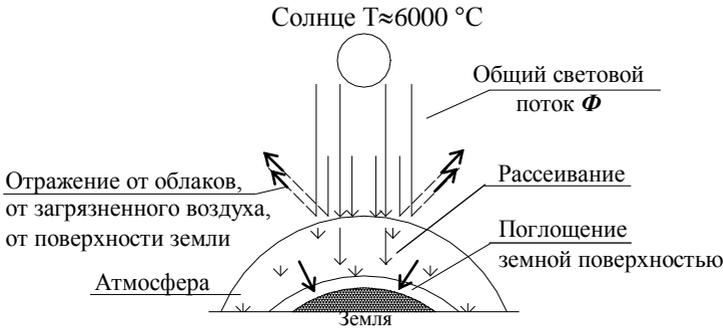


Рисунок 45 — Схема прохождения света через атмосферу
Среднее расстояние — одна астрономическая единица $\Delta = 1,5 \times 10^{11}$ м.

Одним из показателей прохождения света через атмосферу служит *коэффициент ослабления светового потока атмосферой a_λ* . Он характеризует относительное количество света, задержанное единицей объема воздуха. Если в толще атмосферы вырезать объем в форме цилиндра (атмосферный столб высотой h), то коэффициент a_λ может быть определен как отношение освещенности E_2 на выходе столба к освещенности E_1 на его входе (рисунок 46).

$$a_{\lambda} = E_2 / E_1 . \quad (33)$$

Общее ослабление светового потока атмосферой характеризует *оптическая толщина атмосферы* τ_{λ} , которую можно определить по формуле

$$\tau_{\lambda} = \Sigma a_{\lambda(i)} . \quad (34)$$

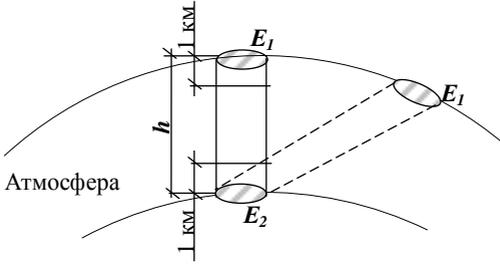


Рисунок 46 — К определению коэффициента a_{λ}

Для практических целей удобнее пользоваться *массой атмосферы* M , которую характеризуют отношением оптической толщины атмосферы в зените $\tau_{\lambda}(z)$ к оптической толщине атмосферы под углом α — $\tau_{\lambda}(\alpha)$.

$$M = \tau_{\lambda}(z) / \tau_{\lambda}(\alpha) . \quad (35)$$

7.4 Яркость неба

Источником света является небосвод. Небосвод воспринимается человеком благодаря рассеянному свету атмосферы. Его цвет зависит от широты местности, состояния атмосферы, высоты точки наблюдения над горизонтом. Небосвод имеет неравномерную яркость даже при сплошной облачности.

Яркость неба — наиболее важная светотехническая величина. Яркость неба — величина переменная, зависящая от координат Солнца, прозрачности атмосферы, географического положения местности и времени суток. Для упрощения светотехнических расчетов принято, что небосвод полностью закрыт облаками. Определение неравномерной яркости неба дали П. Мун и Д. Спенсер (1942), которое принято Международной комиссией по освещению (МКО) в качестве стандарта при расчетах естественного освещения.

Для определения освещенности в помещении, здание как бы располагают под полусферой (расчетный небосвод). Освещенность создает яркость неба L , слагаемая из яркости прямого света L_p , рассеянного (диффузного) света L_r и яркости многократных отражений от Земли и наземных объектов L_m .

На освещенность помещений влияет свет, отражаемый от противостоящих зданий L_3 и отраженный от подстилающего слоя, например земли, покрытой снегом L_0 (рисунок 47).

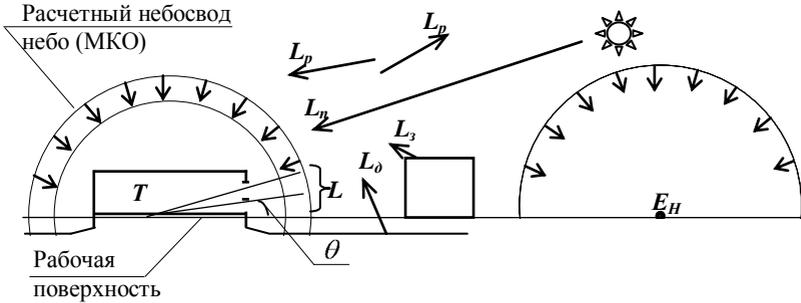


Рисунок 47 — Схема к расчету естественной освещенности помещения

Для светотехнических расчетов распределение яркости по небу МКО принято характеризовать коэффициентом неравномерной яркости неба q

$$q = \frac{3}{7}(1 + 2 \cdot \sin \theta), \quad (36)$$

где θ — угол, под которым виден участок неба из расчетной точки T .

Установить значение естественной освещенности в помещении в абсолютных единицах невозможно в связи с тем, что яркость неба в течение дня постоянно меняется. Для нормирования и расчета освещения принята относительная величина, так называемый коэффициент естественной освещенности e , сокращенно КЕО

$$e = E_T / E_H \cdot 100 \%, \quad (37)$$

где E_T — естественная освещенность, создаваемая светом неба в некоторой точке T , размещенной на горизонтальной плоскости внутри помещения;

E_H — одновременное значение наружной горизонтальной освещенности в точке T под открытым небосводом.

7.5 Основные законы светотехники

Освещение помещений, создаваемое естественным светом, принято нормировать по коэффициенту естественной освещенности (КЕО) e . При этом источником света является небо, полностью закрытое облаками (небо МКО), с распределением яркости по закону Муна и Спенсера.

В основу расчета естественного освещения помещений положены два закона: *закон телесного угла* и *закон светотехнического подобия*.

Для определения освещенности в точке T , расположенной на рабочей поверхности в помещении, имеющем светопроем, следует провести из этой точки полусферу небосвода радиусом $R = 1$. Источником света является участок полусферы S , видимый из точки T через светопроем (рисунок 48).

В соответствии с формулой телесного угла (29), с учетом $R = 1$, $\Omega = S$, освещенность в точке T выражает формула

$$E_T = L \cdot S \cdot \cos \alpha . \quad (38)$$

Если обозначить через σ площадь проекции телесного угла, под которым виден участок S , на освещаемую поверхность ($\sigma = S \cdot \cos \alpha$), будет получена формула *закона проекции телесного угла*

$$E_T = L \cdot \sigma . \quad (39)$$

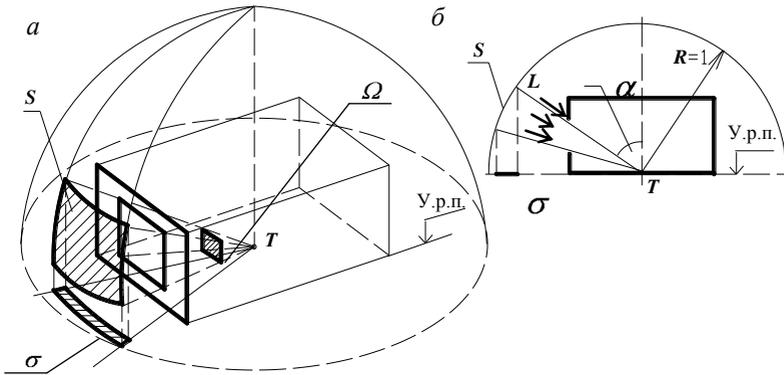


Рисунок 48 — Схема к закону проекции телесного угла: *a* — аксонометрия; *б* — разрез

Таким образом, освещенность в какой-либо точке поверхности помещения, создаваемая равномерноосветящимся участком поверхности неба, прямо пропорциональна яркости участка L и площади проекции σ телесного угла, в пределах которого из данной точки виден участок неба, на освещаемую рабочую поверхность.

В соответствии с законом проекции телесного угла, освещенность горизонтальной плоскости E_H , которую создает вся небесная полусфера L , может быть определена по формуле

$$E_H = L \cdot \pi . \quad (40)$$

Формула для расчета КЕО примет вид

$$КЕО = E_T / E_H = \sigma / \pi . \quad (41)$$

На основании закона проекции телесного угла разработаны графические способы расчета естественной освещенности и КЕО.

Из закона проекции телесного угла следует закон светотехнического подобия: освещенность, которая создается участком неба, видимым из расчетной точки через светопроем под одним и тем же телесным углом Ω с вершиной в этой точке, не зависит от абсолютных размеров светопроемов (рисунок 49).

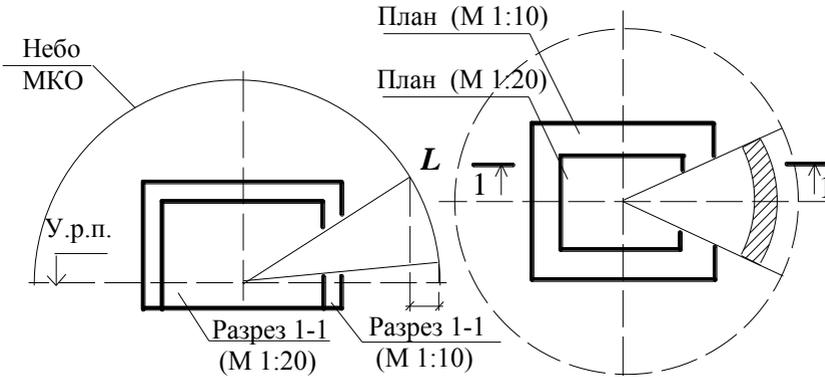


Рисунок 49 — Схема к закону светотехнического подобия

Таким образом, освещенность в какой-либо точке условной рабочей поверхности помещения не зависит от абсолютных размеров, формы и ориентации в пространстве светопроема, а зависит только от величины телесного угла, под которым он виден из этой точки.

Наиболее важным следствием закона светотехнического подобия является возможность моделирования зданий и оценки освещенности на моделях в лабораторных условиях.

7.6 Взаимодействие света с веществом

При падении светового потока Φ на тело часть потока Φ_τ проходит сквозь тело, часть потока отражается Φ_ρ , часть потока Φ_α поглощает тело (рисунок 50).

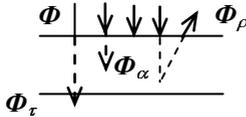


Рисунок 50 – Схема взаимодействия света с телом

На основании закона сохранения энергии

$$\Phi = \Phi_\rho + \Phi_\tau + \Phi_\alpha. \quad (42)$$

Разделив обе части этого равенства на Φ получим

$$1 = \rho + \tau + \alpha, \quad (43)$$

где ρ — коэффициент светоотражения тела;

τ — коэффициент светопропускания тела;

α — коэффициент поглощения.

В таблице 11 приведены коэффициенты ρ , τ , и α для различных материалов.

Таблица 11 — Значения коэффициентов ρ , τ , α

Материал	Коэффициенты, %		
	ρ	τ	α
Оконное стекло 2—5 мм	8	90	2
Зеркало	85—90	0	10—15
Бумага белая	75	0	25
Черный бархат	0	0,05	99,5

Для проектирования наибольший интерес представляют явления пропускания света (окна, фонари, витражи и т.п.) и светоотражения (окраска, фактура, текстура и т.п.).

Различают три основных вида отражения и пропускания света. Схемы пропускания света различными телами приведены на рисунке 51.

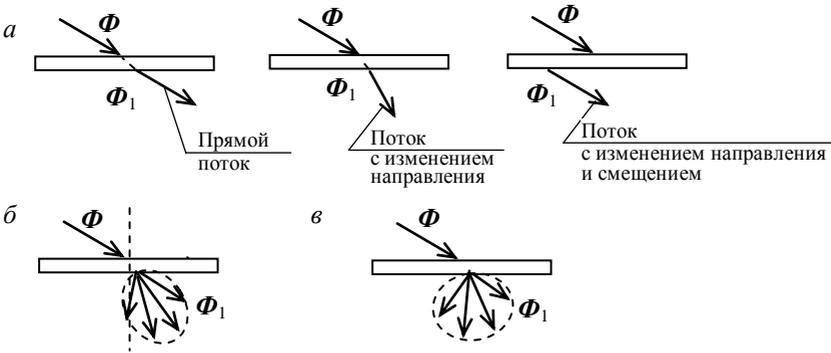


Рисунок 51 — Схема пропускания светового потока:
a — полное, *б* — частичное, *в* — диффузное

Схемы отражения света от непрозрачных поверхностей приведены на рисунке 52.



Рисунок 52 — Схема отражения светового потока:
a — зеркальное, *б* — направленное, *в* — диффузное

Коэффициент поглощения α влияет:

- на повышение температуры тела;
- на фотоэффект (фотоэлемент в сети);
- на фотохимические процессы (люминесценция);
- на фотобиологические процессы (зрительные реакции).

Зрение — сложный процесс. Это необходимо учитывать проектировщику, архитектору, определяющему в проекте образ будущего здания. Можно существенно изменить зрительное восприятие помещения, применив для отделки зеркала. Хорошо известны в архитектуре приемы для зрительного увеличения или уменьшения глубины пространства, искажения масштаба и пропорций, «повышения» или «понижения» температуры, разрушения пространства цветом материала, фактурой, текстурой или яркостью.

К иллюзиям, зависящим от физиологии глаза, относят явления *иррадиации* (светлые предметы кажутся большими по сравнению с равными им, но темными предметами) и *дифракции* (проявляется в отклонении световых лучей от прямолинейного распространения при встрече с преградой).

Законы зрительного восприятия умело использовали древние архитекторы. Эффект парения купола собора св. Софии в Константинополе был достигнут подбором размеров окон и простенков в основании купола.

7.7 Полный световой поток в помещении

Световой поток Φ , поступающий от неба в здание через светопроем, многократно отражаясь от внутренних поверхностей, создает в помещении световую среду (рисунок 53).

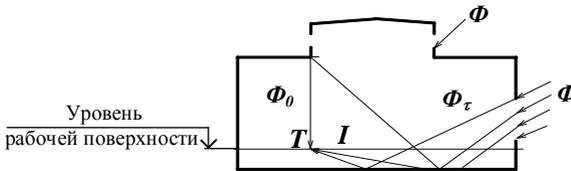


Рисунок 53 — Схема к определению полного светового потока в помещении

Общий световой поток Φ_T в любой точке состоит из двух основных составляющих: прямого светового потока Φ_τ и отраженного Φ_o

$$\Phi_T = \Phi_\tau + \Phi_o. \quad (44)$$

Прямой световой поток, прошедший в помещение, может быть определен по формуле

$$\Phi_\tau = \Phi \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5 \cdot \tau_6, \quad (45)$$

где τ_1 — коэффициент светопропускания одного слоя остекления;

τ_2 — коэффициент светопропускания переплетов. Если переплеты отсутствуют, то $\tau_2 = 1$;

τ_3 — коэффициент светопропускания несущих конструкций. Обычно учитывают только для освещения, осуществляемого через проемы в покрытии;

τ_4 — коэффициент потерь света в защитной сетке. Если сетка отсутствует, то $\tau_4 = 1$.

τ_5 — коэффициент потерь света в солнцезащитных устройствах. Если солнцезащитных устройств нет, то $\tau_5 = 1$.

τ_6 — коэффициент потерь света в специальных приспособлениях (механизмы открывания, коммуникации, нагревательные приборы и т.п.). В большинстве случаев такие приспособления отсутствуют, т.е. $\tau_6 = 1$.

Если одинаковых слоев остекления n , тогда $\tau_{1(\text{общ})} = \tau_1^n$. Если слои имеют разные коэффициенты светопропускания, то

$$\tau_{1(\text{общ})} = \tau_{1(1)} \cdot \tau_{1(2)} \cdot \tau_{1(3)} \cdot \dots$$

Схема прохождения света через светопроем показана на рисунке 54.

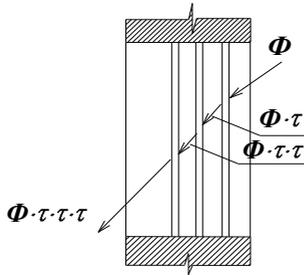


Рисунок 54 — Схема к определению светового потока, прошедшего в помещение через заполнение светового проема

Отраженный световой поток в помещении может быть определен по формуле

$$\Phi_o = \Phi_\tau \cdot \rho_{cp}, \quad (46)$$

где ρ_{cp} — средневзвешенный коэффициент отражения потолка, стен и пола

$$\rho_{cp} = \frac{\rho_{пол} F_{пол} + \rho_{ст} F_{ст} + \rho_{потол} F_{потол}}{F_{пол} + F_{ст} + F_{потол}}, \quad (47)$$

где $\rho_{пол}$, $\rho_{ст}$, $\rho_{потол}$, $F_{пол}$, $F_{ст}$, $F_{потол}$ — коэффициенты светотражения и площади пола, стен и потолка соответственно.

7.8 Оценка световой среды

Световая среда в помещении существенно влияет на психофизиологическое состояние человека. От нее зависит производительность труда, качество выпускаемой продукции и состояние здоровья людей. Поэтому проектирование естественного освещения не должно сводиться только к выбору размеров, формы и расположения световых проемов. Необходимо учитывать ряд факторов, влияющих на световую среду.

1. Для оценки условий освещения учитывают необходимый уровень освещенности на рабочей поверхности — КЕО.

Естественное освещение помещений различают: *боковое* e_p^b — через окна в наружных стенах; *верхнее* e_p^e — через световые фонари и проемы в покрытии и *комбинированное* e_p — когда освещение осуществляют через боковые и верхние светопроемы одновременно.

Уровень освещенности характеризует количественную сторону световой среды.

2. Неравномерность освещения характеризует качественную сторону световой среды.

Характерные кривые освещенности, свидетельствующие о неравномерности освещения помещений при различных системах естественного освещения, приведены на рисунке 55.

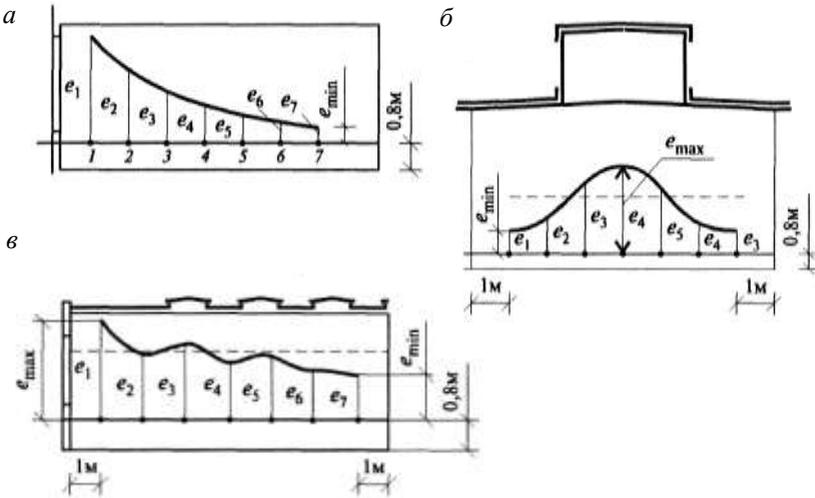


Рисунок 55 — Графики изменения КЕО: а — при боковом; б — при верхнем; в — при комбинированном освещении

По степени освещенности все помещения можно разделить на три группы: помещения с хорошей и равномерной освещенностью по всей площади (производственные, учебные, спортивные и другие помещения); помещения с неравномерным освещением (музейные и выставочные залы); помещения, где допускается небольшая неравномерность освещения (жилые и конторские помещения).

3. Существенную роль играет контрастность освещения. *Контраст* определяет разность яркостей между предметом и фоном

$$K = \frac{L_{\Pi} - L_{\Phi}}{L_{\Pi}}, \quad (48)$$

где L_{Π} , L_{Φ} — яркости, предмета и фона соответственно.

Контрасты различают по величине:

контраст большой — $K > 1—0,5$;

контраст средний — $K < 0,7—0,5$;

контраст малый — $K \leq 0,5—0,2$;

нюанс — $K < 0,2$.

Благоприятными условия работы в помещении считают при соотношениях яркости потолка, стен и пола, аналогичных природным.

4. При наличии в помещении полированных каменных или металлических, стеклянных, т.е. зеркально отражающих поверхностей возможно неприятное ощущение, дискомфорт от бликов на окружающих поверхностях (отраженная блескость).

Критерием оценки отраженной блескости служит *показатель дискомфорта M*; а слепящего действия — *показатель ослепленности P*.

Для устранения или ограничения отраженной блескости необходимо определить направление света, при котором зеркально отражаемые лучи не попадают в глаза человека; увеличить размеры светящей поверхности с уменьшением ее яркости; изменить расположение бликующей поверхности.

5. Спектральный состав светового потока существенно влияет на цветность и цветопередачу. При этом цвет — одна из главных характеристик световой среды, определяющая эмоциональное воздействие среды на человека.

6. Видимый свет в результате взаимодействия с материальной средой воздействует на органы зрения. Более 80 % информации об окружающем предметном мире человеку обеспечивают информативные функции света, характеризующиеся возникновением зрительных образов.

Деление критериев оценки освещения на количественные и качественные весьма условно, как и рассмотрение их в отдельности, так как все они взаимосвязаны и взаимозависимы.

Тема 8 Нормирование и расчет естественного освещения

8.1 Требования к естественному освещению помещений

К естественному освещению предъявляют четыре основные группы требований: функциональные, технические, архитектурно-художественные и экономические.

К фундаментальным требованиям можно поставить вопрос: *Для чего?* Функциональные требования предъявляют для обеспечения *комфортных* условий с учетом точности выполняемых работ в помещении при сохранении требуемых защитных свойств светопрозрачного ограждения.

Комфортные условия обеспечить удается не всегда. В расчетах предусматривают обеспечение *требуемых* условий для зрительных работ, которые включают:

- обеспечение требуемого уровня освещенности рабочей поверхности;
- создание соответствующей насыщенности помещений светом;
- исключение слепящего действия солнечных лучей, проникающих в светопроемы помещения;
- обеспечение допустимой неравномерности уровней освещенности рабочей поверхности.

Помимо этого, необходимо обеспечить требуемые (нормативные) защитные характеристики наружного ограждения от температуры, влаги и др.

Теплопотери через светопроемы могут составлять половину всех теплопотерь здания через ограждение. Одна из ряда причин — высокая теплопроводность единицы площади светопроема по отношению к теплопроводности глухого ограждения.

Таким образом, по функциональному признаку естественное освещение должно обеспечивать нормируемые параметры световой среды помещения и требуемые защитные свойства наружного светопрозрачного ограждения.

Технические требования можно определить вопросом: *Из чего?* возможно выполнить светопрозрачные ограждения прочными, долговечными, огнестойкими, удобными в эксплуатации и т.д.

К архитектурно-художественным требованиям возможен вопрос: *Какими средствами и приемами?* можно создать красивое здание, учитывая функциональные и технические требования к зданию и освещению.

Окна — «глаза здания». Их количество, размеры, форма, размещение, ориентация, вид светопрозрачного материала, цвет определяют

«лицо» объекта. От этого зависит распределение световых потоков в помещении, насыщенность пространства светом, цветовой колорит и т.п.

К экономическим требованиям может быть поставлен вопрос: **Какой ценой?** обеспечить функциональные, технические и эстетические требования. Желательно — минимальным затратами.

При проектировании естественного освещения нужно иметь в виду, что стоимость заполнения световых проемов, как правило, больше стоимости самого ограждения. Излишнее остекление увеличивает эксплуатационные расходы, в частности, на отопление зданий.

Поэтому нельзя допускать чрезмерных площадей остекления и без нужды применять светопрозрачные ограждения.

8.2 Нормирование естественного освещения

В соответствии с действующими нормами [8] помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь, как правило, естественное освещение (е.о.).

Естественное освещение помещений разделяют на боковое, верхнее и комбинированное.

Нормирование естественного освещения осуществляют по *коэффициенту естественной освещенности* (КЕО). КЕО нормируют в зависимости от функции здания и вида освещения на условной рабочей поверхности или полу.

Условной рабочей поверхностью (У.Р.П.) считают горизонтальную поверхность, расположенную на высоте 0,8 м от пола.

В некоторых зданиях рабочая поверхность может быть наклонной или вертикальной, например, в выставочных залах, музеях. Таким образом, местоположение рабочей поверхности определяет функциональный процесс.

В основных помещениях жилых домов и детских дошкольных учреждений значение КЕО следует обеспечивать на уровне пола. Для жилых комнат и кухонь КЕО = 0,5 %. Для групповых, игровых, столовых и спален — 1,5 %.

Для производственных помещений КЕО нормируют в зависимости от разряда зрительных работ (существует VIII разрядов зрительных работ), контраста объекта с фоном, характеристики фона.

В небольших помещениях при одностороннем боковом освещении нормируют минимальное значение КЕО в точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и У.Р.П. на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов. При двухстороннем боковом освещении — в точке, расположенной посередине. В крупногабаритных производственных помеще-

ниях при боковом освещении минимальное значение КЕО нормируют в точке, удаленной от световых проемов:

- на 1,5 высоты помещения для зрительных работ I—IV разрядов;
- на 2 высоты помещения для зрительных работ V—VII разрядов;
- на 3 высоты помещения для зрительных работ VIII разряда.

При верхнем и комбинированном освещении нормируют среднее значение КЕО в точках, расположенных на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и У.Р.П. Первую и последнюю точки принимают на расстоянии 1 м от поверхности стен (перегородок) или осей колонн.

Характерным разрезом помещения считают поперечный разрез посередине помещения, плоскость которого перпендикулярна к плоскости остекления световых проемов (при боковом освещении) или к продольной оси пролетов помещения (при верхнем освещении).

Нормируемое значение КЕО (e_N) определяют с учетом характера зрительной работы и светового климата в районе расположения здания.

Территория России разделена на пять групп административных районов по ресурсам светового климата. В СНиП [8] приведены нормируемые значения КЕО для I группы. Для зданий, расположенных в других районах, нормируемое значение КЕО (e_N) определяют по формуле

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (49)$$

где N — номер группы обеспеченности естественным светом [8, приложение Д];

e_H — значение КЕО [8, таблицы 1 и 2];

m_N — коэффициенты светового климата [8, таблица 4].

8.3 Расчет естественного освещения по действующим нормам

Естественное освещение в соответствии с действующими нормами [8] разделяют на верхнее, боковое, и комбинированное. Каждый из этих видов освещения рассчитывают по отдельным формулам и нормативным параметрам. Основным критерием для оценки естественного освещения принят КЕО.

Целью расчета естественного освещения является расчет площади, формы и места размещения светопроема (светопроемов) с известными светотехническими и объемно-планировочными характеристиками.

Суть расчета заключается в следующем:

1. Рассчитать нормируемое значение КЕО (e_N).
2. Найти приближенную площадь остекления светопроемов (предварительный расчет).

3. Определить место размещения точки T (ряда точек), в которой нормируют КЕО.

4. Рассчитать КЕО в точке (расчетных точках), сравнить его с нормативным и скорректировать площади светопроемов.

5. Построить график изменения КЕО в поперечном разрезе помещения.

6. Определить участки с недостающей освещенностью.

8.3.1 Предварительный расчет площади светопроемов

Площадь световых проемов $F_{ок}$ в процентах от площади пола F_n , при которой обеспечены нормативные значения КЕО, приближенно определяют по формулам:

– при боковом освещении помещений

$$100 \frac{F_{ок}}{F_n} = \frac{e_N \cdot \eta_o}{\tau_o \cdot r_1} K_{з\delta} \quad (50)$$

где e_N — нормированное значение КЕО при боковом освещении помещения;

τ_o — общий коэффициент светопропускания светового проема;

r_1 — коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении светом, отраженным от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию;

η_o — световая характеристика окна;

$K_{з\delta}$ — коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями;

– при верхнем освещении помещений

$$100 \frac{F_{\phi}}{F_n} = \frac{e_N \cdot \eta_{\phi}}{\tau_o \cdot r_2} K_{з\delta} \quad (51)$$

где F_{ϕ} — площадь световых фонарей;

e_N — нормированное значение КЕО при верхнем освещении помещения;

r_2 — коэффициент, учитывающий повышение КЕО при верхнем освещении светом, отраженным от поверхностей помещения;

η_{ϕ} — световая характеристика фонаря или светового проема в плоскости покрытия.

8.3.2 Боковое освещение

Расчет КЕО при боковом освещении e_p^{δ} [8] выполняют по формуле

$$e_p^{\delta} = (\varepsilon_{\delta} q \beta_a + \varepsilon_{3\delta} \varepsilon_{\phi} \gamma_a) \tau_o r_o / K_3, \quad (52)$$

где ε_{δ} — значение КЕО (геометрический КЕО) в расчетных точках при боковом освещении, создаваемое прямым светом участков неба, видимых через световые проемы (с учетом распределения яркости по облачному небу МКО);

β_a — коэффициент ориентации светопроема, учитывающий ресурс естественного света по кругу горизонта;

$\varepsilon_{3\delta}$ — геометрический КЕО от участка фасада противостоящего здания;

ε_{ϕ} — средняя относительная яркость противостоящих зданий;

γ_a — коэффициент ориентации фасада здания, учитывающий зависимости его яркости от ориентации по сторонам горизонта;

$K_{3\delta}$ — коэффициент, учитывающий изменение внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при наличии противостоящих зданий;

r_o — коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя;

K_3 — коэффициент запаса;

τ_o — общий коэффициент светопропускания.

Если противостоящие здания отсутствуют или их влияние на освещение незначительно, то зависимость для расчета КЕО примет вид

$$e_p^{\delta} = \varepsilon_{\delta} q \beta_a r_o \tau_o / K_3. \quad (53)$$

8.3.3 Верхнее и комбинированное освещение

В соответствии с действующими нормами за основной критерий оценки качества световой среды при верхнем и комбинированном освещении принят средний КЕО условной рабочей поверхности в плоскости осевого разреза.

Расчет КЕО при верхнем освещении e_p^{δ} осуществляют по формуле

$$e_p^{\delta} = (\varepsilon_i^{\delta} + \varepsilon_{\text{отр}}^{\delta}) \tau_o / K_3 \quad (52)$$

где ε_i^6 — значение КЕО в расчетной точке при верхнем освещении, создаваемым прямым светом неба с учетом распределения яркости по небу;

$\varepsilon_{отр}^6$ — значение КЕО, создаваемого отраженным светом.

Расчет КЕО при комбинированном освещении выполняют по формуле

$$e_p^k = e_p^6 + e_p^6. \quad (55)$$

8.3.4 Совмещенное освещение

Применяют различные подходы к решению совмещенного освещения, но по существу они подобны. Помещения делят на три зоны. Первая зона с естественным освещением (зона I), вторая — с совмещенным освещением (зона II) и третья — с искусственным освещением (зона III). В зоне, от точки, где КЕО равен норме ($e_1 = e_N$) и до точки, где КЕО равен одной десятой нормы ($e_2 = e_N / 10$), необходимо создавать совмещенное освещение. За значением освещенности равной e_2 , начинается зона с искусственным освещением.

8.4 Методы расчета освещенности

Основным критерием оценки количественных и качественных характеристик световой среды принят коэффициент естественной освещенности КЕО, который согласно СНиП [8] рассчитывают для горизонтальной или вертикальной плоскостей. Существующие методы расчета освещения разработаны для светопроемов прямоугольной формы; помещение должно быть прямоугольным в плане; одна из сторон светопроема должна быть параллельна освещаемой плоскости; освещение разделяют на естественное (боковое, верхнее и комбинированное) и искусственное, каждое из которых рассчитывают по отдельным нормативным характеристикам.

В результате, расчетный уровень освещенности может соответствовать нормируемому значению, а фактический — не обеспечивать требуемые условия для зрительных работ.

Известно много методов расчетов освещенности.

Метод *Мешкова* учитывает особые свойства распространения светового поля на поверхности сферы. Светопроем должен быть круглой формы.

Метод *Винера* также основан на законе проекции телесного угла. Светопроем должен быть полигональной формы.

По методу *Ламберта* форма светопроема не имеет значения.

Метод *Данилюка* основан по положению, что освещенность пропорциональна проекции телесного угла на освещаемую плоскость участка неба, который виден через светопроем. *А.М. Данилюк* предложил разделить полусферу небосвода 100 меридианами и 100 параллелями на 10000 клеток, горизонтальные проекции которых равновелики между собой. Полученные таким способом графики (рисунок 56) позволяют определить КЕО по количеству лучей в заданной точке.

Геометрический КЕО по методу *А.М. Данилюка* определяют по формуле

$$\varepsilon_{\sigma} = 0,01 n_1 n_2, \quad (56)$$

где n_1 — количество лучей, определенное по графику I на поперечном разрезе помещения;

n_2 — количество лучей, определенное по графику II на плане или продольном разрезе помещения.

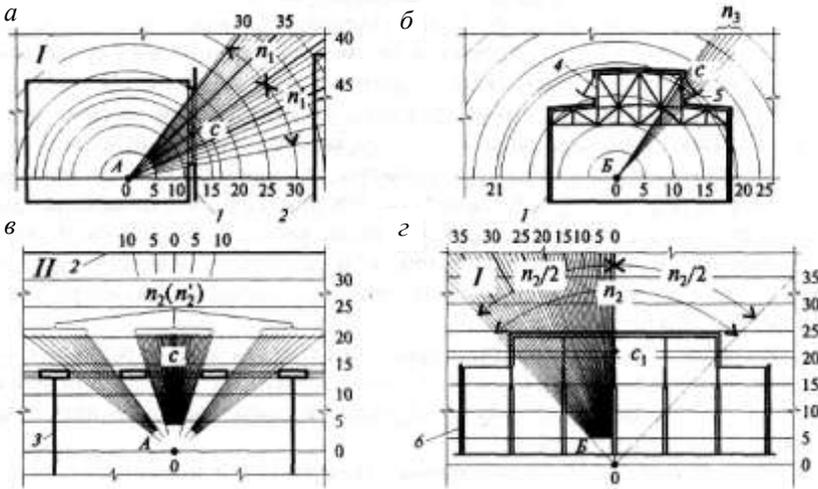


Рисунок 56 — Характерные разрезы помещений для расчета изменения КЕО: а — при боковом; б — при верхнем освещении

Метод проекций основан на законе проекции телесного угла, позволяет рассчитать геометрический КЕО любых по форме светопроемов, включая прямоугольные и полигональные.

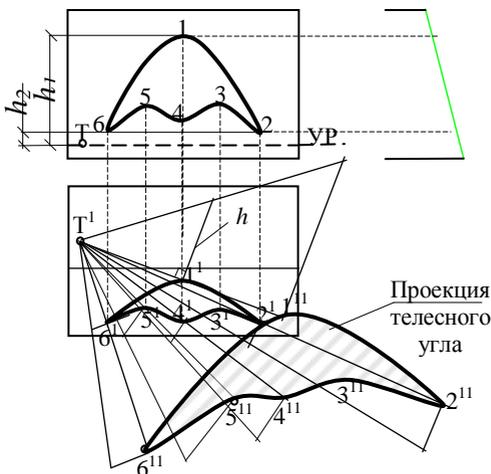


Рисунок 57 — Схема к расчету геометрического КЕО методом проекций

Тема 9 Инсоляция

9.1 Общие положения

Инсоляция (от лат. *insolare* — выставлять на солнце) — совокупность воздействий на человека и окружающую среду солнечной радиации, проявляющихся в различных формах, например, в нагреве поверхности земли, воды, воздуха, отдельных зданий, а так же психологическом воздействии на человека, активном влиянии на биосферу Земли и т.п. Под термином *инсоляции* следует понимать суммарное солнечное облучение, то есть облучение прямыми солнечными лучами, рассеянным светом неба и отраженным светом от различных формирований.

В архитектуре инсоляция является одним из определяющих условий формирования различных качеств объекта. В частности, для здания — это формирование внешнего вида, сочетание с окружающей средой, создание комфортных условий для людей. С учетом требований к инсоляции проектируют и застраивают города, размещают здания на генплане, подбирают их конструкции, решают объемно-планировочные вопросы, проектируют инженерно-техническое оборудование.

Зодчие древности хорошо знали закономерности инсоляции отдельных зданий и городских ансамблей и учитывали их в своих работах. Например, античные города Египта имеют сетку улиц с отклонением от меридиана в пределах 40—60°, что позволяет обеспечивать наиболее равномерную инсоляцию города в течение года.

Для проектировщика понимание существа инсоляции является необходимым условием. Это особо актуально в настоящее время в связи с энергетическими и экологическими проблемами, а так же с тем, что качество архитектуры определяет прежде всего комфортность среды, надежность конструкций, выразительность пространств и форм и экономичность проекта. Каждый из этих показателей качества архитектуры зависит от рационального решения вопросов инсоляции и солнцезащиты зданий и городских ансамблей. Здесь хотелось бы обратить внимание на то, что даже выдающиеся мастера иногда недоучитывали в своем творчестве значение инсоляции и солнцезащиты. Например, здание дворца конгресса в Бразилии, архитектор *О. Нимейер* (рисунок 58). Здание очень эффектно, а прием резкого контраста форм и пластики применяют многие архитекторы, но применение сплошного остекления стен высотной доминанты для климатических условий Бразилии экономически не выгодно из-за большого расхода энергии для охлаждения воздуха помещений летом и подогрева — зимой. В данном случае приора отдана внешнему восприятию объекта, а условия работы людей отданы полностью на технические решения, связанные с энергозатратами.

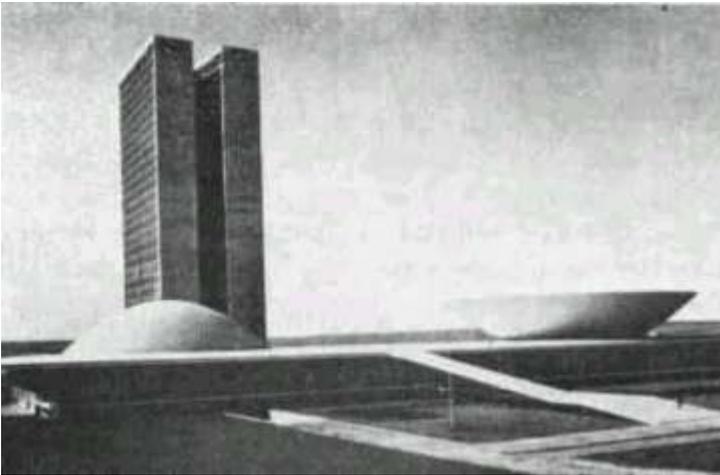


Рисунок 58 — Здание дворца конгресса в Бразилии (архитектор *О. Нимейер*)

Другим примером является здание Палас-отель (Бразилия) архитектор *Ле-Корбюзье*. Примененные железобетонные решетки для солнцезащиты не только ухудшили визуальную связь внутреннего и наружного пространств, но и являются хорошим аккумулятором тепловой энергии Солнца, которую необходимо постоянно отводить, расходуя электроэнергию.

Подобных примеров можно привести много, что характерно для застройки в последнее время. Обусловлено это низким уровнем знаний проектировщиков в области инсоляции, недостаточной глубиной научных разработок проблемы, несовершенством нормирования инсоляции и тем, что многие архитекторы не задумываются о энергозатратах на архитектурный объект в будущем.

Вопросы инсоляции зодчие учитывали с доисторических времен. Научные основы частично разработаны в конце XIX века и, в основном, в XX веке. Весомый вклад в развитие науки инсоляции и в ее популяризации внесли *Д.В. Бахарев, Л.Л. Дашкевич, Б.А. Дунаев, Н.М. Гусев, Н.В. Оболенский, Гопкинсон, Коул* и др.

Одним из наиболее сложных вопросов является нормирование инсоляции, где необходимо учесть не только природно-географические условия местности, но и психофизиологические аспекты проживающих на этой территории людей, их культуру, уровень знаний, традиции и тому подобное. Идея о нормировании инсоляции возникла еще в XIX веке. Но и до настоящего времени еще есть ряд спорных вопросов и проблем при ее нормировании, расчете и оценке. В нашей стране считают, что инсоляция играет важную роль в борьбе с болезнетворными бактериями и основным показателем нормируют продолжительность инсоляции. Некоторые зарубежные ученые доказывают, что роль инсоляции в этом процессе незначительна. Например, англичане пришли к выводу, что Солнце играет важную роль только как фактор связи с внешним миром и это в инсоляции основное, а ее продолжительность они считают второстепенным фактором.

Необходимо учитывать не только положительные ее воздействия, но и отрицательные; некоторые из них приведены в таблице 12.

Положительных и отрицательных воздействий инсоляции на окружающую среду и человека много. Учесть их все в нормах практически невозможно, поэтому определяющим фактором при оценке инсоляции помещений должна быть степень предпочтения человеком солнечной и затененной сторон. Психологические реакции на инсоляцию зачастую не совпадают с оценкой физических ее характеристик, измеряемых приборами, определяемых расчетами и т.д.

Таблица 12 — Единство положительных и отрицательных воздействий инсоляции в архитектуре

Аспекты воздействия инсоляции	Положительные эффекты	Отрицательные эффекты
Биологический	Общеоздоровительный эффект (загар, образование витамина D, обогрев), saniрующийся эффект — улучшение функции зрения при повышенной освещенности и контрастности освещения	Фотохимическая токсичность отработанных газов в городах, переоблученность и канцерогенность, перегрев (общий, местный), световой дискомфорт, разрушающее действие на живую клетку
Психологический	Солнечность освещения, динамика яркости распределения и цветности в поле зрения, связь с внешним пространством	Снижение активности и настроения при световом дискомфорте и перегреве
Эстетический	Выявление пространства, пластики формы, силуэта цветочных соотношений, ритма элементов архитектуры и живописности архитектурных решений	Снижение восприятия формы и ощущения, насыщенности цвета при чрезмерных яркостях, выцветание поверхностей
Экономический	Природный источник дополнительной энергии для обогрева помещений, сокращение площади световых проемов, повышение производительности труда и работоспособности	Повышение расходов на вентиляцию и кондиционирование воздуха, снижение производительности труда и работоспособности при тепловом и цветовом дискомфорте

9.2 Природа инсоляции

Источником лучевой радиации, попадающей на Землю, является Солнце. Солнце имеет форму шара радиусом 695000 км (для сравнения, радиус Земли равен 6400 км). Оно удалено от Земли на расстояние, равное примерно $149,5 \times 10^6$ км (астрономическая единица). Температура поверхности Солнца составляет около 6000 °С. Оно излучает в окружающее пространство огромное количество энергии, уменьшаясь при этом каждую секунду на 1 млн. т. В стратосферу Земли попадает одна двухмиллиардная часть выброшенной Солнцем энергии, она составляет примерно 180 миллиардов киловатт. К поверхности Земли прорывается примерно половина попавшей в стратосферу энергии Солнца. Именно эта часть прошедших через атмосферу лучей и создает инсоляцию.

9.2.1 Времена года

Земля вращается по эллиптической орбите со средним расстоянием между ее центром и центром Солнца, равным одной астрономической единице. Плоскость, образованная центром Солнца и орбитой Земли, называют *эклиптикой*. В течение года Земля приближается к Солнцу дважды на минимальное расстояние (*перигелий*) и дважды удаляется от него на максимальное расстояние (*афелий*). Эти изменения расстояния не оказывают влияния на периоды года. Поэтому, можно считать, что Земля вращается вокруг Солнца по кругу. Она делает один полный оборот за 365,25 дня с различной скоростью. Для расчета принимают количество дней в году 365, а скорость движения — постоянной. Земля вращается вокруг оси, направленной в ограниченное пространство в районе полярной звезды. Так как это пространство очень мало, а расстояние от Солнца до Земли очень большое, то можно считать, что ось Земли (\vec{N}) сориентирована в одну точку Вселенной, совпадающую с полярной звездой, и в течении года перемещается параллельно самой себе. Тогда угол A° между северным направлением оси Земли (\vec{N}) и плоскостью эклиптики — *склонение оси Земли* — остается неизменным в течение года и равным $66^\circ 33'$, для расчета можно принять его равным $66,5^\circ$ (этот угол в астрономии был определен еще в XVII веке). *Световой вектор* \vec{C} — это вектор, совпадающий со световым лучом, размещенным в плоскости эклиптики, и направленный от Солнца (рисунок 59).

Из рисунка видно, что Земля проходит четыре характерные точки. «Л» — летнее солнцестояние, это наиболее жаркое время для северного полушария. В это время самый длинный день и короткая ночь. Угол θ между северным направлением оси Земли и световым вектором составляет $113,5^\circ$. Другие две характерные точки, обозначенные на рисунке буквами «В» и «О», соответственно, весеннее и осеннее равноденствие, характеризуются тем, что в это время день и ночь равны, а угол θ равен 90° . Четвертой характерной точкой, обозначенной буквой «З» (зимнее солнцестояние), характеризуется наиболее холодное время года. В это время наиболее короткие дни и наиболее длинные ночи. Угол θ составляет $66,5^\circ$. Каждый из указанных периодов наступает соответственно: «Л» — 21—22 июня, «О» — 21 сентября, «З» — 21—22 декабря и «В» — 21—22 марта. Нетрудно заметить, что основной причиной изменения времен года является наклон Земли к солнечным лучам, характеризующийся углом θ , который в течение года изменяется от $66,5^\circ$ до $113,5^\circ$, при этом угол A° между плоскостью эклиптики и осью Земли остается неизменным.

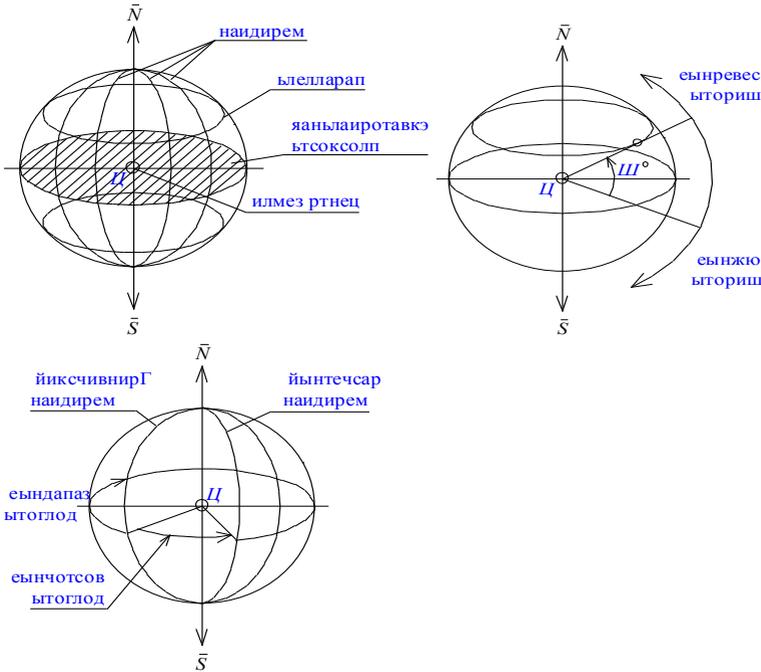


Рисунок 60 — Координатная сетка поверхности Земли: *а* — общий вид; *б* — к определению широты; *в* — к определению долготы

За нулевой принят меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию вблизи Лондона. Расстояние между меридианами измеряют длиной параллели, заключенной между ними, выраженной в угловой мере, и называют долготой. *Долгота* — это угол между линией, образованной пересечением нулевой меридиальной плоскости с плоскостью, параллельной экватору, и линией, образованной пересечением этой же, параллельной экватору плоскости, и меридиальной плоскости, проходящей через расчетную точку. Долготы различают восточные — от Гринвича на Восток против вращения Земли, и западные — от Гринвича на Запад за вращение Земли; измеряют от 0° до 180° . При повороте Земли на 1° точка на экваторе сместится примерно на 111 км; любая точка на поверхности Земли сместится относительно первоначального положения на 15° . Линейные значения смещения зависят от широты местности. Например, скорость точки на поверхности Земли на экваторе составляет 28 м/сек, скорость точки на северном полюсе равна 0 м/сек, а районе г. Белгорода (50° северной широты) составляет 17,6 м/сек.

9.2.3 Понятие времени, его измерение

Время — это длительность существования какого-то процесса, явления и т.п. С незапамятных времен человек заметил в окружающем его мире постоянные повторения отдельных явлений: после лета наступает осень, затем зима, весна и снова лето. И так этот процесс повторяется постоянно. Этот процесс обусловлен одним полным оборотом Земли вокруг Солнца — *год*. Эта единица измерения времени не имеет альтернативы во всем мире. Все народы на Земле ведут летоисчисление в годах или единицах, обусловленных годовыми циклами.

Другой единицей времени, также не имеющей альтернативы, являются *сутки* — один полный оборот Земли вокруг своей оси. За начало отсчета суток взят момент, когда центр диска Солнца подымается наиболее высоко над горизонтом. Это *истинный солнечный полдень* (12 часов дня). Промежуток времени, проходящий между двумя последовательными полуднями, называют *истинными солнечными сутками*.

Земля движется по орбите неравномерно: медленнее в афелии и быстрее в перигелии. Расстояние, которое она проходит за сутки по орбите, будет разным, что создает неудобства для отсчета времени. Если разделить годовую орбиту Земли на равные по длине участки, соответствующие количеству дней в году, то истинные сутки не будут совпадать с этими участками, в частности, в афелии будут обгонять, а в перигелии отставать. Если же разделить длину орбиты на участки, соответствующие истинным солнечным суткам, то это так же будет неудобно, так как повлечет за собой усложнения при расчетах, введение таблиц перехода и тому подобное. Кроме того, определенные неувязки создает и то, что ось Земли наклонена к плоскости эклиптики. В результате Солнце движется в зависимости от времени года не строго по экватору, а в пределах тропического круга. Для выхода из этой ситуации истинное солнечное время заменено *средним солнечным временем*. Последнее отсчитывают по воображаемому Солнцу, движущемуся равномерно по экватору и совершающему полный оборот в течение того же времени, что настоящее Солнце. Разность между средним и истинным временем достигает 16 минут. При расчете этой разностью можно пренебречь.

9.2.4 Местное и мировое время

Средние солнечные сутки постоянны по продолжительности, их можно делить на равные участки. На основании сказанного был введен 1 час = $1/24$ суток. В свою очередь, час разделен на 60 минут, а минута на 60 секунд. Среднее солнечное время обычно называют *местным време-*

нем. Обусловлено это тем, что истинный полдень наступает в тот момент, когда среднее Солнце проходит через меридиан местности, из которого проводят наблюдения. Местное время для каждого меридиана свое. Его можно определить для любой точки земной поверхности по известному местному времени конкретной точки и ее долготе (рисунок 61).

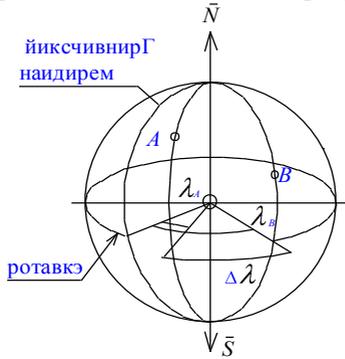


Рисунок 61 — Схема к определению местного времени

На рисунке 61 изображены точки A и B . В точке A известно местное время. Обозначим его через T_A . Долгота точки λ_A . Пусть долгота точки B будет λ_B , тогда разность между долготами точек $\Delta\lambda$ составит

$$\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A. \quad (57)$$

Разность долгот нетрудно представить в часах ΔT . Тогда время T_B в точке B можно определить по формуле

$$T_B = T_A \pm \Delta T, \quad (58)$$

где ΔT — разность долгот, выраженная в часах.

Знак «+» величина ΔT принимает при размещении расчетной точки на восток от исходной и «-» — при размещении расчетной точки на запад. Таким способом можно найти местное время в любой точке земного шара.

При расчетах движения космических тел или явлений, имеющих отношение ко всей Земле, используют *мировое время*. Это время нулевого Гринвичского меридиана. Оно не зависит от долготы местности. Определить местное время по известному мировому и долготе достаточно просто, так как долготу отсчитывают от нулевого меридиана, то

ее можно выразить в часах (1 час = 15°), а для того, чтобы получить время на нулевом меридиане, достаточно из местного времени вычесть (прибавить) долготу, выраженную в часах

$$T_0 = T_M \pm \Delta T_0, \quad (59)$$

где T_0 — время нулевого меридиана;

T_M — местное время;

ΔT_0 — долгота, выраженная в часах.

Знак долготы зависит от того, где находится наблюдатель: в восточном полушарии — знак «+», в западном — знак «-».

Местное время неудобно для гражданской жизни человека, так как каждый город должен иметь свое время. Даже в одном городе местное время отличается для различных его частей. Например, город имеет в поперечнике протяженность 20 км. Это значит, что местное время на восточной окраине будет опережать местное время на западной окраине примерно на 43 секунды. С учетом этого ввели *поясное время*.

9.2.5 Поясное и декретное время

Принцип введения поясного времени таков: весь земной шар разбит на 24 пояса по меридианам. Таким образом, границы этих поясов отстоят друг от друга по долготе на 15°, что соответствует 1 часу времени. Внутри каждого пояса принимают время на его центральном меридиане. На практике принимают не время на меридиане, а местное время известного центра (Гринвич, Киев, Москва). На всей площади, находящейся от нулевого (Гринвичского) меридиана, на восток — один часовой пояс и на запад — один часовой пояс, принимают время Гринвича (среднеевропейское время). В первом часовом поясе (Киев) принимают время на час вперед по сравнению с Гринвичем. Во втором часовом поясе находится Москва, Санкт-Петербург, Белгород и др. Во всех этих городах поясное время опережает время Гринвичское на два часа. Главное достоинство этого времени заключается в том, что время различных поясов отличается друг от друга на целое количество часов, при этом минуты и секунды на всей земле остаются неизменными.

Границы поясного времени устанавливать точно по меридиану не целесообразно потому, что один и тот же город может оказаться в двух часовых поясах, если его пересечет часовой меридиан, поэтому границы между соседними поясами часто проводят по границам государств, областей, рекам, хребтам, дорогам и др.

Кроме поясного времени широко используют *декретное* время. Это время, увязанное в основном с хозяйственной деятельностью человека. В России такое время вводят с 1985 года летом, так называемое *летнее* время. Переход осуществляют в последнее воскресенье марта, переводом стрелки часов на 1 час вперед и длится оно до последнего воскресенья октября, когда опять переходят на зимнее время, то есть московское. Переход на декретное время обусловлен экономическими соображениями. Это позволяет более рационально расходовать электроэнергию.

9.2.6 Особенности движения Солнца по небу

Сведения о долготе, широте, параллелях, меридианах и времени необходимы при рассмотрении особенностей и закономерностей движения Солнца по небу, без понимания которых расчет инсоляции не возможен. Поэтому следует рассмотреть следующую ситуацию: на поверхности Земли на одном меридиане, но в разных широтах $\text{Ш} = 0^\circ$, $\text{Ш} = 45^\circ$ и $\text{Ш} = 90^\circ$ находятся три наблюдателя T_1 , T_2 , T_3 , которым поставлена задача: нарисовать траекторию движения Солнца в течение дня, соответственно, для равноденствия, летнего и зимнего солнцестояний (рисунок 62).

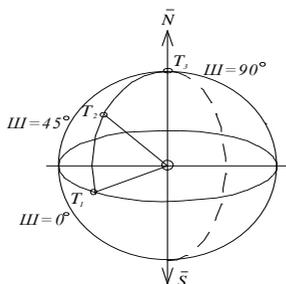


Рисунок 62 — Схема к постановке задачи

На рисунке 63 показаны схемы траекторий, увиденных каждым из наблюдателей.

В случае равноденствия угол $\theta = 90^\circ$. Для наблюдателя 1 Солнце взойдет точно на востоке, пройдет точку зенита Z_{P1} и сядет на западе. Для наблюдателя 2 Солнце взойдет точно на востоке, пройдет наиболее высокую точку Z_{P2} и сядет точно на западе. Наблюдатель 3 будет видеть Солнце скользящим по горизонту.

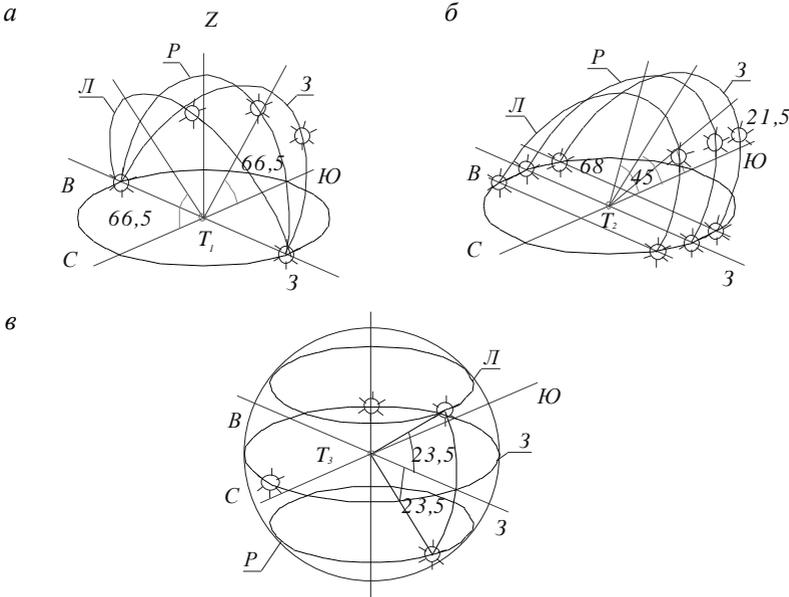


Рисунок 63 — Траектории движения Солнца для равноденствия, наблюдаемые:
 а — на широте 90° (полюс); б — на широте 45° ;
 в — на широте 0° (экватор)

В период зимнего солнцестояния ($\theta = 66,5^\circ$) те же наблюдатели увидят совершенно другую картину. Для наблюдателя 1 на экваторе Солнце взойдет точно на востоке, затем подыметься до наиболее высокой точки Z_{31} и сядет точно на западе. Наблюдатель 2 увидит восход Солнца несколько смещенным от точки востока в сторону севера, затем Солнце подыметься в точку Z_{32} и сядет в точку, смещенную от истинного запада на север. Наблюдатель 3 на полюсе Солнца вообще не увидит.

Летнее солнцестояние ($\theta = 113,5^\circ$) имеет свою специфику. Наблюдатель 1 на экваторе увидит восход Солнца точно на востоке, затем оно подыметься в точку $Z_{Л1}$ с угловой высотой ($h_\delta > 90^\circ$). Это значит, что наблюдатель на экваторе увидит Солнце в северном полушарии, затем оно сядет точно на западе. Наблюдатель 2 увидит восход Солнца смещенным к югу, затем оно подыметься в точку $Z_{Л2}$ и опустится в точку заката, смещенную на юг от точки запада. Наблюдатель 3 увидит Солнце над горизонтом на постоянной высоте, равной углу между перпендикуляром к плоскости эклиптики и осью Земли.

9.2.7 Определение угловой высоты Солнца

При движении Солнце подымается до наибольшей угловой высоты h_δ ровно в полдень 12 часов по местному времени. Так как Земля вращается равномерно с угловой скоростью 15 град/час, то Солнце должно опуститься до наиболее низкой угловой высоты h_n ровно через половину суток, т.е. в 24 часа (полночь). Эта точка во всем мире принята за начало отсчета времени суток (0 часов). Определить угловые высоты Солнца h_δ и h_n можно, так как именно в эти два момента угол θ , и угол, под которым видно Солнце, находятся в одной плоскости. Во все остальные часы суток угол θ уходит из этой плоскости.

Угловую высоту Солнца в полдень и полночь можно рассчитать по формулам

$$h_\delta = \theta - \text{Ш}^\circ, \quad (60)$$

$$h_n = \theta + \text{Ш}^\circ - \pi. \quad (61)$$

9.2.8 Расчет траектории движения Солнца

На рисунке 64 изображена траектория движения Солнца в один из летних месяцев в северном полушарии: Солнце в полдень сориентировано точно на юг по отношению к наблюдателю T , восходит в точке B — восход (слева), если смотреть на юг, и заходит на западе $З$ (справа).

Определить высоту Солнца в полдень H_δ и в полночь H_n , зная соответствующие угловые высоты Солнца h_δ и h_n , возможно по формулам

$$H_\delta = \sin(\theta - \text{Ш}^\circ); H_n = \sin(\theta - \text{Ш}^\circ - \pi). \quad (62)$$

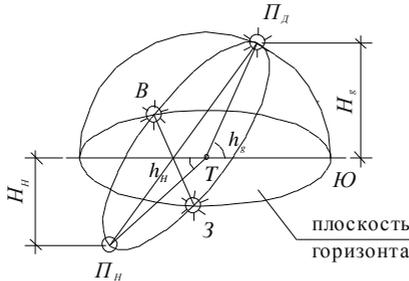


Рисунок 64 — Схема к расчету высоты Солнца

Плоскость, в которой вращается Солнце, как бы поднята над плоскостью горизонта, а ее центр $\mathbf{Ц}$ является центром основания конуса с вершиной в точке \mathbf{T} . Образующей этого конуса является радиус полушеры $R_o = \mathbf{I}$. При этом телесный угол у вершины конуса зависит от угла θ , т.е. от времени года. Схема к расчету траектории движения Солнца приведена на рисунке 65.

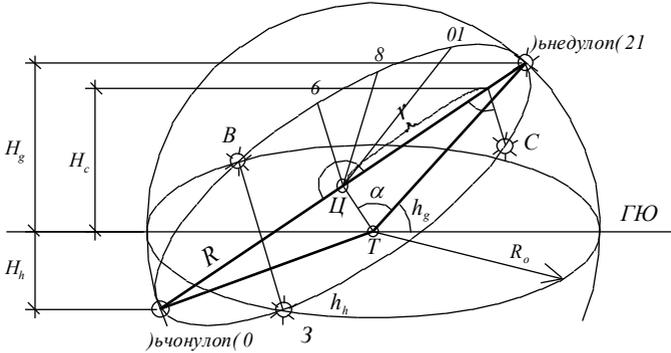


Рисунок 65 — Схема к расчету траектории движения Солнца

Для любого времени суток и периода года высоту Солнца H_C в полусфере единичного радиуса над горизонтом можно рассчитать по формуле

$$H_C = \frac{[\sin(\theta - \Pi^\circ) - \sin(\theta - \Pi^\circ - \pi)] \cdot (\cos A^\circ + 1)}{2}. \quad (63)$$

Для определения угловой высоты Солнца можно использовать зависимость

$$h_o = \arcsin h. \quad (64)$$

9.2.9 Построение траектории движения Солнца

Порядок построения траектории движения Солнца относительно точки, лежащей на известной широте, для любого времени суток и периода года (рисунок 66).

1. Определить угол β (место размещения Земли на орбите).
2. Определить угол θ (между световым вектором и осью Земли).

3. Определить угловую высоту Солнца в полдень h_0 и полночь h_n .

4. Изобразить разрез небосвода по меридиану С—Ю, как полу-сферу радиусом $R_H = 1$ (в удобном масштабе).

5. От линии горизонта (С—Ю) из центра T меридиональной плоскости отложить угловую высоту Солнца в полдень h_0 (вверх от С—Ю) и в полночь h_n (вниз от С—Ю), получив точки 12 и 24.

6. Линия, соединяющая точки 12 (полдень) и 24 (полночь), дает проекцию траектории движения Солнца. Точка Π — точка пересечения перпендикуляра, проведенного из точки T , с линией 12—24, — центр траектории.

7. Изобразить план небосвода (окружность) с радиусом R_H из центра T' . Спроецировать на линию С'—Ю' точки 12, 24 и Π .

8. Из точки Π' провести две окружности с радиусами R и r .

9. Окружность с центром Π' разделить на 24 равные части (по 15°) и провести радиальные линии через центр Π' .

10. Из точки пересечения радиальной линии с окружностью радиусом R провести линию, параллельную линиям С'—Ю', а из точки пересечения радиальной линии с окружностью, радиусом r провести линию перпендикулярную линии С'—Ю'. Точка пересечения полученных линий (определяется для каждого часа) и будет проекцией Солнца для данного часа на горизонтальную плоскость.

Все эти построения вспомогательные и выполняют тонкими линиями.

11. Кривая, соединяющая горизонтальные проекции Солнца через каждый час, является горизонтальной проекцией траектории движения Солнца.

12. Через полученные точки проекций Солнца и центр T провести линии (выделить толщиной 0,5 мм или цветом), которые являются горизонтальными почасовыми проекциями солнечных лучей.

13. Чтобы определить высоту Солнца в любое время суток, необходимо провести от заданного времени (например, 7 часов) вертикальную линию до пересечения с линией 12—24. Через полученную точку $7a$ провести горизонтальную линию до пересечения с границей полу-сферы (точка $7b$). Соединить точку $7b$ с центром T . Угол между этой линией и линией горизонта — угловая высота Солнца h_7 в семь часов утра. Она такой же будет в 17 часов вечера.

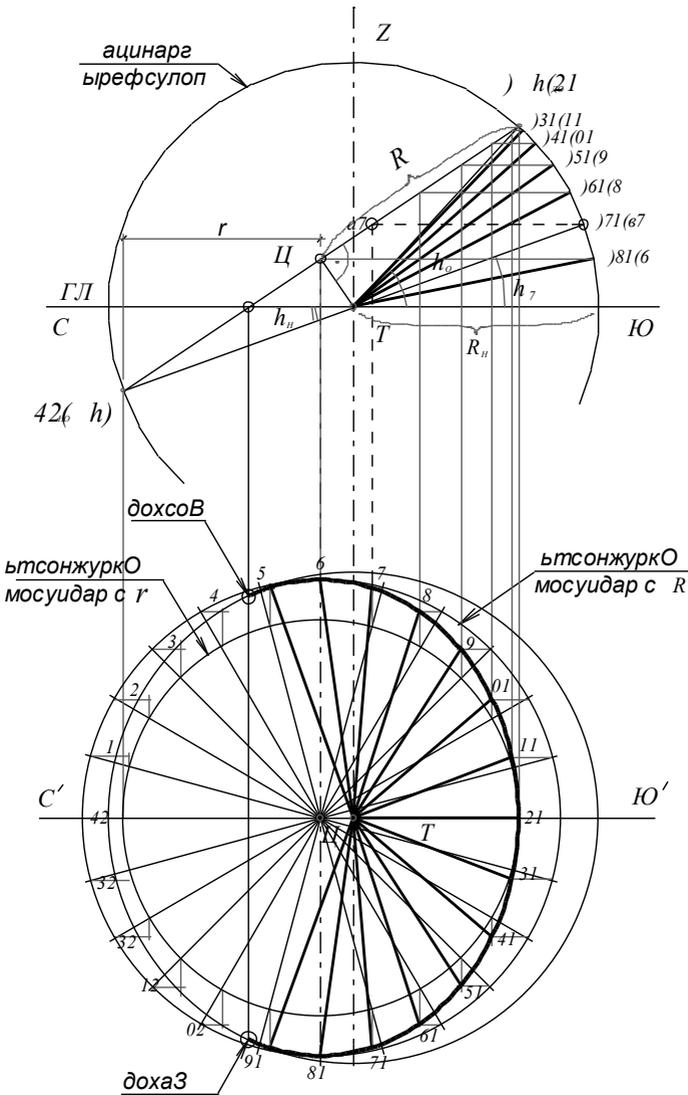


Рисунок 66 — Построение траектории движения Солнца

9.3 Расчет и обеспечение инсоляции

Под расчетом инсоляции понимают комплекс средств и приемов, которые следует предусматривать в проекте с целью создания комфортной свето-пространственной среды существования человека, в которой находятся здания, сооружения и городские ансамбли. При проектировании можно существенно влиять на инсоляцию проектируемого объекта: во-первых, на стадии объемно-планировочной разработки здания, сооружения; во-вторых, при разработке генерального плана, в-третьих, при проектировании ограждающих конструкций, в первую очередь, светопрозрачных.

9.3.1 Объемно-планировочные решения

Расчетные комнаты квартиры — комнаты, которые должны обеспечиваться нормированной инсоляцией: не менее одной комнаты в 1-, 2- или 3-комнатных квартирах; не менее двух комнат в 4- и 5-комнатных квартирах. Для всего здания за расчетную принимают планировочную комнату на уровне первого этажа.

Расчетные стороны жилых зданий — стороны, на которые ориентированы расчетные комнаты.

Световые углы светопроема (окна и системы окон с лоджиями и балконами) — горизонтальные и вертикальные углы, в пределах которых в помещение поступают прямые солнечные лучи, рассеянный свет от небосвода и отраженный свет, отраженный от противостоящих зданий и подстилающей поверхности.

Солнечное время — система отсчета суточного времени, в которой за настоящий полдень принят момент прохождения Солнца через вертикальную плоскость меридиана, пересекающего заданную точку на поверхности земли (это местное время).

Живое сечение светопроема — это часть общего сечения светопроема, через которую в помещение проникают прямые солнечные лучи.

Расчетная точка инсоляции — для жилых и общественных зданий считают точку геометрического центра расчетного окна расчетной комнаты; проведенную из этой точки нормаль к плоскости окна называют *осью окна*. За расчетную точку инсоляции городского ансамбля принимают точку на поверхности земли.

Продолжительность инсоляции — время непрерывного (допускается с одним разрывом в 30 мин.) проникновения прямых солнечных лучей в помещение (рисунки 67).

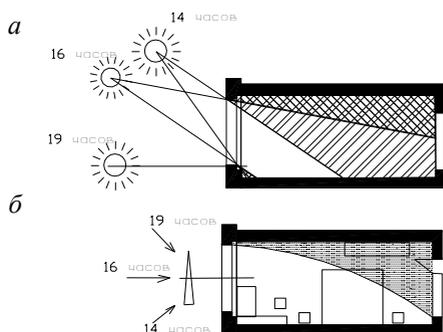


Рисунок 67 — Схема инсоляции помещения: а — в разрезе; б — в плане

В объемно-планировочном решении следует разместить вспомогательные (не требующие инсоляции) и основные помещения; выбрать их форму (круглые в плане помещения инсолируются лучше, чем квадратные или прямоугольные), форму всего здания, его высоту, разместить в нужном месте лоджии, балконы и эркеры (рисунок 68).

Инсоляцию помещения можно изменить размещением комнаты по отношению к наружной стене. Отсутствие или наличие балконов над окном создает совершенно разные условия инсоляции. На инсоляцию помещений влияют размеры, форма и место размещения окна.

9.3.2 Мероприятия при решении генплана

Гарантийная инсоляционная зона (ГИЗ) — минимально необходимое пространство перед главной расчетной стороной здания, служащее для нормального обеспечения инсоляцией расчетных точек.

Градостроительную маневренность жилых зданий определяют на основании нормативных требований по инсоляции. Она характеризует возможность ориентации этих зданий по отношению ко всей окружности горизонта, принимаемой за 100 %.

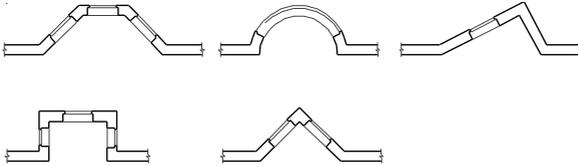
Инсоляцию территории или помещения измеряют продолжительностью в часах, площадью облучения и глубиной проникновения солнечных лучей в помещение.

Размещая здание на генеральном плане при удовлетворительных характеристиках участка территории, природно-климатических, геологических и прочих, проектировщик может существенно повлиять на инсоляционный режим в помещении ориентацией здания (рисунок 69).

а



б



в



Рисунок 68 — Примеры объемно-планировочных решений: а — зданий;
б — формы планов эркеров; в — ограждения лоджий и балконов

Под *ориентацией здания* понимают такое размещение здания, чтобы угол (азимут) между осью расчетного окна и южным направлением был в рекомендуемом секторе. Это относится в первую очередь к жилым и ряду общественных зданий, таких, как школы, детские сады, культурно-оздоровительные здания, техникумы, институты и т.д.

Требования к размещению зданий на генплане, их инсоляции и солнцезащиты приведены в [8], а некоторые из них сведены в таблицу 13.

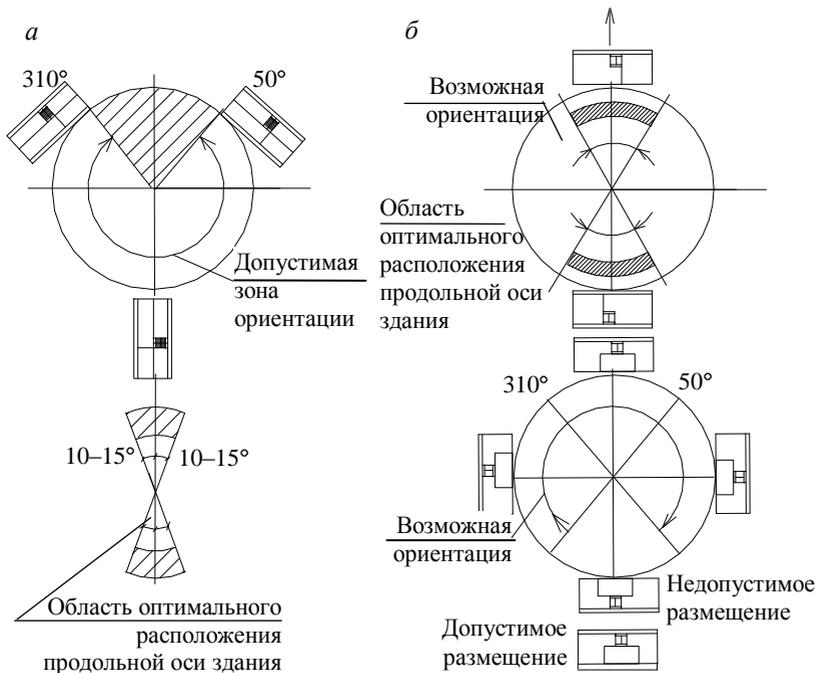


Рисунок 69 — Схемы ориентации домов: *а* — меридионального; *б* — широтного; *в* — частично ограниченной ориентации

После ориентации здания с учетом инсоляции, необходимо определить расстояние между зданиями и их взаимное расположение в системе застройки, что существенно влияет на инсоляцию жилищ (рисунок 70).

Расстояния между зданиями определены строительными нормами [14,15].

Однако в ряде случаев расстояние необходимо определять на месте. Основой расчета является нормированный параметр инсоляции помещений и территорий внутриквартальных пространств, который определяют суммарным сектором инсоляции СИ. Сектор инсоляции не характеризует плоскость, в которой Солнце перемещается по небу. Он характеризует условную плоскость с точки зрения достаточности инсоляции. Плоскость СИ располагают наклонно к югу под углом φ к плоскости горизонта. Угол φ — вертикальный угол затенения расчетной точки T противостоящим зданием (рисунок 71).

Таблица 13 — Классификация помещений по размещению на генплане, требованиям к их инсоляции и солнцезащите

Группа помещений и участков территории	Требования к инсоляции	Требования к солнцезащите	Допустимые ориентации светопроемов
I группа Жилые комнаты, детские групповые, палаты больниц, санаториев и родильных домов; детские спортивные площадки, подгруппа учебных помещений школ и ВУЗов	Обязательна	Обязательно в жаркий период	55—305° в I, II и III климатических зонах; 40—320° в IV и V климатических зонах
II группа Вестибюли, рекреации и рабочие помещения 5-8 разрядов зрительных работ	Не предъявляются	Обязательно в рекреациях только в жаркий период	360° во всех климатических зонах
III группа Лаборатории, читальные залы и рабочие помещения 1-4 разряда зрительных работ;	Не предъявляются	Обязательно использование только в течение рабочего времени	360°
IV группа Демонстрационные залы и выставочные павильоны и книгохранилища и операционные	Не предъявляются	—	—

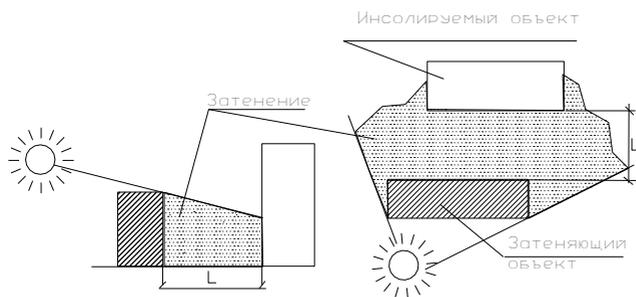


Рисунок 70 — Схема расположения зданий с учетом инсоляции

Построив сектор инсоляции, можно варьировать расстояние между зданиями, используя рельеф, зелень и т.п. (рисунок 72). Из рисунка видно, что расстояния между зданиями могут быть различными при одном и том же угле φ .

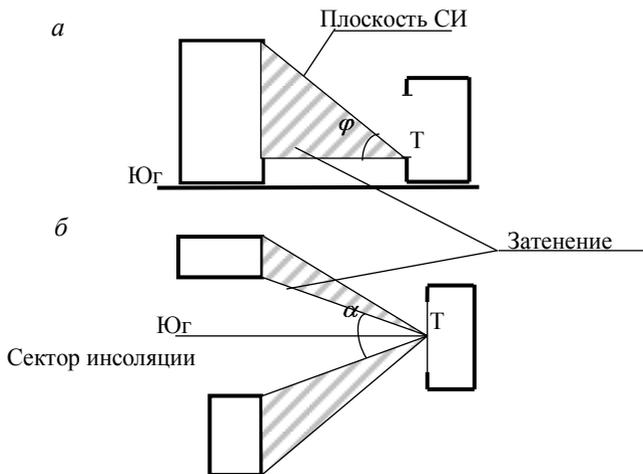


Рисунок 71 — Схема к определению сектора инсоляции: а — разрез; б — план

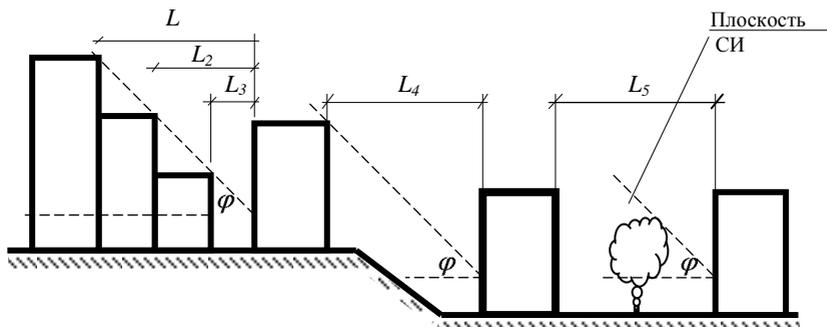


Рисунок 72 — Определение расстояний между зданиями по сектору инсоляции

Угол φ определяют по формуле

$$\varphi = 20^\circ + (1 + \cos \text{Ш}^\circ), \quad (65)$$

где Ш° — географическая широта (в градусах).

Зная величину сектора инсоляции (таблица 14), угол наклона φ плоскости СИ к горизонту, учитывая симметричность сектора инсоляции относительно направления лучей полуденного Солнца (Ю—С), можно определить продолжительность инсоляции.

Таблица 14 — Нормативные значения сектора инсоляции СИ

Помещения и участки территории	СИ, град.
Не менее, чем одной жилой комнате в одно-, двух-, трехкомнатных квартирах; не менее, чем в двух комнатах многокомнатных квартир; в спальнях домов отдыха, санаториев и пансионатов, в учебных помещениях школ, на детских игровых площадках, плавательных бассейнов, в некоторых гостиницах и комнатах общежитий (не менее 60 % помещений)	45
В палатах больниц и родильных домов, игровых комнатах детских садов и яслей	50
<i>Примечание</i> — При определении суммарного сектора инсоляции минимальное значение одного из составляющих секторов инсоляции должно быть не менее 15 %.	

Пример. Необходимо оценить с точки зрения инсоляции детскую игровую площадку, размещенную возле многоэтажных домов в Белгороде (рисунок 73).

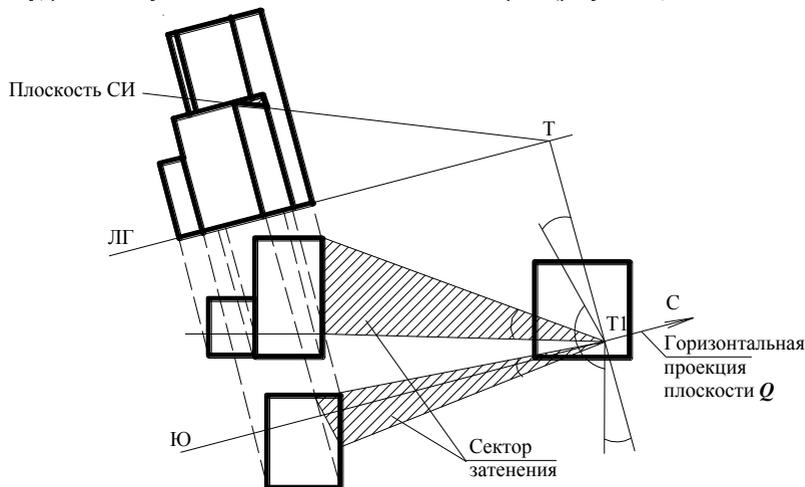


Рисунок 73 — Схема оценки инсоляции детской игровой площадки, размещенной возле многоэтажных жилых домов

Расчетная точка T взята на поверхности игровой площадки. Она подвержена наиболее вероятному затенению (можно оценить инсоляцию и в нескольких точках). На генеральном плане в тонких линиях изображен сектор СИ. Его угол $\alpha = 45^\circ$.

Для решения задачи необходимо изобразить жилые дома и детскую площадку в секущей плоскости, проведенной через расчетную точку T параллельно направлению С—Ю. Для этого на расстоянии (произвольном) от плана провести линию параллельно направлению С—Ю. Это линия горизонта ЛГ — основание фасадов зданий.

Через расчетную точку T под углом $\varphi \approx 33^\circ$ (для Белгорода) к ЛГ провести линию. Это вертикальная проекция плоскости Си. Плоскость СИ как бы «отрезает» верхушки домов.

На плане части зданий, попадающие в секущую плоскость, заштрихованы. Очевидно, что затенять расчетную точку T будут эти части зданий (на рисунке 73 секторы затенения выделены штриховкой).

Далее следует построить проекцию плоскости СИ на горизонтальной плоскости — на генеральном плане (рисунок 74).

Сумма углов, образованных секторами затенения, характеризует участок сектора, затененный домами для расчетной точки T . Их сумма в примере составляет 45° . Учитывая, что нормами инсоляции при положении Солнца ниже 15° над горизонтом в расчет не принимается, полный секторный угол инсоляции составляет $180^\circ - 2 \cdot 15^\circ = 150^\circ$. Следовательно, в примере не затененным будет угловой сектор, равный 74° . Нормативное значение СИ (таблица 14) составляет 45° .

Таким образом, размещение детской площадки возле многоэтажных домов с точки зрения суммарной инсоляции допустимо.

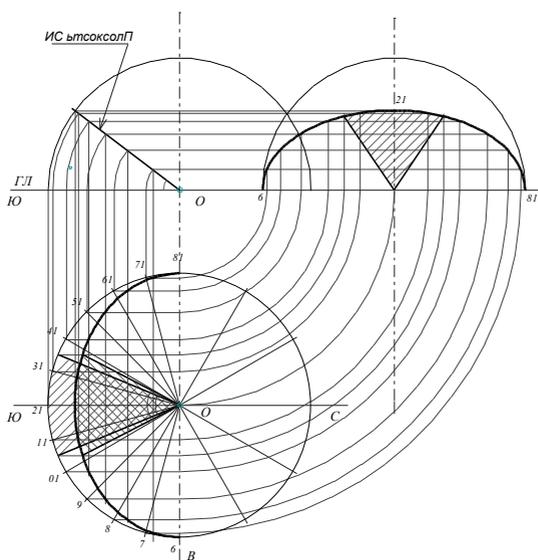


Рисунок 74 — Схема построения сектора инсоляции (для Белгорода)

Проектировщик на стадии решения генерального плана может существенно повлиять на инсоляцию, используя влияние на нее рельефа местности со сложившимся природно-географическим ландшафтом; предусмотреть зеленые насаждения, искусственно изменить водоемы, разумно «облагородить» рельеф и др.

9.3.3 Построение конверта теней

При проектировании часто приходится оценивать ситуацию и определять реальное время затенения или инсоляции объектов, гарантийную зону инсоляции, предусматривать градостроительную маневренность застройки и др. Для решения этих задач одним из условий является построение теней от зданий или групп зданий, зеленых насаждений и рельефных образований на плане застройки и на самих зданиях. От длины тени зависит время ее воздействия на архитектурный объект. Чтобы определить длины отбрасываемых теней здания в различные часы дня, достаточно определить длины отбрасываемых теней от одного шеста (рисунок 75, *а*). Азимуты теней и угловые высоты солнечных лучей для заданных часов суток определяют построением траектории движения Солнца (см. рисунок 75, *б*).

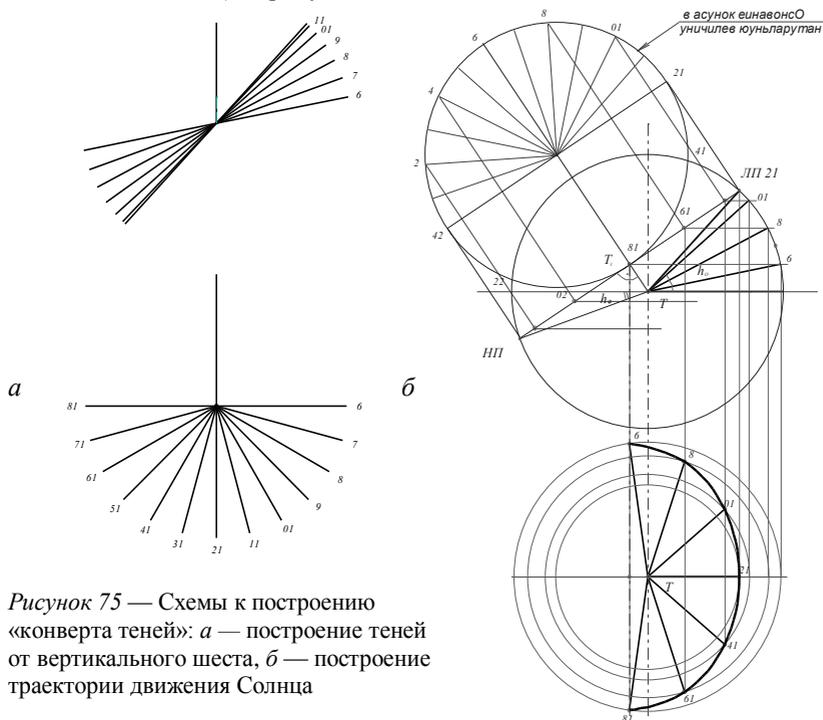


Рисунок 75 — Схемы к построению «конверта теней»: *а* — построение теней от вертикального шеста, *б* — построение траектории движения Солнца

Таким образом, можно построить контур теней от группы зданий, определить затененные зоны в расчетный период и с учетом этого размещать на генеральном плане объекты (рисунок 76).

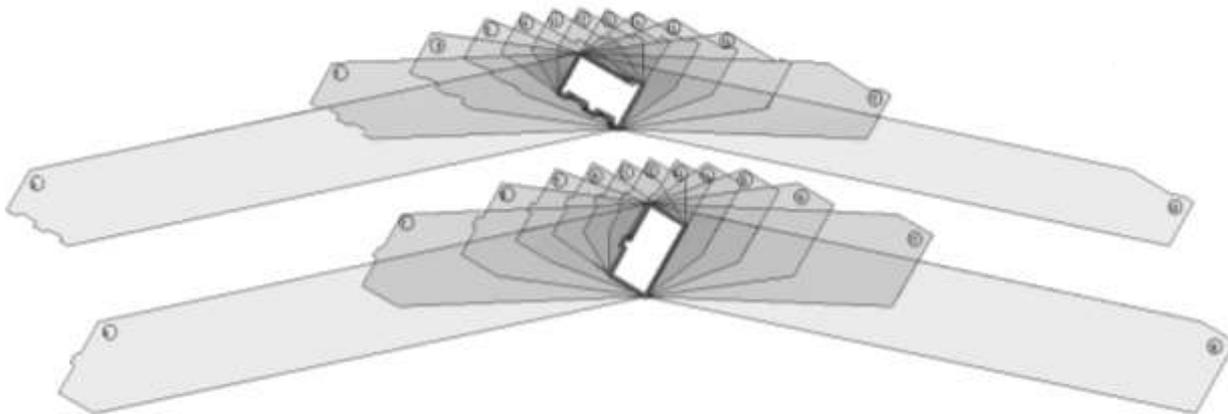


Рисунок 76 — Пример построения «конверта теней» от зданий на генеральном плане

9.3.5 Конструктивные мероприятия

Обеспечение инсоляции может быть реализовано и другими средствами, в частности конструктивными. Некоторые из них приведены в таблице 15.

При проектировании солнцезащитных приспособлений необходимо учитывать четыре группы требований: функциональные, технические, архитектурно-художественные и экономические.

Функциональные требования должны быть обусловлены функцией здания (помещения), здесь же должны быть четко определены временные параметры солнцезащиты, ее качество.

На стадии обеспечения технических требований необходимо подобрать конструкцию солнцезащитных устройств, материал, из которого они будут изготовлены, разработать правила эксплуатации и др.

При обеспечении архитектурно-художественных требований необходимо учесть два основных фактора: во-первых, солнцезащитные приспособления призваны создавать комфортные условия микроклимата помещения освещения, солнцезащиты и температуры; во-вторых, солнцезащитные устройства являются мощным фактором архитектурной выразительности здания. Указанные факторы следует рассматривать в комплексе.

Экономические требования воздействуют на все приведенные выше требования.

Все требования к солнцезащитным приспособлениям могут быть удовлетворены при комплексном решении проблем. Если одно из требований не выполнено, неизбежно появление ошибок.

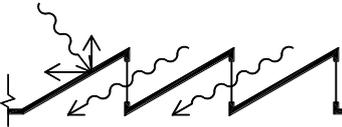
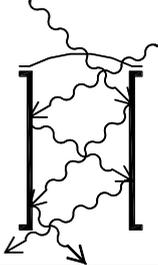
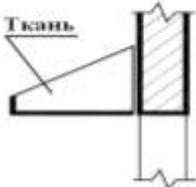
В этом издании приведена только часть средств и приемов обеспечения инсоляции, которыми обязан владеть проектировщик. В каждом конкретном случае могут быть свои оригинальные решения, не похожие на приведенные.

Кроме показанных в таблице конструктивных средств, часто используют технические. Одним из них является кондиционирование воздуха, используемое для любых зданий: жилых, общественных и промышленных. В южных странах для охлаждения помещений часто используют бассейны на кровле. На городской территории применяют водоразбрызгивающие устройства, в медицинских целях — солнцезащитный воздушный бассейн для группового облучения рассеянной ультрафиолетовой солнечной радиацией, так называемый солярий и т.п.

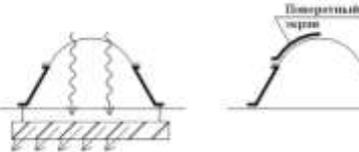
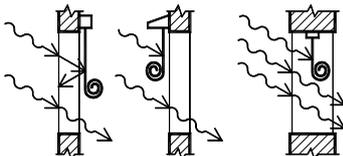
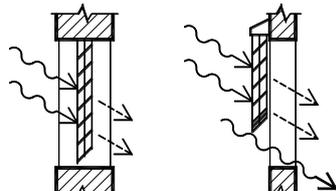
Таблица 15 — Конструктивные солнцезащитные и светорегулирующие средства

Наименование СЗУ	Конструктивная схема	Область применения	Рациональный сектор ориентации	Климатическая зона	Материал
1	2	3	4	5	6
Затененные элементы зданий					
Профиль ограждающих конструкций здания		Общественные, жилые и промышленные здания	45°—135° 225°—315°	III—V	Любой материал, используемый для стен
Размещение и форма фонарей		Общественные и промышленные здания	330°—30°	III—V	—

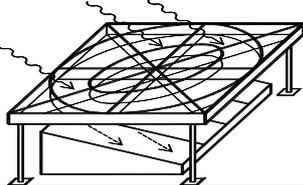
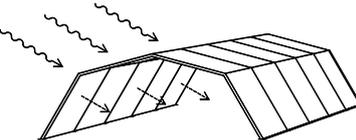
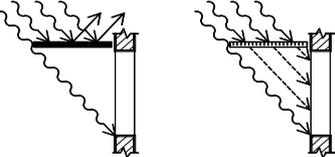
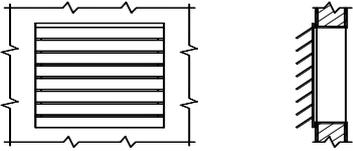
Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6
Шедовые фонари		Промышленные здания	90°—270°	II—V	—
Фонари со световыми шахтами		Общественные и промышленные здания	360°	III—V	—
Солнцезащитные и светорегулирующие устройства					
Маркизы		Общественные здания (торговли, отдыха, спорта)	45°—315°	IV—V	Ткань, алюминий, пластик

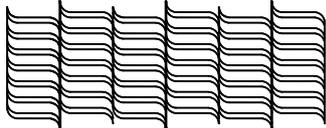
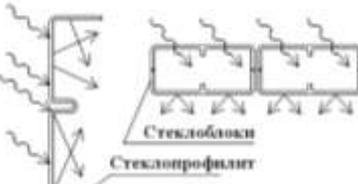
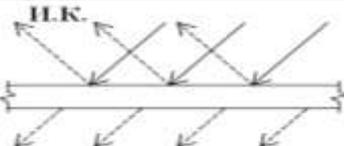
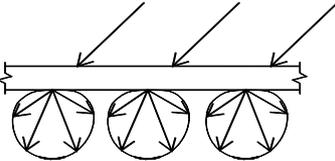
Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6
<p>Жалюзи в подфонарном пространстве. Защитные экраны</p>		<p>Общественные и промышленные здания</p>	<p>360°</p>	<p>III—V</p>	<p>—</p>
<p>Шторы сворачиваю- щиеся</p>		<p>Общественные и жилые здания</p>	<p>45°—315°</p>	<p>II—V</p>	<p>Ткань, пластик</p>
<p>Шторы-жалюзи</p>		<p>Общественные и жилые здания</p>	<p>45°—315°</p>	<p>II—V</p>	<p>Алюминий, пластик</p>

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6
Солнцезащитный диффузор над зенитным фонарем		Общественные и промышленные здания	330°—30°	III—V	Алюминий, сталь
Целярий		Медицинские учреждения	—	II—V	Дерево, алюминий
Козырьки		Общественные и промышленные здания	135°—225°	II—V	Дерево, алюминий, пластик, асбестоцементные листы
Жалюзи стационарные и регулируемые		Жилые, общественные и промышленные здания	горизонтальные		Дерево, алюминий, пластик, асбестоцементные листы
			90°—27°	II—V	
			вертикальные		
			45°—90°	II—V	
27°—315°					
комбинированные					

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6
Солнцезащитная пространственная сетка		Общественные и промышленные здания	135°—30° 225°—330°	II—V	Алюминий
Солнцезащитные светопропускающие материалы					
Фигурное стекло	 Стеклоблоки Стеклопрофилит	Общественные и промышленные здания	—	II—V	—
Теплоотражающее стекло	 И.К.	Общественные и промышленные здания	45°—315°	II—V	Металлизированное покрытие, стекло особого состава
Светорассеивающее стекла		Общественные и промышленные здания, частично — жилые	—	II—V	Стекла со специальными добавками и специальной обработкой поверхности

ВЫВОДЫ к разделу 4.

Создание заданного светового режима в проектируемых помещениях базируется на закономерностях строительной светотехники. Для обеспечения оптимального светового режима в светотехнике используют архитектурно-строительные средства (размеры и расположение светопроемов, их конструкции и светопрозрачные материалы) и инженерно-технические (сети и приборы искусственного освещения). Выбор системы естественного освещения помещений определяет функциональный процесс. Таким образом, проектирование естественного освещения — сложная задача, решить которую механическим переносом приемов светотехнического расчета из одного проекта в другой невозможно.

Инсоляция и солнечная радиация могут оказывать как положительное, так и отрицательное действие. Инсоляция и радиация влияют на температурный и световой режим помещений.

Вопросы для самопроверки.

1. Дайте определение светотехнической величины — световой поток.
2. Дайте определение светотехнической величины — сила света.
3. Дайте определение светотехнической величины — яркость.
4. Дайте определение освещенности.
5. Дайте определение коэффициента ослабления.
6. Дайте определение оптической толщины атмосферы.
7. Дайте определение оптической массы.
8. Дайте определение коэффициента светопропускания.
9. Дайте определение коэффициента отражения.
10. Дайте определение коэффициента поглощения.
11. Охарактеризуйте процесс прохождения света через атмосферу.
12. Сформулируйте основной закон взаимодействия света с веществом.
13. Какие виды естественного освещения применяют в зданиях?
14. Как осуществляют нормирование бокового естественного освещения?
15. Как нормируют верхнее естественное освещение?
16. Последовательность расчета бокового освещения.
17. Последовательность расчета верхнего освещения.
18. Последовательность расчета комбинированного освещения.

19. В чем заключается расчет геометрического коэффициента естественной освещенности по методу Данилюка?
20. Дайте определение инсоляции.
21. Дайте определение понятий: эклиптика, перигелий, афелий.
22. Что такое «световой вектор».
23. Перечислите положительные воздействия инсоляции.
24. Перечислите отрицательные воздействия инсоляции.
25. Отчего происходит смена времен года.
26. Что такое «время».
27. Как определить местное время.
28. Зачем введено поясное время.
29. Какое значение имеет декретное время.
30. Как определить высоту Солнца.
31. Как рассчитать траекторию движения Солнца.
32. Как пользоваться сектором инсоляции.
33. Перечислите конструктивные солнцезащитные устройства.
34. Перечислите светорегулирующие устройства.

ВЫВОДЫ

Проектирование зданий как искусственной среды жизнедеятельности должно обеспечивать такое состояние среды, которое воспринимает человек как комфортное. Забота о создании комфортной среды проявляется на всех этапах проектирования. Этому способствует правильное решение архитектурных задач по назначению размеров помещений, их пропорций, размеров проемов, связи с окружающей средой, а также целесообразный выбор конструкций и инженерного оборудования. Только при правильном решении технических задач могут быть обеспечены необходимый уровень тепло-, звуко-, гидроизоляции помещений, оптимальные параметры воздушной среды, световой комфорт. Значимость этих факторов различна, но достаточно несоблюдения хотя бы одного из них, чтобы комфортное состояние среды превратилось в дискомфортное. В связи с этим комфорт внутренней среды определяет совокупность оптимальных уровней всех характеристик, не вызывающих чрезмерного напряжения регуляторных механизмов организма человека.