

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Алтайский государственный технический  
университет им. И.И. Ползунова»

**В. Л. Орлов, М. А. Гумиров,  
А. В. Векман, В. В. Быкова**

# **ЛЕКЦИИ ПО СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКЕ**

Учебное пособие

Изд-во АлтГТУ

Барнаул • 2013

ББК 38.113

Орлов В. Л. Лекции по строительной физике: учебное пособие / В. Л. Орлов, М. А. Гумиров, А. В. Векман, В. В. Быкова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2013. – 71 с.

ISBN 978-5-7568-0998-5

Учебное пособие предназначено для студентов вузов технических специальностей, для которых строительная физика эффективно используется в инженерной практике. В первую очередь для студентов строительного факультета обучающихся по направлениям: 270800 – Строительство и 270100 – Архитектура, а также студентов металлургических и механических факультетов. В пособии изложены основные физические представления о климатических нормах в строительстве, способы тепловой и акустической защиты зданий и сооружений, а также основы строительной светотехники.

Рецензенты: Ю. Ю. Крючков, д.ф.-м.н., профессор (ТПУ);  
В.Н. Лютов, к.т.н., доцент (АлтГТУ)

ISBN 978-5-7568-0998-5

© Орлов В.Л., Гумиров М.А., Векман А.В., Быкова В.В., 2013

© Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова, 2013

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	5
Часть 1. ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЛИМАТОЛОГИИ .....	6
Лекция 1. Информация о климате и климатических нормативах для строительства .....	6
1.1 Определение климата .....	6
1.2 Краткая история создания климатических нормативов для строительства .....	7
Лекция 2. Основные характеристики климата и их значение при проектировании .....	11
2.1 Основные климатические характеристики.....	11
2.2 Климатическое районирование в строительстве .....	19
2.3 Учет климатических факторов при проектировании зданий и населенных мест .....	20
Часть 2. ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОТЕХНИКИ .....	22
Лекция 3. Теплозащитные свойства ограждения .....	22
3.1 Передача тепла через ограждения .....	22
3.2 Теплофизический расчет ограждающих конструкций при установившемся потоке .....	24
3.3 Расчет толщины ограждения .....	25
3.4 Расчет толщины ограждения с воздушной прослойкой .....	27
3.5 Расчет толщины ограждения с включениями .....	28
3.6 Графический метод определения температур внутри ограждения .....	29
Лекция 4. Обеспечение защитных свойств ограждения .....	31
4.1 Передача тепла через ограждения в нестандартных условиях .....	31
4.2 Воздухопроницаемость ограждений .....	33
4.3 Влажностный режим ограждений .....	35
Часть 3, ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ И АРХИТЕКТУРНОЙ АКУСТИКИ .....	42
Лекция 5. Звукоизоляция помещений .....	42
5.1 Общие понятия о звуке и его свойствах .....	42
5.2 Проникновение звука через ограждающие конструкции .....	44
5.3 Звукоизоляция. Оценка звукоизоляции .....	45

5.4 Звукоизоляция от ударного шума .....	48
5.5 Меры защиты от шума .....	50
5.6 Архитектурная акустика .....	52
Часть 4. ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ СВЕТОТЕХНИКИ .....	53
Лекция 6. Общие положения светотехники .....	53
6.1 Природа света .....	53
6.2 Основные светотехнические величины .....	53
6.3 Факторы, влияющие на световосприятие .....	54
6.4 Расчет КЕО для помещений с прозрачным остеклением боковых окон .....	57
6.5 Нормативы естественной освещенности .....	60
Лекция 7. Инсоляция .....	62
7.1 Общие положения .....	62
7.2 Основы расчета инсоляции .....	64
7.3 Расчет и обеспечение инсоляции .....	66
ЛИТЕРАТУРА .....	71

## Введение

*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, выбор 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*.

# Часть 1. ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЛИМАТОЛОГИИ

## Лекция 1. ИНФОРМАЦИЯ О КЛИМАТЕ И КЛИМАТИЧЕСКИХ НОРМАТИВАХ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

### 1.1 Определение климата

*Климатологией* называется наука, изучающая 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 наклона, под каким 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 1.1). Отсюда и произошло название «климат». Климаты Земли делились по астрономическому признаку в соответствии со средней высотой солнца и продолжительностью дня.

На основании метеорологических наблюдений были установлены климатообразующие факторы: астрономические, географические и зависящие от них циркуляционные. К ним относятся: солнечная радиация, атмосферная циркуляция, характер земной поверхности. Этими факторами и их взаимодействием определяется *погода* – состояние атмосферы за короткий промежуток времени. Погода изо дня в день может меняться или повторяться, а климат – постоянен.

*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.

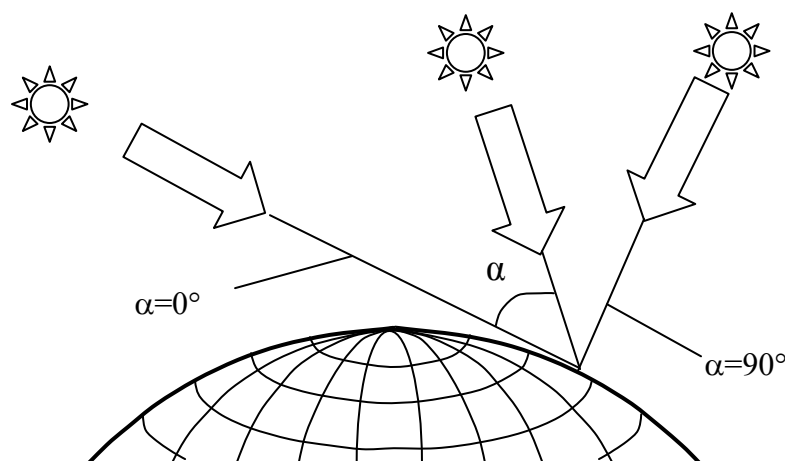


Рисунок 1.1 – К определению понятия «климат»

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. Климат характеризуется однотипными показателями метеорологических элементов над обширными территориями.

Приток солнечной радиации является одним из важнейших факторов, определяющих климат на поверхности Земли. Однако тепло может поступать не только непосредственно от солнца. После преобразования радиации в атмосфере, тепло переносится воздушными потоками, т. е., благодаря атмосферной циркуляции, из низких, в более высокие широты.

В холодное время года воздушными течениями тепло переносится также 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. Например, средняя январская температура воздуха в Калининграде около 0 °С, а на той же широте в Новосибирске около – 20 °С. Летом в Калининграде прохладно, в Новосибирске – жарко. По той же причине у моря теплее, чем на материке, и 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 всей 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. Водяной пар и облака переносятся воздушными течениями. Из облаков выпадают осадки. Благодаря циркуляции осуществляется влагооборот, который также оказывает влияние на атмосферную циркуляцию: водяной пар и облака уменьшают прозрачность атмосферы и приводят 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. Влияние гор сказывается на климате близлежащих территорий: в долинах, на склонах.

На климат оказывают влияния озера, реки, вид и форма земной поверхности. Вода, лес, вспаханная почва поглощают тепло. Пространства, покрытые снегом и льдом, большую часть светового излучения отражают.

При исследовании климата района не только определяют его основные показатели, но и изучают взаимодействие основных климатообразующих факторов.

## **1.2 Краткая история создания климатических нормативов для строительства**

Учет влияния климата производится как в стадии планирования, так и стадии проектирования объектов. От правильности учета этого влияния зависит правильность выбора места для города, фабрики, завода. Климатом определяет-

ся архитектурно-планировочное решение объектов строительства, от него зависит длительность эксплуатации сооружений, комфортность условий работы, проживания и отдыха человека.

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. Правильность учета климата определяется показателями, входящими в СНиП. 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, стали применяться сравнительно недавно. Это не значит, что ранее совсем не учитывалось влияние климата на жилище человека. Например, на основе опыта в северных снежных районах строились низкие бревенчатые дома с соломенными крышами. В южных жарких районах строились 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 созданы определенные типы жилищ, которые стали традиционными для каждого народа и по существу отражают учет влияния на них местных природно-климатических условий. В настоящее время архитекторы изучают опыт постройки народных жилищ в различных климатических районах и используют его при планировке современных городов и при проектировании зданий.

Однако с развитием капитализма городские дома стали строить без учета санитарно-гигиенических требований. Особенно часто нарушались 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 в. 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 Д. 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 приводится 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. Эти лестницы покрывались снегом и гололедом, затрудняя связь жителей домов с внешним миром.

В результате увлечения модой советскими архитекторами в некоторых северных городах СССР были построены дома с балконами и лоджиями. Эти



летние помещения зимой заносятся снегом, а летом мешают проникновению солнечного света в квартиры.

После Второй мировой войны положение резко изменилось. Строители поняли необходимость учета климатических условий в процессе планирования и проектирования зданий. После Великой Отечественной войны в СССР началось строительство с небывалым размахом, превосходящим размеры строительства любой страны мира. В 60-х годах отношение строящейся жилой площади к числу жителей страны было вдвое больше, чем в США, Англии и Франции. На строительство зданий и различных сооружений стали ассигноваться 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 нашей 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 ГОСТам и строительным нормам можно проследить историю развития строительной климатологии в СССР.

*1930 год.* Изданы «Правила и нормы застройки населенных мест, проектирование», 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 ограничивались толщиной стен зданий: в первом районе толщина стены предусматривалась не менее 2½ кирпича, во втором – 2 кирпича, в третьем и четвертом – 1½ кирпича.

*1938 год.* В Нормах уточняется ориентировка жилых комнат в квартирах с учетом широты места. Впервые приведены расчетные температуры, по которым определялась величина 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 мало внимания уделялось учету климата при строительстве зданий. В этот период 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 снеговым и ветровым нагрузкам.

1962 год. Климатические показатели выделены в отдельную главу «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» приводится на рисунке 1.2.

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

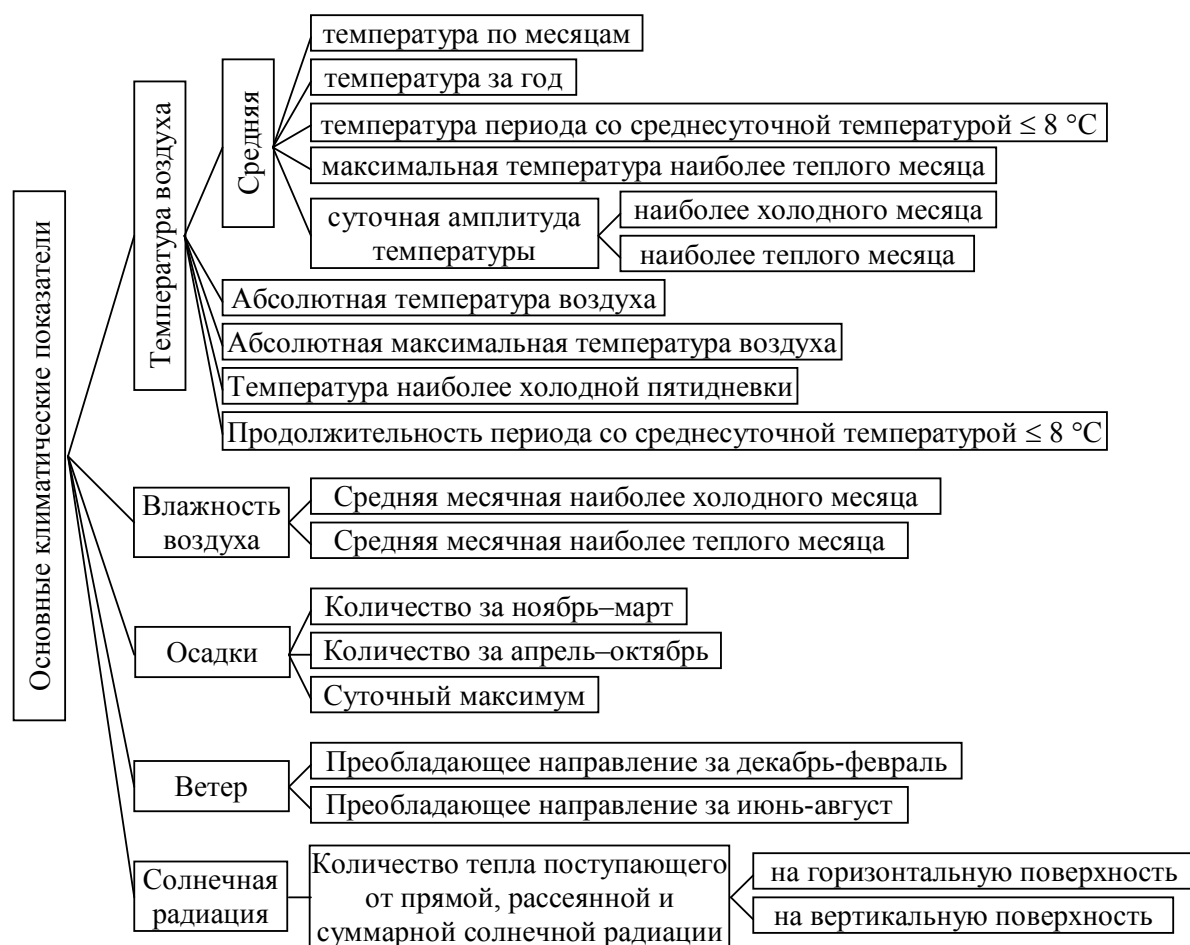


Рисунок 1.2 – Климатические показатели

## **Лекция 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 нашей страны разнообразен, многообразны его воздействия на человека, на формирование среды обитания. Без учета климата нельзя построить экономично, достаточно прочно; нельзя создать условия, благоприятные для деятельности человека.

Климат влияет на долговечность зданий – длительность их эксплуатации, что определяется 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 относятся: температура, влажность, перемещение воздуха (ветер), солнечная радиация.

Температура – один из важнейших климатических элементов. Температура в рабочее время дня зависит от средней температуры климата, за отдельные месяцы года и средней амплитуды колебаний температуры в течение суток и имеет наибольшее значение для тепловой характеристики. С учетом теплового воздействия на человека выделены следующие виды погоды:

- очень холодная (ниже  $-12^{\circ}\text{C}$ );
- холодная (от  $-12^{\circ}\text{C}$  до  $+8^{\circ}\text{C}$ );
- прохладная (от  $+8^{\circ}\text{C}$  до  $+15^{\circ}\text{C}$ );
- теплая (от  $+15^{\circ}\text{C}$  до  $+28^{\circ}\text{C}$ );
- жаркая (от  $+28^{\circ}\text{C}$  до  $+32^{\circ}\text{C}$ );
- очень жаркая (выше  $+32^{\circ}\text{C}$ ).

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  $0^{\circ}\text{C}$ . Поэтому при проектировании зданий учитывают: расчетную температуру наиболее холодных суток и пяти суток, а так же амплитуды колебаний температуры воздуха (суточные, месячные, годовые).

Влажность воздушной среды существенно влияет на влажностное состояние конструкций. Для определения влажностного режима пользуются следующими показателями.

*Абсолютная влажность  $w$  (г/м<sup>3</sup>)* – количество влаги в граммах, содержащееся в 1 м<sup>3</sup> 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 называется *стан насыщения  $W$* . Стан насыщения постоянен при заданной температуры воздуха и растет с ростом температуры.

*Предельное значение парциального давления  $E$*  соответствует полному насыщению воздуха водяными парами. Предельное значение парциального давления, как и стан насыщения, растет с ростом температуры.

Поскольку абсолютная влажность и давление водяного пара могут принимать разные значения, то на практике чаще используют относительную влажность. *Относительная влажность воздуха  $\phi$*  характеризует степень насыщения воздуха водяным паром и определяется как отношение абсолютной влажности к стану насыщения при постоянной температуре:

$$\phi = \frac{w}{W} \cdot 100 \% . \quad (2.1)$$

Поскольку абсолютная влажность и парциальное давление пропорциональны друг другу (основное уравнение молекулярно-кинетической теории), то относительная влажность воздуха может быть так же определена как отношение абсолютного парциального давления к парциальному давлению в стане насыщения:

$$\phi = \frac{e}{E} \cdot 100 \% . \quad (2.2)$$

Величина  $\phi$  влияет на интенсивность испарения влаги с любых увлажненных поверхностей. По величине  $\phi$  различают влажностный режим помещений:

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

С повышением температуры воздуха относительная влажность  $\phi$  понижается, т. к. величина парциального давления  $e$  остается постоянной, а величина  $E$  увеличивается, т. е. теплый воздух может быть более насыщен парами влаги, чем холодный. При понижении температуры относительная влажность  $\phi$  возрастает и может достигнуть 100 % и при некоторой температуре может оказаться  $E = e$ , при этом наступает состояние полного насыщения воздуха водяным

паром. Температура, при которой наступает полное насыщение воздуха водяным паром, называется *температурой точки росы*. При дальнейшем понижении температуры воздуха, внутри помещения избыток влаги переходит в жидкое состояние – конденсируется и в виде жидкости оседает на ограждении.

Величина  $\phi$  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. Например, в Москве (по материалам сайта [www.pogoda.ru.net](http://www.pogoda.ru.net)) в течение года температура наружного воздуха (таблица 2.1) редко превышает температуру внутри помещения (+18 °С), преобладает тепловой поток наружу.

Таблица 2.1 – Температура воздуха, °С (г. Москва)

Месяц	Абсолютный минимум	Средний минимум	Средняя	Средний максимум	Абсолютный максимум
I	-42,1 (1940)	-9,1	-6,5	-4,0	8,6 (2007)
II	-38,2 (1829)	-9,8	-6,7	-3,7	8,3 (1989)
III	-32,4 (1913)	-4,4	-1,0	2,6	17,5 (2007)
IV	-21,0 (1879)	2,2	6,7	11,3	28,9 (2012)
V	-7,5 (1885)	7,7	13,2	18,6	33,2 (2007)
VI	-2,3 (1916)	12,1	17,0	22,0	34,7 (1901)
VII	1,3 (1886)	14,4	19,2	24,2	38,2 (2010)
VIII	-1,2 (1885)	12,5	17,0	21,9	37,3 (2010)
IX	-8,5 (1881)	7,4	11,3	15,7	32,3 (1890)
X	-20,3 (1920)	2,7	5,6	8,7	24,0 (1915)
XI	-32,8 (1890)	-3,3	-1,2	0,9	14,5 (2010)
XII	-38,8 (1892)	-7,6	-5,2	-3,0	9,6 (2008)
год	-42,1 (1940)	2,1	5,8	9,6	38,2 (2010)

Абсолютная влажность воздуха 50÷60 % внутри помещений большую часть года ниже, чем снаружи (таблица 2.2), следовательно, преобладает движение водяного пара в помещения снаружи. В качестве меры, предупреждающей конденсационное увлажнение ограждений, в Москве предусматривают

гидроизоляционный слой ближе к внешней стороне стены (к наиболее влажной зоне ограждения).

Таблица 2.2 – Влажность воздуха, % (г. Москва)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
85	81	75	68	67	72	74	78	82	83	86	86	78

Климат Москвы – умеренно-континентальный, сильные морозы и палящий зной здесь бывают достаточно редко и имеют небольшую продолжительность. Морозы в холодный период года (существенное отклонение от нормы, более чем на 4 градуса) устанавливаются обычно на несколько дней (не больше 7–10), а жара может длиться от 2–3 дней до 1,5 месяцев (лето 1936, 1938, 1972, 2010, 2011). На климат города оказывают влияние географическое положение. Москва находится в зоне умеренного климата в центре Восточно-Европейской равнины, что позволяет свободно распространяться волнам тепла и холода. Отсутствие крупных водоемов, способствует довольно большим колебаниям температуры. Влияние оказывает и теплое течение Гольфстрим. Атлантические и средиземноморские циклоны, обеспечивают относительно высокую температуру в зимний период по сравнению с другими населенными пунктами, расположенными восточнее на той же широте (Казань, Омск, Новосибирск и др.) и высокий уровень атмосферных осадков (таблица 2.3). За год в Москве бывает около 30 гроз, в основном в период с мая по сентябрь, которые, чаще всего, вызываются местной конвекцией за счет интенсивного прогрева в теплый период. Более редкие, но наиболее сильные (внутримассовые) грозы возникают при прохождении атмосферных фронтов и наблюдаются в течение всего года, включая зиму.

Таблица 2.3 – Осадки, мм (г. Москва)

Месяц	Норма	Месячный минимум (год)	Месячный максимум (год)	Суточный максимум (год)
I	52	5 (1972)	98 (2005)	20 (1965)
II	41	2 (1984)	94 (1966)	36 (1966)
III	35	6 (1986)	88 (1966)	22 (1966)
IV	37	8 (1960)	98 (1986)	30 (1965)
V	49	7 (1986)	120 (1976)	39 (1976)
VI	80	4 (1951)	162 (1991)	63 (1970)
VII	85	6 (1997)	180 (2008)	62 (1981)
VIII	82	20 (1955)	163 (1973)	59 (2003)
IX	68	12 (2005)	131 (1996)	49 (2004)
X	71	0,5 (1987)	166 (1997)	40 (1997)
XI	55	4 (1993)	140 (1977)	30 (1967)
XII	52	13 (1953)	112 (1981)	23 (1981)
год	707	397 (1964)	882 (1998)	63 (1970)

Погоде Барнаула, находящейся под влиянием чередующихся воздушных масс с разными и, зачастую, противоположенными характеристиками, свойственна неустойчивость. Это влияет на среднюю годовую температуру воздуха (таблица 2.4), равную +2,6 °С. Это также формирует большую разницу между температурой самого тёплого месяца (июль + 19,9 °С) и самого холодного (январь –15,5 °С) равную 35,4 °С. Летние температурные максимумы в среднем приходятся на июль-август и могут достигать +37,9 °С (июль 1974 г.) и +38,3 °С (август 2002 г.). Зимние минимальные температуры приходятся на январь (до –48,2 °С в 2001 г.) и декабрь (до –43,1 °С в 1984 г.). Годовая абсолютная амплитуда температуры воздуха равна 86,5 °С.

Таблица 2.4 – Температура воздуха, °С (г. Барнаул)

Месяц	Абсолютный минимум	Средний минимум	Средняя	Средний максимум	Абсолютный максимум
I	-48,2 (2001)	-20,1	-15,5	-10,8	5,3 (1997)
II	-42,9 (1969)	-18,6	-13,7	-8,1	7,4 (1983)
III	-35,5 (1971)	-11,7	-6,6	-0,6	16,4 (1989)
IV	-27,6 (1987)	-1,2	3,8	10,1	32,3 (1997)
V	-8,8 (2000)	6,5	12,8	20,1	37,4 (1980)
VI	-1,2 (1968)	11,6	17,7	24,3	36,6 (1988)
VII	2,9 (1988)	14,0	19,9	26,3	37,9 (1974)
VIII	0,4 (1967)	11,6	17,4	24,3	38,3 (2002)
IX	-7,8 (1971)	5,6	11,0	17,7	34,0 (1966)
X	-27,0 (1976)	-0,3	3,8	9,2	27,4 (1971)
XI	-38,9 (1987)	-10,0	-6,3	-2,2	15,3 (1978)
XII	-43,1 (1984)	-17,4	-12,9	-8,6	6,3 (1996)
год	-48,2 (2001)	-2,5	2,6	8,5	38,3 (2002)

Поэтому нельзя автоматически переносить профилактические меры из одного района в другой, без учета особенностей климата, а именно, температуры и влажности воздуха. Для сравнения в таблице 2.5 представлена влажность воздуха в г. Барнаул.

Таблица 2.5 – Влажность воздуха, % (г. Барнаул)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
78	76	74	64	55	64	70	70	69	73	79	79	71

Количество выпадающих осадков (см. таблицу 6) и их интенсивность имеют большое значение при проектировании. Влияние осадков на ограждения зданий существенно.

Таблица 2.6 – Осадки, мм (г. Барнаул)

Месяц	Норма	Месячный минимум (год)	Месячный максимум (год)	Суточный максимум (год)
I	23	4 (1998)	57 (1966)	17 (1996)
II	17	0,2 (2012)	71 (1970)	21 (1970)
III	17	3 (1980)	54 (1968)	17 (1968)
IV	28	2 (1963)	97 (2004)	19 (1972)
V	40	8 (1980)	94 (2000)	25 (2001)
VI	55	4 (1988)	118 (2002)	54 (2004)
VII	68	5 (1966)	156 (1993)	66 (1990)
VIII	44	11 (1968)	116 (1969)	66 (1970)
IX	34	4 (1980)	88 (1992)	26 (1996)
X	37	11 (2008)	108 (1961)	31 (1979)
XI	37	9 (1977)	80 (2010)	30 (2009)
XII	31	1 (1967)	72 (2000)	17 (1962)
<i>год</i>	<i>431</i>	<i>258 (1973)</i>	<i>606 (1970)</i>	<i>66 (1990)</i>

При дождях с сильными порывистыми ветрами 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 ускоряется оттепелями. Более вредное действие оказывают морозящие длительные осадки, чем интенсивные, непродолжительные в виде мелких капель. Мелкие капли удерживаются на поверхности и впитываются материалами. Крупные капли скатываются со стен под действием силы тяжести. Дождь и таяние снега увеличивают влажность грунта, повышается 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.

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. Это происходит потому, что южный ветер там оказывается более холодным. В условиях жаркого климата рас-



положением комнат можно добиться сквозного проветривания квартир, т. е. ветер улучшает микроклимат жилища. Во влажных районах ветер ускоряет просушивание ограждений, таким образом, увеличивая долговечность зданий.

Диаграммы преимущественного направления и силы ветра называют розой ветров. Различают 4-х, 8-ми и 16-ти лучевые диаграммы. На рисунке 2.1 приведена 16-ти лучевая роза ветров в г. Барнауле за 2012 г.

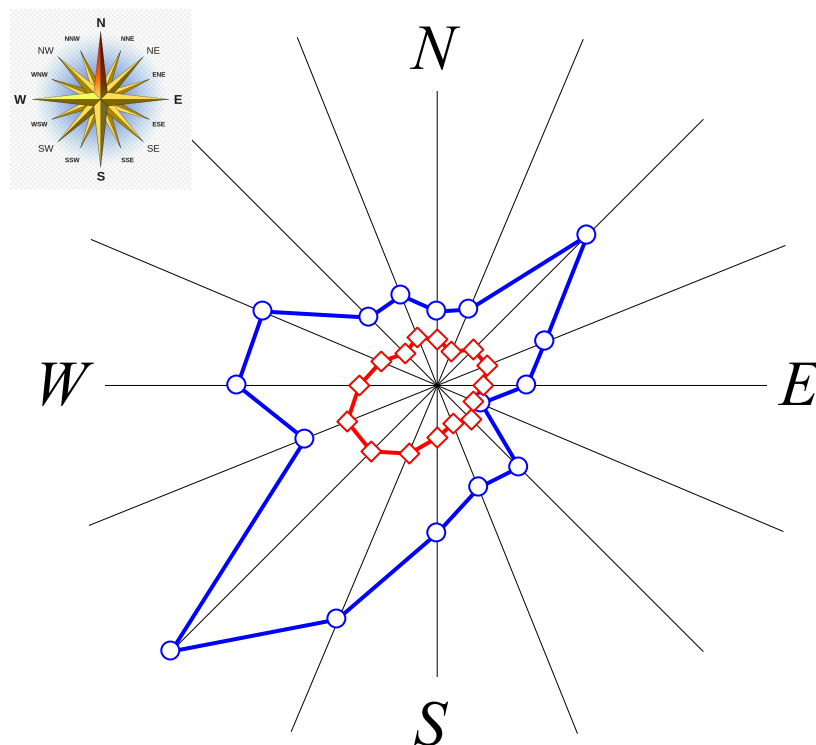


Рисунок 2.1 – Преимущественное направление и сила ветра в г. Барнауле (2012 г.)

Видно, что преимущественное направление ветра в г. Барнауле составляет юго-западное (13 % дней в году) и северо-восточное (7 % дней в году). Штилевая погода составляет от 15 % до 20 % дней в году. Средние значения силы ветра достигают значения 3,5 м/с (юго-запад). В году бывает до 45 дней с сильными ветрами (более 15 м/с), причем зимой количество ветреных дней в месяц больше (от 4 до 6), а летом – меньше (до 3).

Лучистая энергия солнца (солнечная радиация) создает естественное освещение земной поверхности. Солнечную радиацию можно определить как количество энергии, попадающее в единицу времени на единицу поверхности ( $\text{Вт/м}^2$ ). 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. Количество суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации приведено в СНиП [1] для горизонтальных и вертикальных поверхностей.

Облучение какой-либо поверхности прямыми солнечными лучами называется *инсоляцией*. Инсоляция территории или помещения измеряется продол-

жительностью в часах, площадью облучения и глубиной проникновения солнечных лучей в помещение. Положительное действие инсоляции определяется бактерицидными свойствами солнечных лучей и тепловым воздействием.

Количество солнечной радиации также зависит от широты района строительства, времени года и имеет максимальную интенсивность в летний период. 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 отражается от стекла, часть поглощается стеклом и оконными переплетами, нагревая их. При одинарном остеклении через окно проникает около половины падающей радиации (41–58 %), при двойном остеклении – около 1/3 радиации (23–40 %).

Таблица 2.7 – Поглощательная способность материалов

Наименование материала	Характеристика поверхности	Цвет поверхности	Поглощенная радиация, %
Стены			
Кирпич неоштукатуренный	глиняный (новая)	красный	70 – 77
	силикатный (новая)	светлый	40 – 55
Кирпич оштукатуренный	гладкая	белый	30
	гладкая	розовый	50
	гладкая	светло-желтый	47
	гладкая	темно-розовый и светло-бежевый	70
	шероховатая	коричневый	90
Панель бетонная оштукатуренная	шероховатая	белый	30
	гладкая	светло-голубой	55
	гладкая	темно-серый	70 – 72
Гранит	полированная	серый	85
	чисто отесанная	светло серый	65
Мрамор	отесанная	белый	55
Кровля			
Рубероид		Темно-коричневый	88
Оцинкованная сталь		Светло-серый	65
Черепица		Светло-красный	60

Рассматривая влияние солнечной радиации на здание, следует учитывать поглощательную способность различных материалов, которая зависит от их

цвета и состояния. В таблице 2.7 приведена поглощательная способность различных материалов.

В г. Барнауле в июле месяце на горизонтальную поверхность приходится в среднем  $267 \text{ Вт/м}^2$ , а на вертикальную поверхность южной ориентации –  $178 \text{ Вт/м}^2$ , северной ориентации –  $80 \text{ Вт/м}^2$ , восточной и западной ориентации –  $200 \text{ Вт/м}^2$ . В таблице 2.8 приведено количество солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность по месяцам.

Таблица 2.8 – Месячные значения количества солнечной радиации на горизонтальную поверхность,  $\text{Вт/м}^2$  (г. Барнаул)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
42	88	149	199	252	273	267	204	144	73	44	30

Подобрав соответствующие материалы и нужные цвета для ограждений здания, можно изменить величину радиации, поглощаемую стеной, уменьшить или увеличить нагрев конструкций солнечным теплом. Необходимо учитывать, что стены разной ориентации в разное время суток нагреваются неодинаково, при этом их температура на  $15\text{-}20^\circ\text{C}$  выше температуры окружающего воздуха. Кроме того, создаются большие контрасты между стенами здания. Такое возможно и в холодное время года в некоторых районах. В результате нагрева панели деформируются, в кирпичных стенах возникают температурные напряжения, которые сравнимы по своей величине с другими нагрузками и должны учитываться при проектировании.

## 2.2 Климатическое районирование в строительстве

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

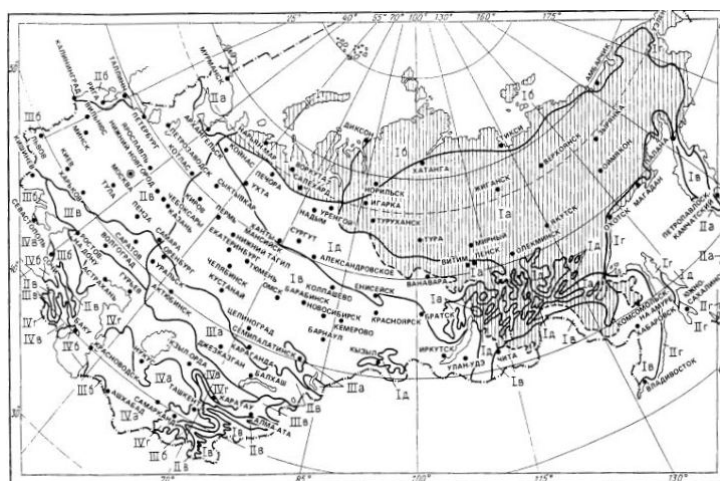


Рисунок 2.2 – Карта климатического районирования

В СНиП «Строительная климатология» приведены карты климатического районирования территории (рисунок 2.2). От климатических характеристик за-

висит 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.

В России выделено четыре климатических района и пять подрайонов. Параметры климатических характеристик районирования отражены в таблице 2.9

Таблица 2.9 – Параметры климатических районов России

Районы	Подрайоны	Средняя месячная температура (январь), °С	Средняя скорость ветра (зима), м/с	Средняя месячная температура (июль), °С	φ (июль), %
I	А	от -32 и ниже	—	от +4 до +19	—
	Б	от -28 и ниже	5 и более	от 0 до +13	более 75
	В	от -14 до -28	—	от +12 до +21	—
	Г	от -14 до -28	5 и более	от 0 до +14	более 75
	Д	от -14 до -32	—	от +10 до +20	—
II	А	от -4 до -14	5 и более	от +8 до +12	более 75
	Б	от -3 до -5	5 и более	от +12 до +21	более 75
	В	от -4 до -14	—	от +12 до +21	—
	Г	от -5 до -14	5 и более	от +12 до +21	более 75
III	А	от -14 до -20	—	от +21 до +25	—
	Б	от -5 до +2	—	от +21 до +25	—
	В	от -5 до -14	—	от +21 до +25	—
IV	А	от -10 до +2	—	от +28 и выше	—
	Б	от +2 до +6	—	от +22 до +28	50 и более в 15 ч.
	В	от 0 до +2	—	от +25 до +28	—
	Г	от -15 до 0	—	от +25 до +28	—

### 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 включается не только квартира, а также дом, улица, квартал, населенный пункт: город, поселок, село. Проектирование отдельных зданий связано с планировкой населенного пункта в целом.

Учет климатических условий начинается 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.

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

*Перемещение воздуха (ветер) влияет:*

- на планировку зданий;
- этажность зданий;
- ориентацию зданий;
- планировку населенных мест (направление улиц);
- размещение промышленной и жилой зон населенных мест;
- конструктивное решение зданий (материал и толщина ограждений, вид остекления).

*Солнечная радиация и инсоляция учитываются 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.

## Часть 2. ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОТЕХНИКИ

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

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

### Лекция 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 паропрооницанию, влияющими на теплозащитные качества и долговечность зданий.

#### 3.1 Передача тепла через ограждения

Рассмотрим некоторое 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 3.1). Этот процесс называется «теплопередача» или «теплообмен».

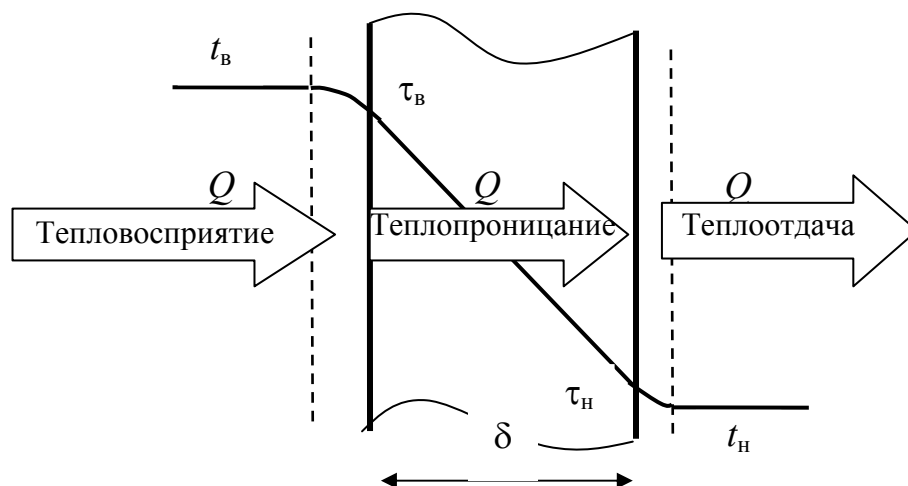


Рисунок 3.1 – Процесс теплопередачи через ограждающие конструкции

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 называется *тепловым потоком*  $Q$ .

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

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

$$Q = (\tau_{\text{в}} - \tau_{\text{н}}) \cdot \frac{\lambda}{\delta} \cdot F \cdot z, \quad (3.1)$$

где  $\tau_{\text{в}}$  и  $\tau_{\text{н}}$  – температура внутренней и наружной поверхности ограждения, °С;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·°С);

$\delta$  – толщина ограждения, м;

$F$  – площадь ограждения, м<sup>2</sup>;

$z$  – время передачи тепла, час.

Если толщину ограждения, площадь, время теплопередачи и разность температур принять равными единице, то  $\lambda = Q$ . Таким образом, *коэффициент теплопроводности*  $\lambda$  – это количество тепла, которое проходит в единицу времени (1 час) через единицу поверхности (1 м<sup>2</sup>) однородного ограждения толщиной 1 м при разности температур на его поверхностях в 1°С.

Коэффициент теплопроводности – одна из основных характеристик строительных материалов. В таблице 3.1 для сравнения приведены коэффициенты теплопроводности различных материалов.

Таблица 3.1 – Сравнение коэффициентов теплопроводности материалов

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

Коэффициент теплопроводности материалов зависит от пористости (плотности), структуры, влажности, вида взаимосвязи влаги с материалом, температуры, химико-минералогического состава материала.

Чем меньше пористость материала, образуемая относительно мелкими порами, т. е. чем больше плотность материала, тем больше его коэффициент теплопроводности (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Теплопроводность кирпича различной плотности

Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1200	1800
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)	0,4	0,6

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

Коэффициенты теплопроводности зависят 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 [2].

### 3.2 Теплофизический расчет ограждающих конструкций при установившемся потоке

Основная задача теплофизического расчета ограждающих конструкций – придание им необходимых теплозащитных качеств, показателем которых является *термическое сопротивление*  $R$ , (м<sup>2</sup>·°C)/Вт.

Термическое сопротивление однородного слоя

$$R = \frac{\delta}{\lambda}. \quad (3.2)$$

Численно термическое сопротивление равно разности температур на противоположных поверхностях ограждения, при которой через каждый 1 м<sup>2</sup> 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 3.2). При этом общий температурный перепад  $t_b - t_n$  складывается из трех частных перепадов:

$t_b - \tau_b$  – у внутренней поверхности ограждения;

$\tau_b - \tau_n$  – в толще ограждения;

$\tau_n - t_n$  – у наружной поверхности ограждения.

Такое падение температуры свидетельствует о наличии дополнительных термических сопротивлений переходу тепла от внутреннего воздуха к внутренней поверхности ограждения, и от наружной поверхности ограждения к наружному воздуху. Это сопротивление теплоотдаче обозначают  $R_b$  и  $R_n$ .



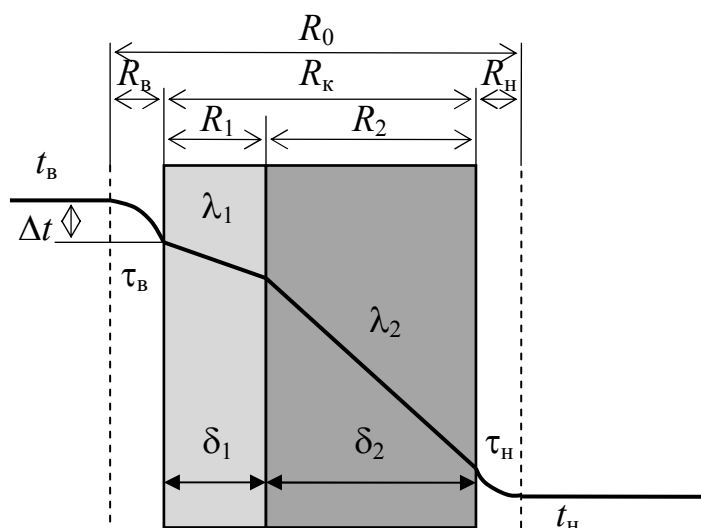


Рисунок 3.2 – Теплопередача при установившемся режиме

Наряду с термическим сопротивлением в расчетах используют обратные к ним величины:  $\alpha_{\text{б}}$  – коэффициент тепловосприятости и  $\alpha_{\text{н}}$  – коэффициент теплоотдачи

$$\alpha_{\text{б}} = \frac{1}{R_{\text{б}}}, \quad \alpha_{\text{н}} = \frac{1}{R_{\text{н}}}. \quad (3.3)$$

Общие величины сопротивления теплопередаче: однослойного ограждения

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\text{б}}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \quad (3.4)$$

и многослойного

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\text{б}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}. \quad (3.5)$$

### 3.3 Расчет толщины ограждения

На основе закономерности теплопередачи при установившемся потоке теплоты поток  $Q$ , проходящий за 1 секунду через  $1 \text{ м}^2$  ограждения, определяется по формуле

$$Q = \frac{(t_{\text{б}} - t_{\text{н}})}{R_0}.$$

Тепловой поток, проходящий через внутреннюю поверхность ограждения, определяется по формуле

$$Q = \frac{(t_{\text{б}} - \tau_{\text{б}})}{R_{\text{б}}}.$$

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

$$\frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{R_0} = \frac{(t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}})}{R_{\text{в}}},$$

откуда

$$R_0 = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{(t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}})} \cdot R_{\text{в}} = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\alpha_{\text{в}} \cdot (t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}})}. \quad (3.6)$$

Основным показателем принят температурный перепад  $(t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}}) = \Delta t$ . Температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждения зависит от назначения здания и вида ограждения и имеет большое санитарно-гигиеническое значение. Для стен  $\Delta t$  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 в формулу (3.6) вводят поправочный безразмерный коэффициент  $n$ . Значения этих коэффициентов приведено в СНиП [2, табл. 3\*]. Для проектирования ограждающих конструкций СНиПами установлено минимальное или *требуемое сопротивление теплопередаче*  $R_0^{\text{тп}}$ . Формула для определения требуемого сопротивления принимает вид:

$$R_0^{\text{тп}} = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot n}{\Delta t \cdot \alpha_{\text{в}}}. \quad (3.7)$$

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции  $R_0$  должно быть больше или равно величине, при которой ограждение будет удовлетворять теплотехническим требованиям. Значения  $R_0^{\text{тп}}$  определяются исходя из санитарно-гигиенических норм и условий энергосбережения [2, табл. 16\*]. Для определения  $R_0^{\text{тп}}$  из условий энергосбережения в СНиП введена величина ГСОП (градусо–сутки отопительного периода), определяемая по формуле

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от.пер.}}) \cdot Z_{\text{от.пер.}}, \quad (3.8)$$

где  $t_{\text{от.пер.}}$  и  $Z_{\text{от.пер.}}$  – средняя температура и продолжительность суточного периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной 8 °С [1]. В таблице 16\* СНиПа приведены минимальные сопротивления теплопередаче ограждений в зависимости от назначения зданий и помещений с учетом района строительства.

При расчетах влажностного режима ограждений, определении возможности образования конденсата требуется знать распределение температуры в

толще конструкции. Из уравнения (3.6) легко получить формулу для определения температуры на внутренней поверхности  $\tau_B$ :

$$\tau_B = t_B - (t_B - t_H) \cdot \frac{R_B}{R_0}.$$

Аналогично выводится температура на наружной поверхности ограждения:

$$\tau_H = t_B - (t_B - t_H) \cdot \frac{R_B + R_K}{R_0}.$$

Температура на внутренней поверхности любого слоя многослойного ограждения, считая от внутренней поверхности, определим по формуле

$$\tau_n = t_B - (t_B - t_H) \cdot \frac{R_B + R_n}{R_0},$$

где  $R_n$  – сопротивление теплопередаче слоев ограждения, расположенных между внутренней поверхностью и расчетной плоскостью в толще ограждения (см. рисунок 4).

Таким образом, для расчета толщины однослойного ограждения необходимо выполнить следующее:

- определить требуемое сопротивление теплопередаче  $R_0^{\text{тр}}$  исходя из комфортных условий и условий энергосбережения по формуле 3.7;
- рассчитать сопротивление теплопередаче конструкции по формуле 3.4;
- учитывая, что  $R_0^{\text{тр}} \leq R_0$ , решить уравнение 3.4 относительно  $\delta$ .

Для расчета толщины многослойного ограждения необходимо провести те же операции с той лишь разницей, что расчет сопротивления  $R_0$  проводится по формуле 3.5, а толщину каждого слоя подбирают из соображений экономической целесообразности и необходимой прочности конструкции.

### **3.4 Расчет толщины ограждения с воздушной прослойкой**

Эффективным средством теплозащиты в ограждении является воздушная прослойка. Поэтому проектируют двойное и тройное остекление (рисунок 3.3). Однако воздушная прослойка эффективна при неподвижном состоянии воздуха, т.е. герметичной прослойке, что в ограждающих конструкциях не исполнимо. Строительные материалы пористы, конструкции имеют неплотности, в результате прослойка вентилируется. При толщине прослойки более 50 мм усиливается циркуляция воздуха, термическое сопротивление воздушной прослойке  $R_{\text{в.п.}}$  снижается. На рисунке 3.4 приведены графики зависимости термического сопротивления воздушной прослойки  $R_{\text{в.п.}}$  от ее толщины  $\delta_{\text{в.п.}}$  при горизонтальном и вертикальном положении прослойки.

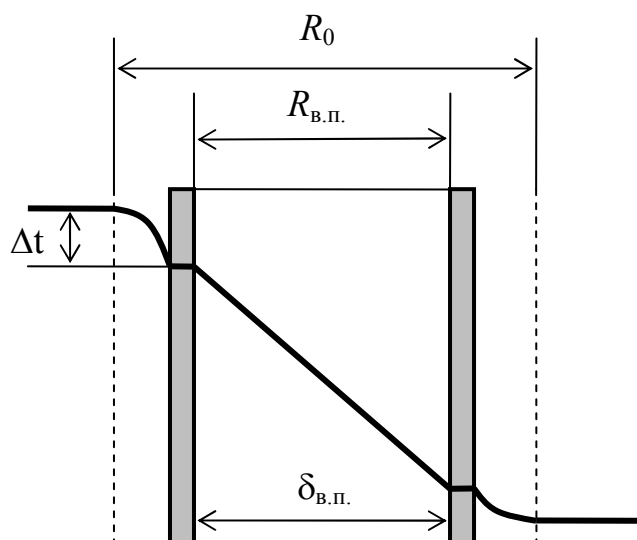


Рисунок 3.3 – Расчетная схема ограждения с воздушной прослойкой

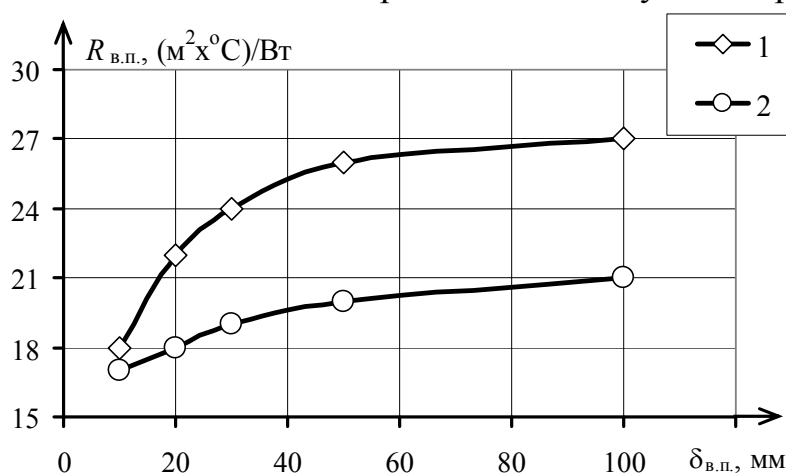


Рисунок 3.4 – Зависимость термического сопротивления воздушной прослойки от ее толщины: 1 – при вертикальном расположении; 2 – при горизонтальном расположении

Расчет толщины ограждения с воздушной прослойкой можно провести по такой же методике, как и для многослойного ограждения. При этом в формуле для термического сопротивления появится еще одно слагаемое, которое учитывает термосопротивление воздушного слоя. Из рисунка видно, что наиболее эффективная толщина воздушной прослойки находится в пределах от 25 мм до 50 мм. Толщина слоя меньше 25 мм дает маленькие значения термосопротивления, а при увеличении толщины слоя до 50 мм и более происходит возникновение воздушных потоков, снижающих эффективность воздушного теплоизолирующего слоя.

### 3.5 Расчет толщины ограждения с включениями

При проектировании ограждающих конструкций приходится вводить в конструкцию включения, например, железобетонные или металлические колонны фахверковых стен; железобетонные или металлические колонны, заглубленные в кирпичные стены и т. п. Железобетон и металл имеют большую

теплопроводность, чем кирпич, и в местах их расположения в ограждении создаются условия для интенсивного прохода холода, образования «мостика холода», или образования конденсата. Предупредить местное примерзание позволяют конструктивные приемы, направленные на теплоизоляцию «мостиков холода».

Для определения сопротивления теплопередаче ограждения  $R_0$  с включениями (рисунок 3.5) следует применить приближенное значение коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , а расчет толщины ограждения выполнять так же, как для однослойной конструкции (формула 3.4). При этом коэффициент теплопроводности имеет вид:

$$\lambda = \frac{V_1\lambda_1 + V_2\lambda_2 + \dots + V_n\lambda_n}{V}, \quad (3.9)$$

где  $V_1, \lambda_1, V_2, \lambda_2, V_n, \lambda_n$  – объемы и коэффициенты теплопроводности соответствующих включений, а  $V$  – общий объем конструкции.

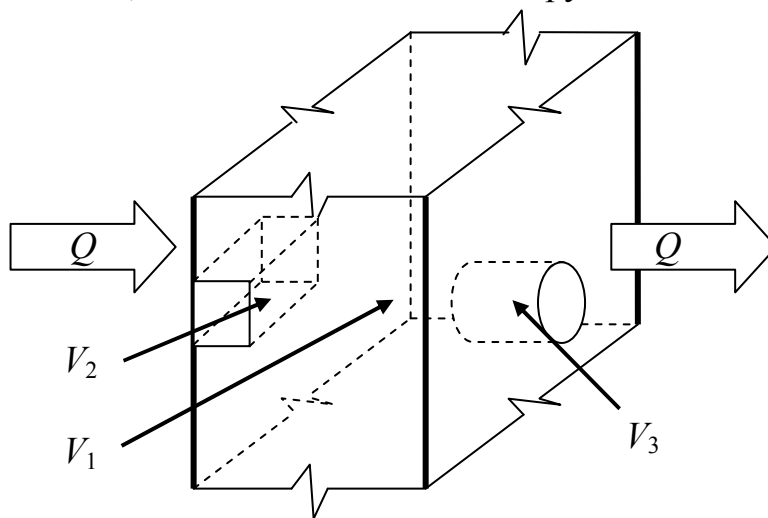


Рисунок 3.5 – К расчету ограждения с включениями

### 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 температуры любой точки в толще ограждения. Эта задача проще решается графическим способом (рисунок 3.6).

Использование графического метода предполагает проведение следующих операций. На горизонтальной оси необходимо отложить последовательно в одинаковом масштабе сопротивление тепловосприятию  $R_b$ , температурное сопротивление каждого из слоев конструкции  $R_i$ , сопротивление теплопередаче  $R_n$ . Сумма составит общее сопротивление теплопередаче  $R_0$ . На вертикальной оси откладываем температуру. При этом на поверхности, соответствующей границы внутреннего воздуха, откладывается его температура (положительная). Соответственно, температуру наружного воздуха (отрицательную) откладываем

ют на поверхности, примыкающей к внешней границе стены. Полученные точки необходимо соединить прямой линией.

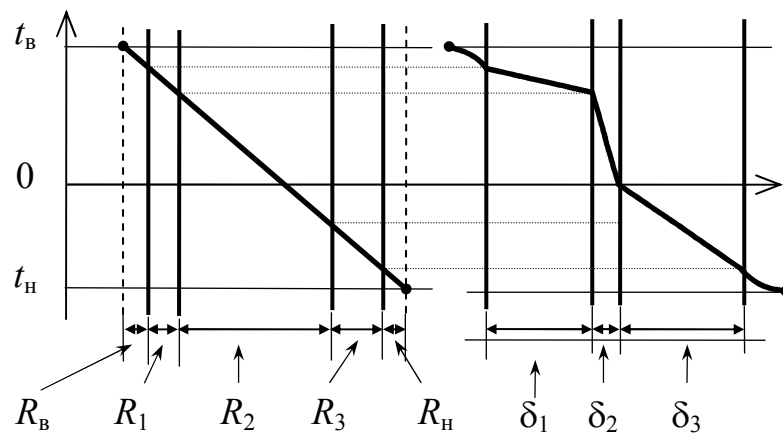


Рисунок 3.6 – Распределение температур в многослойном покрытии

Рядом с этим графиком необходимо начертить схему ограждающей конструкции, при этом обязательно соблюдать масштаб толщины слоев. Линии, параллельные горизонтальной оси, отмечают характерные точки на обеих схемах. Распределение температур в слоистом ограждении имеет характер ломаной линии.

## Лекция 4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ОГРАЖДЕНИЯ

### 4.1 Передача тепла через ограждения в нестандартных условиях

Колебания температуры наружного воздуха вызывают колебания внутренней температуры. Изменения температуры постоянно действуют на ограждения. Вследствие периодических колебаний внутренней и наружной температуры необходимы дополнительные требования к ограждению: обеспечение минимального колебания температуры на внутренней поверхности ограждения в целях обеспечения комфортных условий в помещении, а также во избежание образования конденсата на поверхности конструкции. Свойство ограждающей конструкции сохранять относительное постоянство температуры на внутренней поверхности при периодических колебаниях температуры наружной поверхности называется *теплоустойчивостью* ограждения. На теплоустойчивость ограждения влияет теплоусвоение его поверхности, т. е. свойство этой поверхности воспринимать тепло при периодических колебаниях теплового потока или температуры воздуха, которое характеризуется коэффициентом теплоусвоения материала  $S$ ,  $\text{м}^2\text{°C/Вт}$ .

*Коэффициент теплоусвоения* материала – это отношение амплитуды колебаний потока тепла к амплитуде колебаний температуры на поверхности ограждения. Значение коэффициента теплоусвоения  $S$  внутренней поверхности ограждения из однородного материала значительной толщины зависит от коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , удельной теплоемкости  $c$ , плотности материала  $\gamma$ , а также от периода колебания теплового потока  $z$ :

$$S = \sqrt{\frac{2\pi \cdot \lambda \cdot c \cdot \gamma}{z}}. \quad (4.1)$$

В таблице 4.1 приведены коэффициенты теплоусвоения некоторых материалов.

Таблица 4.1 – Коэффициенты теплоусвоения

	Материалы			
	Сталь	Гранит	Минеральная вата	Пенопласт
$S$ , $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$	125,7	24,9	0,64	0,26

С изменением температуры на поверхности ограждения связаны ее колебания внутри ограждения. Амплитуда колебаний температуры в толще ограждения отстает во времени от колебаний на поверхности и затухает по мере удаления от нее. При этом в ограждении есть слой резких колебаний температур  $\delta_t$ , где происходит изменение температуры примерно в 2 раза.

$$\delta_t = \frac{\lambda}{S}. \quad (4.2)$$

Например, слои резких колебаний в кирпичной кладке: для периода 24 часа – 0,084 м, а для периода 12 часов – 0,06 м.

Расстояние между двумя максимумами или минимумами волны называется *длиной волны*. Свойство ограждения сохранять или медленно изменять распределение температуры внутри конструкции называется *тепловой инерцией*. Чем больше инерция, тем труднее изменить первоначальное состояние ограждения. Например, кирпичные массивные стены долго сохраняют свою «летнюю» температуру и не чувствительны к резким и кратковременным перепадам температур наружного воздуха в осенний 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.

Наружные стены с тепловой инерцией менее 4 в районах со среднемесячной температурой июля 21 °С и выше в летний период года подвергаются не только колебаниям температуры наружного воздуха в течение суток, но и активно нагреваются солнечными лучами в дневное время. Поэтому требуется расчет теплоустойчивости ограждающих конструкций [2]. Допустимая (требуемая) амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждения определяется по формуле

$$A_{\tau\text{в}}^{\text{тп}} = 2,5 - 0,1(t_{\text{н}} - 21), \quad (4.3)$$

где  $t_{\text{н}}$  – среднемесячная температура наружного воздуха за июль в °С [1]. Амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждения определяется по формуле

$$A_{\tau\text{в}} = \frac{A_{\tau\text{н}}^{\text{расч.}}}{\nu}, \quad (4.4)$$

где  $A_{\tau\text{н}}^{\text{расч.}}$  – расчетная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха, измеряемая в °С,  $\nu$  – величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха с учетом солнечной радиации:

$$A_{\tau\text{н}}^{\text{расч.}} = 0,5 \cdot A_{t_{\text{max}}} + \frac{\rho \cdot (I_{\text{max}} - I_{\text{ср}})}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (4.5)$$

где  $A_{t_{\text{max}}}$  – максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле [1];  $\rho$  – коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции [2, приложение 7];  $I_{\text{max}}$  и  $I_{\text{ср}}$  – максимальное и среднее суточное значение суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной), падающей на вертикальные поверхности западной ориентации (при расчете стен) и на горизонтальные поверхности (для покрытий);  $\alpha_{\text{н}}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения по летним условиям, которая равна

$$\alpha_{\text{н}} = 1,16 \cdot (5 + \sqrt{\nu}), \quad (4.6)$$



где  $\mathcal{V}$  – минимальная из средних скоростей ветра за июль, повторяемость. Величину затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха  $v$  в ограждающей конструкции, состоящей из однородных слоев, следует определять по формуле

$$v = 0,9 \cdot e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{(s_1 + \alpha_b) \cdot (s_2 + Y_1) \cdot \dots \cdot (s_n + Y_{n-1}) \cdot (\alpha_n + X_n)}{(s_1 + X_1) \cdot \dots \cdot (s_n + X_n) \cdot \alpha_n}, \quad (4.7)$$

где  $D$  – тепловая инерция ограждения;  $s_1 \dots s_n$  – расчетные коэффициенты теплоусвоения материала слоев ограждения [2, приложение 3\*];  $Y_1 \dots Y_n$  – коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности отдельных слоев ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>°C), которые рассчитываются по формулам:

$$Y_1 = \frac{R_1 s_1^2 + \alpha_b}{1 + R_1 \alpha_b}; \quad Y_i = \frac{R_i s_i^2 + Y_{i-1}}{1 + R_i Y_{i-1}}. \quad (4.8)$$

Показатель тепловой инерции для однородного ограждения и многослойных ограждений рассчитываются по формулам:

$$D = R \cdot s; \quad D = \sum_{i=1}^{i=n} R_i s_i. \quad (4.9)$$

## 4.2 Воздухопроницаемость ограждений

Под *воздухопроницаемостью* наружных ограждающих конструкций понимают фильтрацию сквозь них внутрь помещения холодного воздуха, возникающую при разности давлений на противоположных поверхностях конструкции. Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхности ограждающих конструкций  $\Delta p$  определяется по формуле

$$\Delta p = 0,55h \cdot (\gamma_n - \gamma_b) + 0,03\gamma_n \mathcal{V}^2, \quad (4.10)$$

где  $h$  – высота здания от поверхности земли до верха карниза;  $\mathcal{V}$  – расчетная скорость ветра;  $\gamma_b$ ,  $\gamma_n$  – удельный вес соответственно внутреннего и наружного воздуха, рассчитываемые по формуле

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t}. \quad (4.11)$$

В формуле (4.11)  $t$  – это температура воздуха. При расчете удельного веса  $\gamma_b$  в качестве параметра  $t$  выбирают температуру воздуха внутри помещения, а при расчете  $\gamma_n$  – среднюю температуру наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 [1].

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, а также в помещении образуется воздухообмен за счет разности давлений наружного и внутреннего воздуха. Разность давлений воздуха, возникающую из-за разности

температур наружного и внутреннего воздуха, называют *тепловым напором*, а под действием ветра – *ветровым напором*. При этом в нижней части здания происходит приток наружного холодного воздуха внутрь помещения (*инфильтрация*), а в верхней части – вытяжка теплого воздуха из помещений наружу (*эксфильтрация*). 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.

*Сопротивление воздухопроницаемости*  $R_n$  – это разность давлений воздуха, при которой через ограждающие конструкции площадью  $1 \text{ м}^2$  за 1 час проникает 1 кг воздуха. Сопротивление воздухопроницанию многослойной ограждающей конструкции определяется как сумма сопротивлений воздухопроницаемости отдельных слоев ограждающей конструкции ( $R_{n1}, R_{n2}, \dots, R_{nn}$ )

$$R_n = R_{n1} + R_{n2} + \dots + R_{nn}.$$

Значения  $R_n$  различных материалов определяются из таблицы в приложении 9\* СНиП [2]. Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций, за исключением окон, балконных дверей и фонарей, должно быть не меньше значения

$$R_n^{\text{тр}} = \frac{\Delta p}{G^n}, \quad (4.12)$$

где  $G^n$  – нормативная воздухопроницаемость ограждения, принимаемая по табл. 12\* СНиП [2].

Воздухопроницаемость ограждения зависит от наличия в материале крупных пор, сообщающихся между собой, а также 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. Немаловажное значение для воздухопроницаемости ограждающих конструкций существенно зависит от качества работ (например, заполнения швов кладки раствором), от плотности поверхностных слоев. Для уменьшения воздухопроницаемости слоистых стен применяют прокладки (картон, строительная бумага) под наружным слоем ограждения, производят наружную штукатурку или облицовку, выполняют расшивку швов кладки.

Для улучшения комфортности проживания и работы в помещениях используют аэрацию. *Аэрацией* называют организованный и управляемый воздухообмен. Воздухообмен при проветривании помещений через форточки и фрамуги в окнах является управляемым, но не организованным, 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 важнейшее 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 основывается 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.

#### **4.3 Влажностный режим ограждений**

В толщу ограждения влага попадает во время кладки с растворами, а в дальнейшем происходит увлажнение атмосферной влагой, влагой внутреннего воздуха, грунтовой влагой. Для защиты стен от атмосферной влаги наружные поверхности штукатурят, облицовывают или применяют вентилируемые фасады. 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 водяных паров воздуха. Степень насыщения воздуха водяным паром определяет относительная влажность  $\phi$ .

Наблюдать действие гигроскопической влаги можно на примере стен, выполненных из силикатного кирпича. При большой влажности воздуха такие стены темнеют, т. к. 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.

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 не только ощущение жары, но и пересыхает слизистая

оболочка, что также ухудшает самочувствие. Нормативными для жизнедеятельности человека являются относительная влажность помещения от 50 до 60 процентов и температура воздуха 18-20 °С.

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 внутренних 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 межстеклянное пространство, заделав щели внутреннего переплета либо заменить стеклопакет.

Водяной пар – это вода в газообразном состоянии, которая входит в состав воздушной смеси в атмосфере. Количество водяного пара в воздухе характеризуется абсолютной влажностью воздуха. Водяной пар создает парциальное давление, которое зависит от его количества. Водяной пар обладает особенностями, которые отличают его от идеального газа. Имеется определенная граница для максимально возможного содержания водяного пара в единице объема. Если эта граница достигнута, говорят о насыщенном водяном паре. Давление при насыщении или упругость насыщенного пара зависит от температуры (рисунок 4.1).

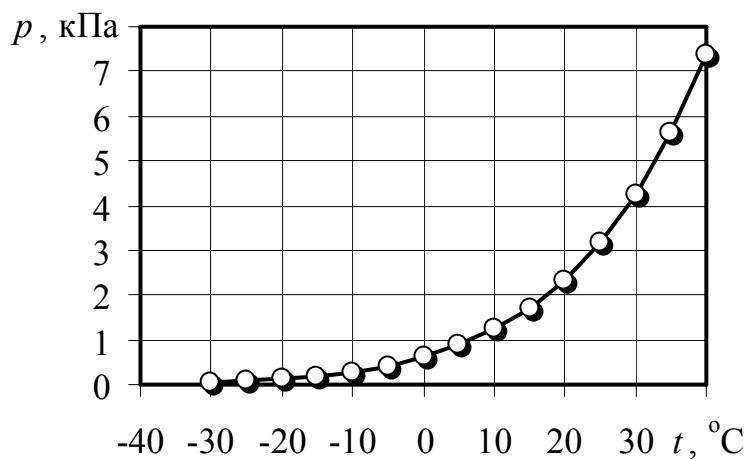


Рисунок 4.1 – Зависимость давления насыщения водяного пара от температуры

Мерой величины переноса паров вследствие диффузии через слой ограждения служит плотность диффузионного потока  $g$ , которая показывает, какое количество водяных паров  $G$  продиффундирует через единицу площади  $F$  конструкции в единицу времени. Плотность диффузионного потока тем меньше, чем выше паронепроницаемость слоя конструкции. Паронепроницаемость ограждения его структурой и толщиной. Характеристикой паронепроницаемости материала  $\mu$  является коэффициент паропроницаемости. Эта величина показы-

вает количество влаги проникающее на глубину одного метра материала за час. Коэффициенты паропроницаемости приведены в приложении 3\* СНиП [2]. Величина обратная коэффициенту паропроницаемости с учетом толщины слоя материала называется сопротивлением паропроницанию  $R_{\pi}$ . Для однослойной конструкции или отдельного слоя многослойного ограждения

$$R_{\pi} = \frac{\delta}{\mu}, \quad (4.13)$$

а для многослойной

$$R_{\pi} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i}. \quad (4.14)$$

Сопротивление паропроницанию воздушных прослоек в ограждении принимают равным нулю независимо от расположения и толщины прослоек. Сопротивление паропроницанию  $R_{\pi}$  конструкции определяют в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации.

На рисунке 4.2 показаны температуры и давления насыщенного пара в однослойной конструкции. Давление насыщенного пара в каждой точке определяется температурой в этой точке.

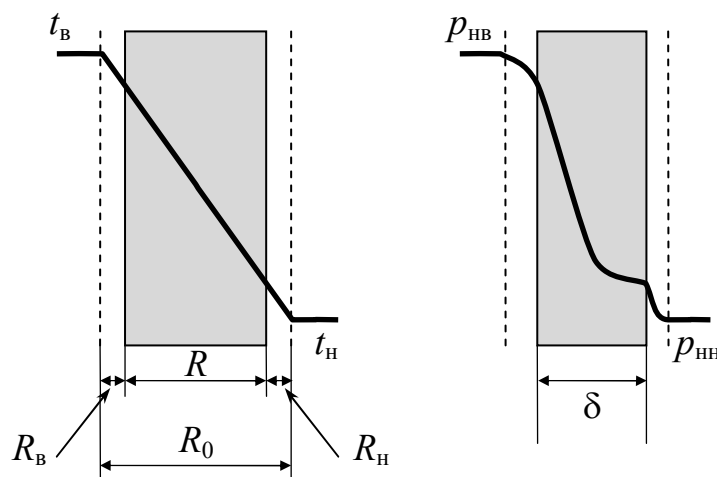


Рисунок 4.2 – Распределение температуры и давления насыщенного пара в однослойной конструкции

Образование конденсата внутри ограждения происходит в той области, где рассчитанное давление насыщенного пара оказывается большим, чем давление пара, определяемого диффузией. Возможность выпадения конденсата внутри однослойного ограждения иллюстрируется на рисунке 4.3.

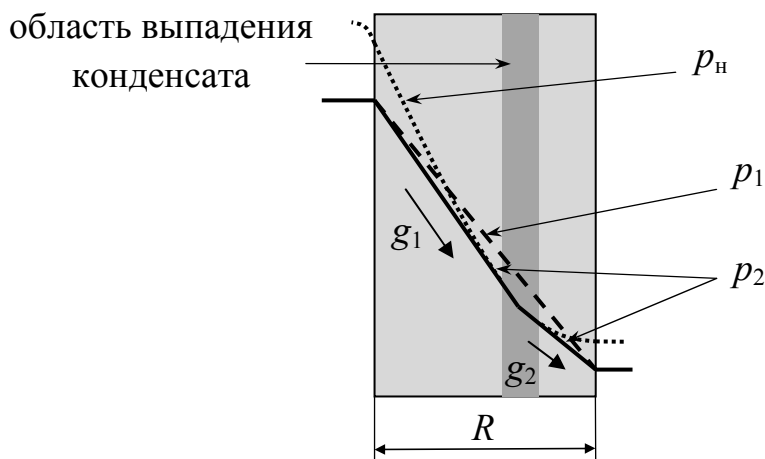


Рисунок 4.3 – Выпадение конденсата внутри однослойной конструкции:  
 $p_n$  – плотности диффузионных потоков в ограждение и из него;  
 $p_1$  – рассчитанное давление водяного пара;  
 $p_2$  – действительное давление

Количество конденсата, выпадающего за 1 час, определяется разностью плотностей диффузионного потока в точках соприкосновения кривой упругостей водяного пара с кривой давлений насыщенного пара.

Выявление области влагонакопления в многослойной конструкции производится практически так же, как и для однослойной. Расчеты проводятся, как правило, графическим методом. На первом этапе строится распределение температуры по толщине конструкции, затем – распределение давления насыщенного пара. Далее рассчитывается распределение упругости водяного пара, как показано на рисунке 4.4 (затемнен слой пароизоляции).

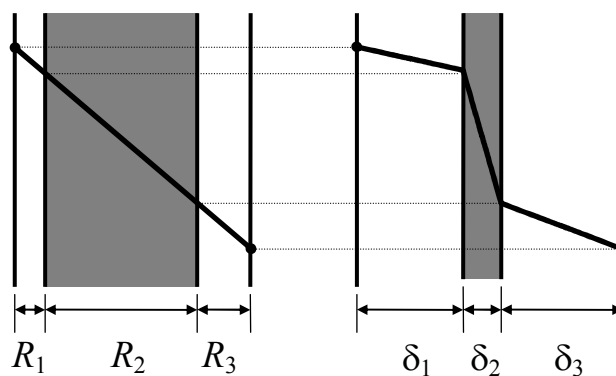


Рисунок 4.4 – К расчету области влагонакопления в многослойной конструкции

Область наиболее вероятной конденсации однослойной конструкции располагается на расстоянии, равном  $2/3$  толщины конструкции, а в многослойной конструкции совпадает с наружной поверхностью утеплителя. С точки зрения процесса диффузии водяного пара, наиболее рациональна такая последовательность слоев в ограждении, при которой сопротивление теплопередаче уменьшается, а сопротивление паропроницанию возрастает снаружи внутрь.

Прогрев наружного воздуха повышает температуру в поперечном сечении конструкции, а также давление насыщения пара по толщине конструкции. Если в сечении конструкции зимой образовался конденсат, то летом из зоны повышенной влажности происходит испарение. Так как в сечении, где зимой образовался конденсат, пар является насыщенным, то распределение упругости водяного пара будет соответствовать приведенному на рисунке 4.5.

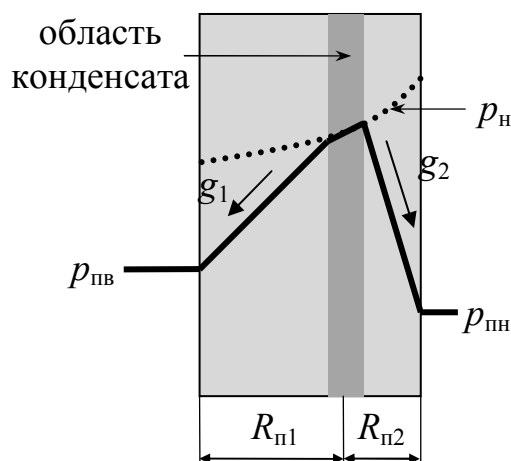


Рисунок 4.5 – Давление пара в конструкции при высыхании конденсата в летнее время

Сумма плотностей диффузионных потоков дает количество высыхающего за 1 час конденсата. Конденсация пара внутри ограждения снижает теплотехнические качества ограждения.

Из условия полной теплозащиты может быть определена температура на внутренней поверхности ограждения. Определенным является и давление насыщенного пара, соответствующее этой температуре. Давление пара внутри помещения действует непосредственно на внутренней поверхности, поскольку зона пароперехода является пренебрежимо малой. Если давление пара внутри помещения оказывается больше, чем давление насыщенного пара на поверхности ограждения, то на этой поверхности выпадает конденсат. Для предотвращения образования конденсата на поверхности принципиально существует только один способ – повышение теплозащиты наружной конструкции.

Углы зданий зимой плохо воспринимают тепло поверхностью с внутренней стороны и много лучше отдают тепло поверхностью с наружной стороны. Кроме того, на внутренней стороне углов мал поток воздуха, чем перед другим произвольным сечением. Для углов принимается сопротивление тепловосприимчивости в 3 раза большее обычного. Сопротивление теплоотдаче не учитывается совсем.

Процесс образование конденсата в покрытиях отличается от образования конденсата в стенах зданий. В строительстве используются главным образом два типа покрытий. Это теплая кровля и вентилируемая (холодная) кровля. В противоположность наружным стенам у невентилируемой теплой кровли диффузия паров, как возможная причина повреждений, играет очень большую

роль. Здесь абсолютно паронепроницаемый слой (оболочка кровли) лежит на наружной стороне, что нарушает изложенное выше правило. Вследствие крайне высокой паронепроницаемости оболочки кровли почти всегда зимой образуется конденсат между оболочкой кровли и слоем теплоизоляции.

Особенно опасно образование конденсата в тех случаях, когда слой теплоизоляции почти не обладает водопоглощающими свойствами, например, пенопласт. К началу теплого времени года вследствие интенсивного солнечного облучения находящаяся под слоем оболочки кровли вода быстро испаряется. Создающееся при этом избыточное давление (вода испытывает при испарении почти 1000-кратное увеличение объема) ведет к образованию паровых вздутий, которые через определенное время приводят к кратерообразному разрыву оболочки кровли. Чтобы количество конденсата было по возможности меньше, под слоем теплоизоляции необходима усиленная пароизоляция. Для нее пригодны алюминиевая фольга или рулонный кровельный материал на основе стеклоткани, который приклеивают битумной мастикой. Кроме того, можно использовать, так называемый, выравнивающий слой, задачей которого является распределение по горизонтали возникающего при испарении местного избыточного давления. В качестве выравнивающего слоя пригоден перфорированный картон или стеклоткань на битумной основе, с помощью которого кровельный ковер приклеивается точечным образом.

Долгое время холодную кровлю считали надежной плоской конструкцией покрытия. Однако из статистики повреждений известно, что конденсат в таких покрытиях может образовываться в больших количествах. Функциональное действие холодной кровли связано с сильным потоком воздуха, который должен циркулировать в пространстве между несущей оболочкой и теплоизоляцией. Если движение воздуха слишком слабо, то слой воздуха действует как слой дополнительной теплоизоляции. Следствием этого является выпадение конденсата на нижней стороне оболочки кровли или несущей оболочки. Таким образом, к вентилируемой кровле предъявляются следующие требования:

- паронепроницаемость нижней оболочки должна быть велика;
- высота воздушной прослойки должна быть не менее 10 см (предпочтительно 30-60 см), а максимальная длина ее не более 20 м;
- уклон кровли должен составлять не менее 6 %;
- на двух противоположных сторонах кровли должны быть отверстия для воздуха с рабочим сечением площадью, не менее 1/500 площади поверхности кровли.

Требуемое сопротивление паропроницанию  $R_{\pi}^{\text{тр}}$  определяется из условия недопустимости накопления влаги в ограждении за годовой период отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха

$$R_{\pi}^{\text{тр}} = \frac{(e_{\text{в}} - E) \cdot R_{\text{пн}}}{E - e_{\text{н}}}, \quad (4.15)$$



и из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха

$$R_{\text{п}}^{\text{тр}} = \frac{0,0024 z_0 (e_{\text{в}} - E_0)}{\gamma_{\text{в}} \delta_{\text{в}} \Delta W_{\text{ср}} + \eta}. \quad (4.16)$$

Здесь  $e_{\text{в}}$  – уругость водяного пара внутреннего воздуха (приложение 6 СНиП [2]);  $R_{\text{пн}}$  – сопротивление паропрооницанию;  $e_{\text{н}}$  – средняя уругость водяного пара наружного воздуха за годовой период [1];  $z_0$  – продолжительность, суточного периода влагонакопления, равного периоду с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха [1];  $E_0$  – уругость водяного пара в плоскости возможной конденсации при средней температуре наружного воздуха периода с отрицательными среднемесячными температурами [1];  $\gamma_{\text{в}}$  – плотность материала увлажняемого слоя, принимаемая равной  $\gamma_0$  по приложению 3\* [2];  $\delta_{\text{в}}$  – толщина увлажняемого слоя ограждения;  $\Delta W_{\text{ср}}$  – предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале [2];  $E$  – уругость водяного пара в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации. Последняя величина определяется выражением

$$E = \frac{1}{12} (E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3), \quad (4.17)$$

где  $E_1$ ,  $E_2$  и  $E_3$ , – уругости водяного пара принимаемые по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов [2]. Продолжительность зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов  $z_1$ ,  $z_2$  и  $z_3$ , определяются согласно СНиП 2.01.01-82 с учетом следующих условий:

- к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже  $-5^\circ\text{C}$ ;
- к весенне-осеннему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха от  $-5^\circ\text{C}$  до  $+5^\circ\text{C}$ ;
- к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха выше  $+5^\circ\text{C}$ .

Величина  $\eta$  определяется по формуле

$$\eta = \frac{0,0024 (E_0 - e_{\text{но}}) z_0}{R_{\text{пн}}}, \quad (4.18)$$

где  $e_{\text{но}}$  – средняя уругость водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными температурами, определяемого СНиП [1].

## Часть 3. ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ 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.

### Лекция 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*, представляющих собой чередующиеся области уплотнения и разрежения. Скорость распространения звуковой волны и называют *скоростью звука*. Скорость звука различна в различных средах. Скорость звука в воздухе при атмосферном давлении принимают равной 340 м/с, в воде 1450 м/с, в стали 5100 м/с. К основным физическим характеристикам звука относятся длина волны, частота, период колебаний и сила звука.

*Длина звуковой волны  $\lambda$*  – это расстояние, на которое распространяется звуковая волна за время одного полного колебания и определяется как отношение скорости звука  $c$  к частоте колебаний  $f$ :

$$\lambda = \frac{c}{f}. \quad (5.1)$$

*Частота колебаний  $f$*  – число полных колебаний за единицу времени. Частота звука измеряется в герцах (Гц). 1 Гц равен 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 частота вдвое больше предыдущей нижней, называют *октавой*. Октавные полосы частот представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Нижние, средние и верхние частоты (Гц) октавных полос

$f_n$ , Гц	$f_{ср}$ , Гц	$f_v$ , Гц	$f_n$ , Гц	$f_{ср}$ , Гц	$f_v$ , Гц
14	20	28	450	630	900
28	40	56	900	1250	1800
56	80	112	1800	2500	3600
112	160	230	3600	5000	7100
230	320	450	7100	10000	15000

*Период колебания  $T$*  – это время в течении которого происходит одно полное колебание. Период колебаний обратно пропорционален частоте звука

*Сила звука  $I$*  характеризует количество энергии, переносимое звуковой волной за 1 секунду через площадку в  $1 \text{ см}^2$  (или  $\text{м}^2$ ), перпендикулярную направлению движения звуковой волны. Сила звука определяется амплитудой звуковых колебаний.

Минимальная сила звука ( $\approx 10^{-16} \text{ Вт/см}^2$ ), воспринимаемая человеческим ухом, называется *порогом слышимости*. Верхний предел силы звука ( $\approx 0,01 \text{ Вт/см}^2$ ), воспринимаемый как болевое ощущение, называется *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.

Поскольку звуковые волны являются, по сути, упругими, то при распространении звука вследствие колебательных движений частиц среды создается переменное *звуковое давление  $p$*

$$p = p_n - p_{\text{ср}}, \quad (5.2)$$

где  $p_n$  – мгновенное значение полного давления в звуковой волне;  $p_{\text{ср}}$  – среднее давление в данной точке при отсутствии звука. Слуховое восприятие звука пропорционально не абсолютному изменению силы звука, а ее логарифму, поэтому в акустике для измерения силы звука пользуются логарифмическим масштабом. Величина, равная

$$L = \lg \frac{I}{I_0}. \quad (5.3)$$

Величину  $L$  называют *уровень силы звука*, а уравнение (5.3) является математическим выражением закона Вебера-Фехнера, в котором  $I$  – сила данного звука, а  $I_0$  – сила звука на пороге слышимости.

По аналогии с уровнем силы звука вводят *уровень звукового давления  $L_p$* , который характеризует восприятие звука человеком

$$L_p = 20 \cdot \lg \frac{P}{P_0}. \quad (5.4)$$

Здесь  $P$  – звуковое давление звука данной частоты, а  $P_0$  – давление звука частотой 1000 Гц на пороге слышимости. Единицей измерения уровня звукового давления является *бел* (Б). Для человеческого уха уровень звука в один бел практически не слышен, поэтому, чаще всего, используют децибел (дБ), равный десяти белам.

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 вводится понятие уровня громкости, который выражается в *фонах*.

## 5.2 Проникновение звука через ограждающие конструкции

Падающий на поверхность материала звук частично отражается, частично поглощается, частично проходит через конструкцию (рисунок 6.1).

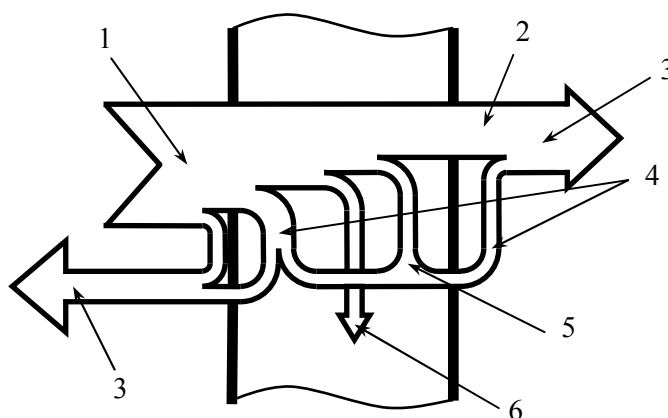


Рисунок 5.1 – Схема прохождения звука через ограждающую конструкцию:

- 1 – падающий звук; 2 – звук, прошедший через щели и поры материала; 3 – суммарный звук, прошедший через конструкцию; 4 – звук, возникающий от колебания конструкции; 5 – звуковая энергия, трансформирующаяся в тепловую; 6 – структурный шум; 7 – отраженный звук.

Доля звуковой энергии отражающейся от конструкции называется *коэффициентом отражения*  $\beta$ , а прошедшая через конструкцию – *коэффициентом звукопроницаемости*  $\tau$ . Оба этих коэффициента зависят от материала конструкции, частоты звуковых волн и угла падения на поверхность.

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

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

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

Пути передачи шума от источника в помещение могут быть *прямыми* и *косвенными*. Косвенная передача шума образуется при колебании ограждающих конструкций, вызываемом ударным или воздушным звуком. Такой шум называется *структурным*. Он особенно заметен в строительных конструкциях, жестко связанных с вибрирующими механизмами. Косвенные пути передачи звука зависят от многих причин, трудно поддающихся учету и расчету, создают дискомфортные условия во многих помещениях здания.

### 5.3 Звукоизоляция. Оценка звукоизоляции

Звукоизоляцией называется ослабление шума, обеспечиваемое ограждением. К основным методам достижения звукоизоляции относят:

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

Расчет стен и перегородок производится по показателю звукоизоляции от воздушного шума  $I_v$ , а междуэтажных перекрытий – от воздушного  $I_v$  и ударного  $I_y$  шума. Показатель изоляции от воздушного шума определяют сравнением кривой расчетной частотной характеристики изоляции от воздушного шума с нормативной кривой, взятой из СНиП [3]. Нормативная кривая приведена на рисунке 6.2.

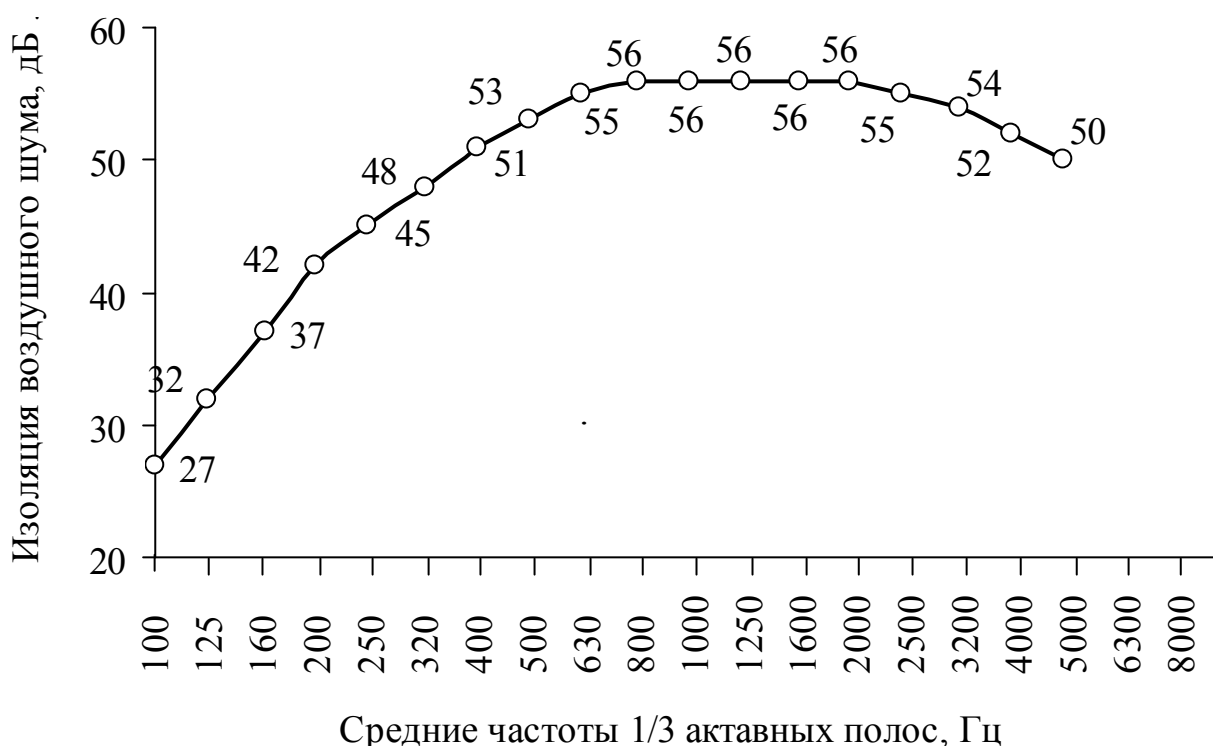


Рисунок 5.2 – Нормативная частотная характеристика изоляции от воздушного шума

Звукоизоляция ограждений заключается в том, что звуковые волны, попадая на твердые препятствия, частично отражаются, при этом часть их энергии возвращается в помещение. Остающаяся в конструкции энергия сообщает этому препятствию колебания. Таким образом, возникает корпусной шум. Корпусной шум распространяется в возбужденной конструкции во все стороны. Наиболее значительная часть звуковой энергии излучается в соседние помещения в виде воздушного шума.

Для возбуждения колебаний в тяжелой конструкции необходимо затратить больше энергии, чем в легкой. Это положение было сформулировано в ка-

честве закона массы в 1910 году Р. Бергером. Оно гласит, что величина звукоизоляции при каждом удвоении массы поверхности или частоты повышается на 6 дБ.

При падении воздушной звуковой волны под углом в стене возникают изгибные волны. Совпадение длины изгибной волны с длиной воздушной волны приводит к возникновению «пространственного резонанса».

Максимум давления приходится всегда на зону, в которой стена «выдавливается» изгибной волной. Это явление называется согласованием или совпадением. Конструкции, у которых граничная частота совпадения составляет более 2000 Гц, называются гибкими. Если же граничная частота совпадения ниже 200 Гц, конструкции считаются жесткими на изгиб. Вследствие того что диффузное звуковое поле включает волны всех частот и направлений, следует обращать внимание на верхнюю граничную частоту эффекта совпадения, поскольку это может привести к снижению звукоизоляции.

Для построения кривой расчетной частотной характеристики изоляции воздушного шума определяется поверхностная плотность конструкции  $P_{\pi}$

$$P_{\pi} = \gamma \times \delta, \quad (5.5)$$

где  $\gamma$  – плотность материала однослойного ограждения;  $\delta$  – толщина ограждения. Далее определяем верхнюю граничную частоту по графику, представленному на рисунке 5.3.

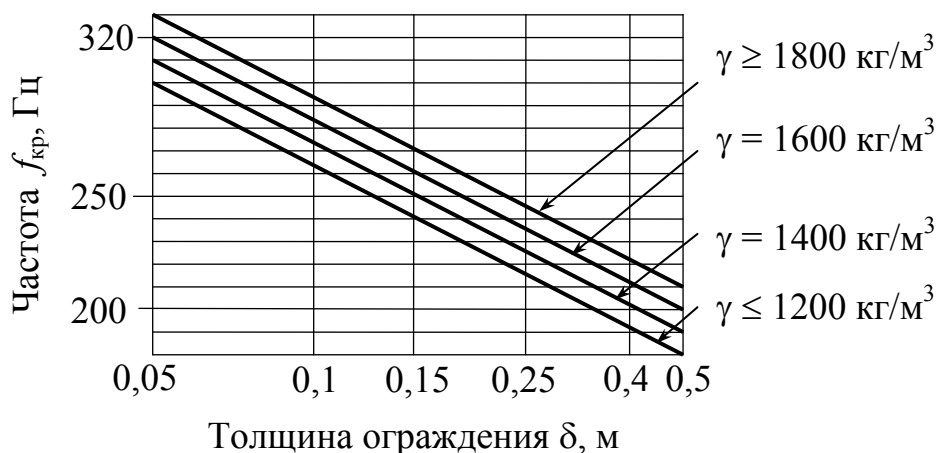


Рисунок 5.3 – Определение граничной частоты совпадения

По графику, представленному на рисунке 5.4, определяется изоляция от воздушного шума в области частот ниже граничной. При этом считается, что данная характеристика постоянна.

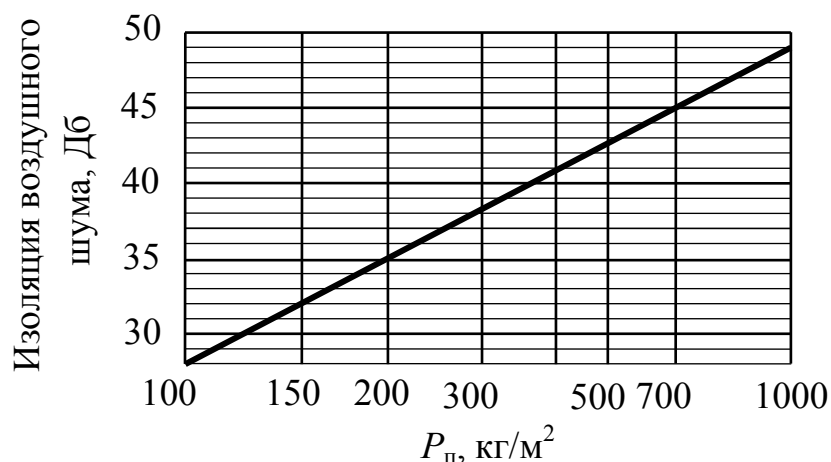


Рисунок 5.4 – Шумоизоляция на граничной частоте

Далее по вычисленным значениям на нормативной частотной характеристике откладывается точка  $B$  (рисунок 5.5). Из точки  $B$  влево откладывается прямая  $BA$ , вправо проводится прямая  $BC$  с наклоном 7,5 дБ на октаву. При этом изоляция воздушного шума  $R_C$  (ордината точки  $C$ ) равна 60 дБ. Вправо от точки  $C$  откладывается прямая  $CD$ . После того как нарисована ломаная  $ABCD$ , необходимо посчитать *среднее неблагоприятное отклонение*  $\Delta_{\text{ср}}$ . К ним относятся показатели, расположенные ниже нормативной кривой. Например, для кривой 1 (рисунок 5.5) все отклонения благоприятные. Для кривой 2 неблагоприятные отклонения находятся на участке от 125 до 2000 дБ.

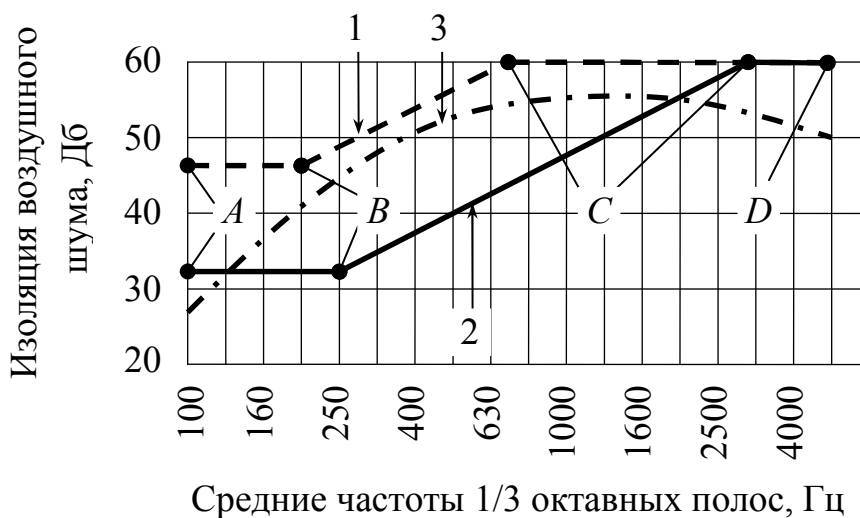


Рисунок 5.5 – Расчетные частотные характеристики звукоизоляции:

- 1 – звукоизоляция достаточна, 2 – звукоизоляция недостаточна,
- 3 – нормативная частотная характеристика

Среднее неблагоприятное отклонение, равное 1/15 суммы всех отклонений, не должно быть больше 2 дБ. При отклонении, меньшем или равным 2 дБ, показатель звукоизоляции равен 0 дБ. Если среднее неблагоприятное отклонение показателя звукоизоляции окажется больше 2 дБ, то нормативную кривую следует сместить в сторону неблагоприятных отклонений на целое число деци-

бел, чтобы выполнялось условие  $\Delta_{\text{ср}} \leq 2$  дБ. Эта величина смещения является показателем звукоизоляции конструкции со знаком «минус».

#### 5.4 Звукоизоляция от ударного шума

Расчет звукоизоляции от ударного шума, создаваемого ремонтными работами и т. п., производится методами, аналогичными методам, используемым при расчете звукоизоляции от воздушного шума. Нормативная частотная характеристика изоляции от ударного шума приведена на рисунке 5.6.

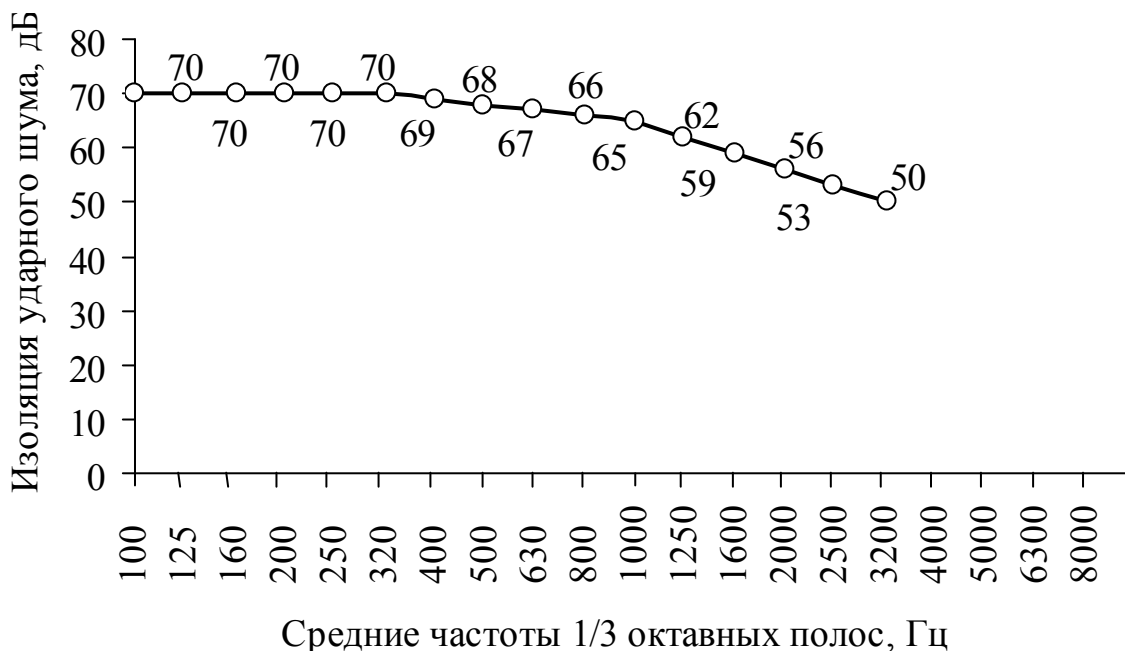


Рисунок 5.6 – Нормативная частотная характеристика изоляции от ударного шума

В этом случае толщина конструкции имеет наибольшее значение для звукоизоляции. Так, уровень ударного шума под массивной однородной конструкцией снижается: с каждым удвоением толщины конструкции – на 10,5 дБ, с каждым удвоением значения плотности – на 3,8 дБ, с каждым удвоением модуля упругости – на 2,3 дБ. Уровень ударного шума, наоборот, повышается с каждым удвоением частоты при использовании однородных плит перекрытия на 1,5 дБ. На рисунке 5.7 показана звукоизоляция от ударного шума железобетонных плит различной толщины.



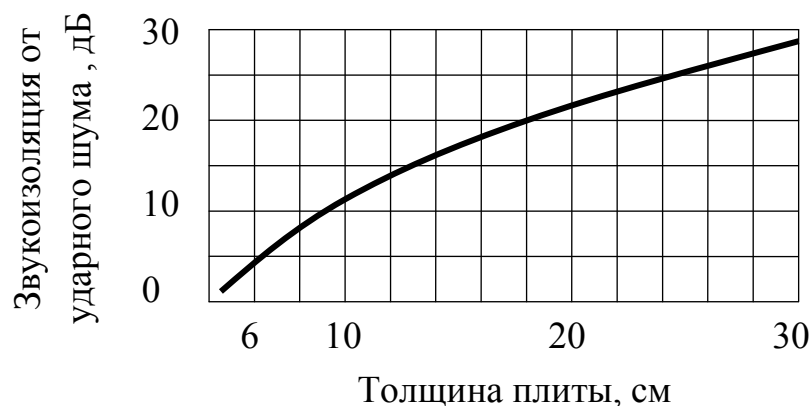


Рисунок 5.7 – Звукоизоляция от ударного шума однослойных железобетонных плит

Из рисунка видно, что однослойная конструкция не обеспечивает достаточной изоляции от ударного шума. Достаточная величина звукоизоляции может быть достигнута при использовании многослойных конструкций. Многослойная конструкция функционирует по принципу «масса – пружина – масса». Так, звукоизоляция двухслойной конструкции в зоне выше своей резонансной частоты повышается на 12 дБ на каждую октаву. Ниже рассмотрены некоторые из таких конструкций.

*Плавающие полы.* Здесь «масса» образуется плитой стяжки, а «пружина» – мягким промежуточным слоем. Поскольку действие стяжки начинается лишь в зоне частот выше резонансной частоты, то она должна быть как можно ниже. Резонансная частота зависит от массы поверхности плиты пола, динамического модуля упругости и толщины промежуточного слоя. Расчетами может быть определена величина улучшения звукопоглощения в зависимости от массы стяжки пола и жесткости изоляционного слоя. При этом уменьшение жесткости и увеличение массы поверхности – совместные мероприятия, обеспечивающие оптимальный результат. Величина улучшения звукоизоляции за счет применения плавающих полов может составлять от 15 до 35 дБ.

В качестве материала плиты, распределяющей нагрузку, можно использовать цементные, гипсовые и ангидритные стяжки, а также литой асфальт. Изоляционный слой может состоять из волокнистых, пенопластовых изоляционных материалов или засыпок. Обычные плиты из пенополистирола в качестве промежуточного слоя непригодны, как непригодны из-за большой жесткости легкие древесностружечные плиты, засыпки из песка и шлака.

*Эластичные покрытия пола.* Вызываемое эластичным покрытием пола снижение ударного шума также зависит от возбуждаемой частоты. Возникает резонанс, при котором снижение уровня ударного шума равно нулю. Здесь иные закономерности, нежели принцип «масса – пружина – масса», так как масса плиты, распределяющей нагрузку, отсутствует. Резонансная частота обратно пропорциональна времени контакта между возбудителем колебаний и покрытием. После прохождения резонанса кривая повышается на 12 дБ при каждом удвоении частоты. Резонансная частота снижается по мере увеличения

времени контакта, которое, в свою очередь, зависит от глубины проникновения молотка в слой, от жесткости слоя, веса и размера молотка. Уменьшение уровня ударного шума за счет применения мягковолокнистых покрытий может быть достигнуто лишь с использованием многослойных покрытий. Величина улучшения звукоизоляции для ковровых изделий превышает 30 дБ.

*Подвесные потолки.* Действие подвесного потолка состоит в том, что излучаемый перекрытием вниз ударный шум распространяется как воздушный шум, проходит через подвесной потолок, как через звукоизоляцию, и затем воспринимается расположенным под ним помещением в уменьшенном уровне. Подвесной потолок должен быть плотным и располагаться на достаточно большом расстоянии от плиты перекрытия. Как и всякая колебательная система, конструкция подвесного потолка подвержена влиянию резонанса. Кроме того, при больших расстояниях между оболочками возникают стоячие волны, которые ухудшают звукоизоляцию в соответствующих зонах частот, если путем достаточного поглощения в пространстве между перекрытием и подвесным потолком не обеспечивается снижение энергии звука.

Повышенное изолирующее действие многих гибких, как правило, подвесных потолков базируется на их незначительной излучающей способности. Этим можно объяснить также хорошее звукоизолирующее действие от ударного шума подвесных потолков даже при небольших расстояниях между оболочками. С целью снижения силы звука подвесной потолок рекомендуется выполнять гибким. В промежутке между подвесным потолком и перекрытием следует укладывать звукопоглощающие с открытой пористостью материалы, чтобы не ухудшать жесткости подвесного потолка на изгиб. Действие подвесного потолка, как и всех двухслойных систем, в большей или меньшей степени зависит от наличия даже небольших акустических мостиков.

## 5.5 Меры защиты от шума

Все шумы можно классифицировать в соответствии со следующей диаграммой (рисунок 5.8):

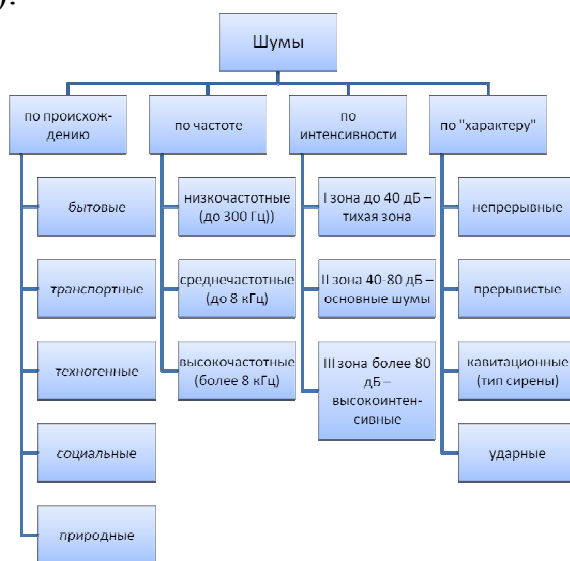


Рисунок 5.8 – Классификация шумов

Защита помещений от шума достигается совокупностью архитектурно-планировочных, конструктивных и эксплуатационных мер. *Архитектурно-планировочные меры* защиты от шума являются самыми простыми и дешевыми. К ним относятся мероприятия, предусмотренные в проектах городов и зданий:

- зонирование территории, предполагающее удаленность промышленных предприятий от жилых районов;

- упорядочение зон, т. е. размещение зон с учетом интенсивности шума;

- использование преград для распространения шума таких, как

- 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);

- руппирование шумовыводящих помещений (лифтовые шахты, вентиляционные камеры и т. п.);

- о возможности вынос источников шума за пределы здания;

- устройство экранов между шумовыделяющими помещениями;

- вынос источников шума за пределы зданий;

- рациональные габариты помещения (чем меньше и ближе к квадрату, тем меньше шум).

К *техническим мероприятиям* звукоизоляции относятся защита от воздушного шума и уменьшение изгибных колебаний. Для достижения необходимой звукоизоляции от возможного шума, следует не допускать в ограждении щелей, отверстий и неплотностей сопряжений. Уменьшить изгибные колебания возможно:

- увеличением толщины стены  $\delta_{ст.}$ ;

- повышением массы ограждения;

- подбором материала ограждения. Плотный материал отражает от своей поверхности до 99 %. При этом изолируя соседние помещения от шума, внутри самого помещения такой материал его увеличивает за счет многократного отражения звука. Для снижения уровня шума в помещении с источником шума целесообразно применять рыхлые, пористые материалы;

- при применении многослойных конструкций, состоящих из двух слоев (стенок), разделенных воздушной прослойкой. Звукоизолирующая способность раздельных конструкций лучше, если стенки имеют различную толщину или выполнены из разных по массе материалов.

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

- поглощение звука пористыми материалами;

- «мембранное поглощение звука» конструкции со слоями различной звукопроницаемости, раздельные конструкции с воздушной прослойкой. В ка-

честве «мембраны» (плит на откосе) используют гипсокартонные листы, древесностружечные и древесноволокнистые плиты, прибиваемые к деревянным рейкам;

– «перфорация» – перфорированная поверхность листовых материалов. К звукопоглощающим относятся изделия: акустические плиты «Мелодия», «Москва», металлические плитки, металлические перфорированные листы.

## 5.6 Архитектурная акустика

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

Одним из показателей акустических свойств помещений является реверберация. Время, в течение которого происходит затухание звука, называется *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*  $T_{omn}$ . Оптимальное время реверберации разное для помещений различного назначения.

Акустическое качество помещений зависит:

- от формы помещения;
- от размеров помещения;
- от профиля отдельных поверхностей, например, стен, потолка;
- от применения и размещения звукопоглощающих материалов.

## Часть 4. ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ СВЕТОТЕХНИКИ

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

### Лекция 6. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ СВЕТОТЕХНИКИ

#### 6.1 Природа света

Научное обоснование света прошло несколько этапов:

- английский математик, механик, астроном и физик *Исаак Ньютон* (1643-1727 гг.) открыл дисперсию света, разработал корпускулярную теорию света, в работе «Оптика» (1704 г.) сформулировал гипотезу о разложении света;
- французский физик *Жюстин Жан Френель* (1788-1827 гг.) создал в 1818 г. теорию дифракции света, а в 1821 г. доказал поперечность световых волн и объяснил поляризацию света;
- английский физик *Джеймс Клерк Максвелл* (1831-1879 гг.) выдвинул идею электромагнитной природы излучения;
- немецкий физик-теоретик *Альберт Эйнштейн* (1879-1955 гг.) создал теорию относительности. Он как автор основополагающих трудов по квантовой теории света ввел понятие фотона.

К настоящему моменту известно, что свет это электромагнитное излучение, распространяющееся квантами. Наличие у света волновых и корпускулярных свойств называется корпускулярно-волновым дуализмом.

Интересующая нас область длин волн достигающего Земли солнечного излучения лежит между 0,2 мкм до 3 мкм и делится следующим образом:  $0,2 \div 0,38$  мкм – ультрафиолетовое излучение;  $0,38 \div 0,78$  мкм – видимый свет;  $0,78 \div 3$  мкм – инфракрасное излучение. При этом около 3 % приходится на ультрафиолетовое излучение, 44 % на видимый свет и 53 % на инфракрасное излучение. Максимум интенсивности лежит в области видимого света, т. е. при длине волны 0,555 мкм.

Действующее на здание солнечное излучение складывается из прямого излучения (в зависимости от состояния солнца), рассеиваемой при прохождении через земную атмосферу части излучения, так называемого диффузного излучения, и излучения, которое, отражаясь от зданий, поверхности земли, улиц и т. д., падает на рассматриваемое здание и называется отраженным излучением.

#### 6.2 Основные светотехнические величины

Любое тело, температура которого выше абсолютного нуля, излучает некоторую энергию  $Q_E$ . Энергия, передаваемая излучением, называется *лучистой энергией*. *Световым потоком*  $\Phi$  называется мощность лучистой энергии, оцениваемой по световому ощущению, которое оно производит. Единица измерения – люмен (лм). Для характеристики точечных источников применяется по-

нятие *сила света*  $I$ , которая равна потоку светового излучения, приходящегося на единицу телесного угла:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}, \quad (6.1)$$

Единица измерения силы света, кандела (кд), является одной из основных единиц системы СИ. Ее значение принимается таким, чтобы яркость (см. ниже) полного излучателя при температуре затвердевания платины была равна  $60 \text{ кд/см}^2$ .

Для характеристики излучения (отражения) света в заданном направлении служит яркость. *Яркость*  $L$  – отношение силы света элементарной поверхности  $\Delta S$  в данном направлении к проекции площадки  $\Delta S$  на плоскость, перпендикулярную взятому направлению (рисунок 6.1а).

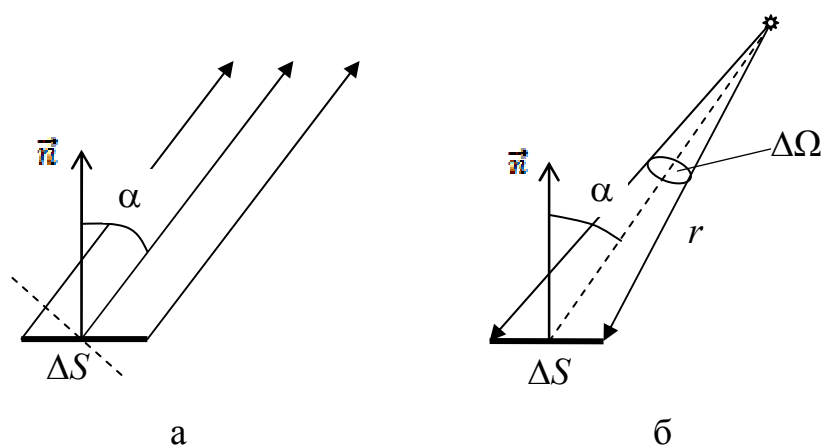


Рисунок 6.1 – К определению яркости (а) и освещенности (б)

Яркость определяется по формуле

$$L = \frac{I}{\Delta S \cdot \cos \alpha}. \quad (6.2)$$

Например, стена, окрашенная масляной краской, при взгляде перпендикулярно плоскости стены и из любой точки имеет различную яркость. Единица измерения яркости является кандела на квадратный метр ( $\text{кд/м}^2$ ).

*Освещенность*  $E$  представляет собой плотность светового потока, падающего на единицу поверхности (рисунок 6.1б). Освещенность определяется по формуле

$$E = \frac{I \cdot \cos \alpha}{r^2}. \quad (6.3)$$

Единица измерения – люкс (лк).

### 6.3 Факторы, влияющие на световосприятие

*Равномерность.* Условием хорошей освещенности помещения являются не только абсолютные величины яркостей, но и равномерность их распределения. Если в поле зрения глаза находятся две поверхности различной яркости, то

глаз приспособляется путем сужения зрачка к более светлой поверхности и восприятие более темной поверхности становится меньше. Равномерность освещенности существенно зависит от размеров помещения и окон, а также наличия препятствий падающему свету. Кроме того, немаловажное значение имеют коэффициенты отражения ограждающих помещение поверхностей, препятствий на пути прохождения света, обстановка помещения, а также вид остекления окон. Равномерность освещения характеризуется отношением самой низкой освещенности в помещении к средней освещенности, измеряемой в горизонтальной базовой области.

Требуемая равномерность освещения может быть достигнута с помощью следующих конструктивных мероприятий: двух- или многостороннее расположение окон; применение горизонтальных и вертикальных жестко закрепленных и подвижных козырьков, расположенных за окнами и перед ними; соответствующее расположение окон; применение светонаправляющих стекол; использование ограждений и оборудования с высокой отражающей способностью.

*Блескость.* Если различие в яркости находящихся рядом одна с другой поверхностей слишком велико, то наступает ослепление. Под ним понимают нарушение остроты зрения глаза из-за абсолютно или относительно большой яркости. Наряду с прямым ослеплением от солнечных лучей ощущение ослепления может наступить и внутри помещения из-за большого контраста между сильной яркостью видимого через окно участка неба и значительно меньшей яркостью ограждающих помещение поверхностей.

Распределение света считается хорошим, если в поле зрения, т. е. под углом  $30-45^\circ$ , в зависимости от назначения помещения, не попадает никаких резких контрастов яркости. Как правило, соотношение яркости между видимым объектом и соседней поверхностью не должно превышать 1:3, между видимым объектом и далеко расположенными объектами – 1:10. При необходимости следует предусматривать установку дополнительного дневного освещения.

*Затененность.* Для распознавания вида материала и структуры поверхности предметов необходима некоторая их затененность. Вследствие одностороннего освещения, например, при одном небольшом окне, может образоваться слишком сильная и глубокая отраженная или собственная тень. При этом из-за значительного контраста яркостей между освещенной поверхностью и областью отраженной или собственной тени может возникнуть ощущение ослепленности.

При боковом падении дневного света в помещениях с боковыми окнами достаточная затененность, как правило, гарантируется. Рабочие места должны быть организованы так, чтобы тень от руки или корпуса тела не падала на рабочую поверхность. Слишком резкие от посторонних предметов и собственная тени, а также резкие края тени могут быть существенно смягчены двухсторонним расположением окон.

*Метеорологические условия.* Оценка освещенности дневным светом затруднена в основном из-за того, что источник света, которым является Солнце, подвержен постоянным колебаниям. Кроме того, помещение, наряду с прямым

солнечным излучением, освещается светом от ясного или облачного неба, а также светом, отраженным от окружающей обстановки.

Нормативами дневной свет определен как диффузный свет от полностью закрытого облаками неба и свободной от снега поверхности земли. Таким образом, очень неопределенное прямое излучение Солнца, а также распределение яркости ясного неба не могут служить в качестве базовых величин для расчетов дневного освещения. Яркость  $L_\delta$  облачного неба зависит только от угла  $\delta$  подъема Солнца над горизонтом  $L_\delta = L_3(1 + 2 \sin \delta)/3$ , где  $L_3$  – яркость неба в зените.

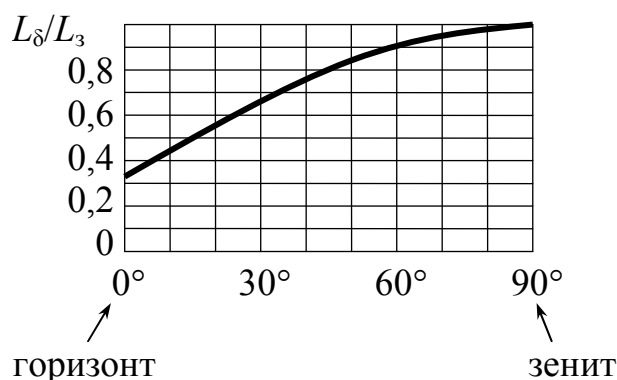


Рисунок 6.2 – Относительная яркость облачного неба

От зенита, самой светлой области, до горизонта яркость убывает приблизительно в 3 раза (рисунок 6.2).

Освещенность горизонтальной поверхности на свободном пространстве зависит от высоты Солнца. На рисунке 6.3 показаны ежедневные и сезонные изменения освещенности на свободном пространстве при равномерно облачном небе.

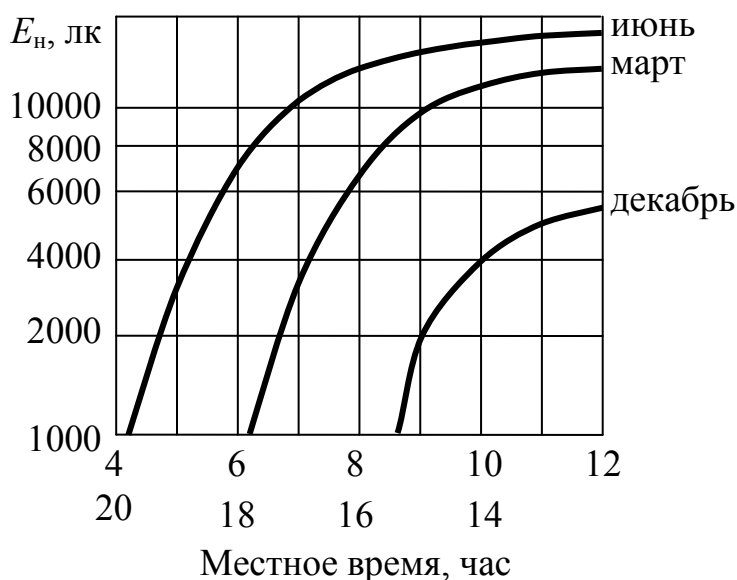


Рисунок 6.3 – Ежедневное изменение средней освещенности горизонтальной поверхности на открытом месте для 53° северной широты.



Максимальная освещенность в 12 часов дня колеблется между 5300 лк в декабре и почти 20000 лк в июне.

*Коэффициент естественной освещенности.* Создаваемая дневным светом в помещении освещенность линейно зависит от наружной освещенности. Для количественного обозначения освещенности введен коэффициент естественной освещенности (КЕО)  $T$ , который определен как отношение создаваемой в определенной точке  $P$  освещенности  $E_P$  к имеющейся при свободном (незастроенном) горизонте освещенности  $E_n$ .

$$T = \frac{E_P}{E_n} \cdot 100 \% . \quad (6.4)$$

Для каждой точки помещения при полностью закрытом облаками небе КЕО – постоянная величина. Поэтому для проектируемого помещения он может быть определен заранее. Или, наоборот, для каждой базовой точки помещения (базовая плоскость принимается на высоте 0,85 м) и при известных или предварительно заданных коэффициентах  $T$  для определенного дня или времени года могут быть вычислены освещенности  $E_P$ .

#### **6.4 Расчет КЕО для помещений с прозрачным остеклением боковых окон**

КЕО при окнах в стенах с прозрачным остеклением складывается из доли, вносимой светом неба  $T_n$ , доли, создаваемой наружным отражением  $T_o$ , и доли, соответствующей внутреннему отражению  $T_b$ . При этом используют понижающие коэффициенты, учитывающие ослабление света вследствие остекления, деталей конструкции окна и загрязнения:

$$T = (T_n + T_o + T_b) \cdot \tau \cdot k_1 \cdot k_2 . \quad (6.5)$$

Здесь коэффициенты  $\tau$ ,  $k_1$  и  $k_2$  необходимо взять из стандарта DIN 5034, выполняющего роль ГОСТа.

Составляющая  $T_n$ , учитывающая долю небесного света в составе КЕО, определяется относительно точки наблюдения  $P$  непосредственно с помощью видимого из окна сектора неба. При этом действительный сектор неба (рисунок 6.4) может быть уменьшен за счет застройки (соседними или расположенными напротив строениями, выступающими балконными плитами, деревьями и т. д.).

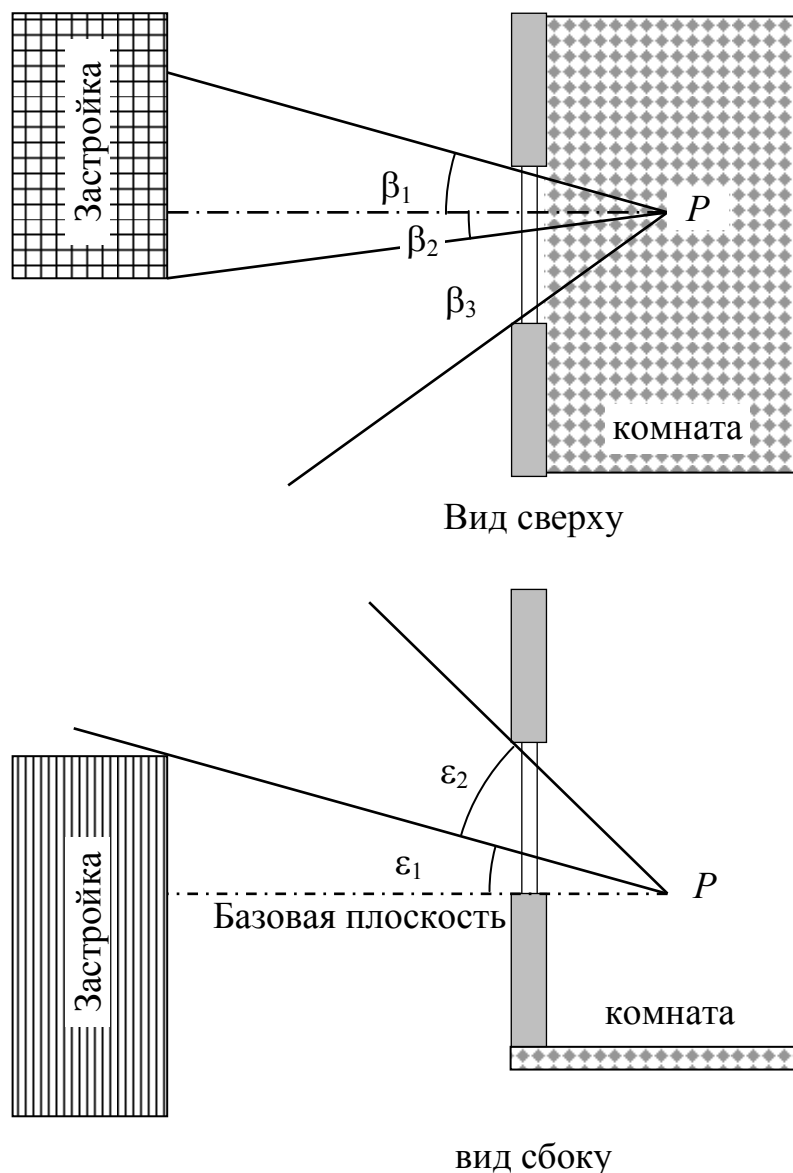


Рисунок 6.4 – К определению видимого из окна сектора неба

Коэффициент  $T_n$  определяют по диаграмме небесного света (рисунок 6.5). На средней ординате диаграммы, разделенной сеткой с ячейками площадью  $1 \text{ см}^2$ , которые соответствуют значению  $T_n=0,1\%$  (переводной коэффициент  $M$ ), снизу вверх нанесены углы высоты окна или застройки. Эти углы определяются в разрезе (рисунок 6.4) как углы между базовой плоскостью, проходящей через точку  $P$  и верхней горизонтальной границей соответственно окна или застройки. Налево и направо от средней ординаты по оси абсцисс отложены углы ширины окна или застройки. Углы ширины определяются в плане (рисунок 6.4), как углы между плоскостью, нормальной к стене с окном, проходящей через точку  $P$ , и вертикальной плоскостью, проходящей через ту же точку  $P$  и боковую грань окна или расположенного напротив здания. В качестве примера на рисунке 6.5 затемнены сектор окна и сектор застройки.

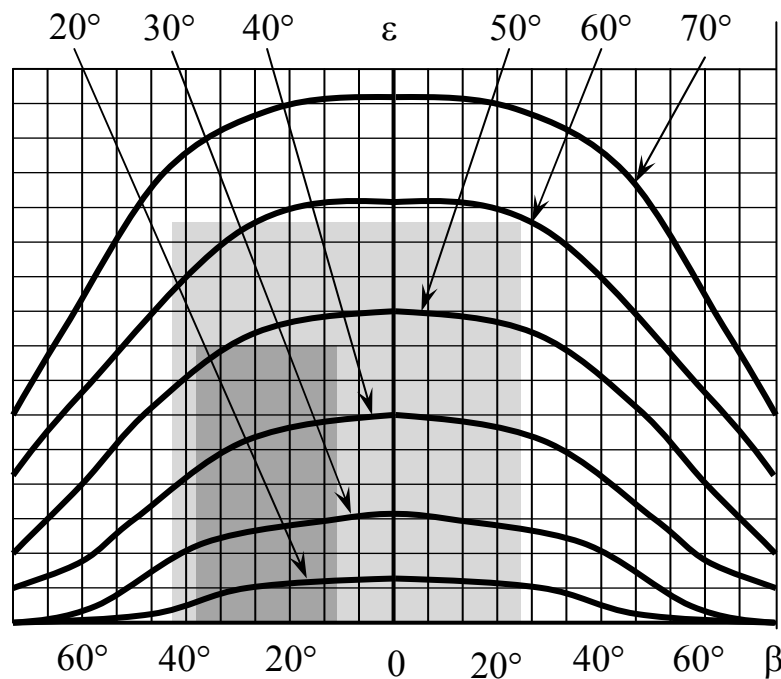


Рисунок 6.5 – Диаграмма света неба (уменьшено – 1 клетка = 1 см<sup>2</sup>)

Подсчетом числа ячеек сетки или планиметрированием определяют площадь сектора неба, который виден из точки  $P$  с учетом застройки, и после перемножения этой площади  $S_n$  на коэффициент пересчета  $M$  получают составляющую небесного света

$$T_n = S_n \cdot M.$$

Составная часть КЕО, учитывающая наружное отражение  $T_o$ , образуется отраженным от застройки светом. Ее величина зависит от видимой через оконный проем площади застройки и от ее коэффициента отражения. Составляющая наружного отражения определяется аналогично составляющей небесного света. По диаграмме небесного света (рисунок 6.5) определяется площадь  $S_3$ , которая видна через окно из точки  $P$ , и умножается на коэффициент пересчета  $M$  и коэффициент 0,15. При этом исходят из того, что яркость застройки составляет 15 % скрытой ею яркости неба

$$T_o = 0,15 \cdot S_3 \cdot M.$$

Составляющая внутреннего отражения  $T_v$  определяется проникающими через окно лучами света, отраженными от ограждающих помещение поверхностей на полезную плоскость. Она зависит в основном от коэффициентов отражения, ограждающих помещение плоскостей, и отношения площади окна к общей поверхности помещения. Составляющая внутреннего отражения  $T_v$  упрощенно рассчитывается как среднее значение для полезной площади:

$$T_v = \frac{b \cdot h}{S_b} \cdot \eta \cdot f \cdot 100 \%.$$

Здесь  $b$  и  $h$  – ширина и высота окна;  $S_b$  – сумма площадей поверхностей, ограничивающих помещение;  $\eta$  – коэффициент стереоскопического эффекта

помещения, зависящий от отношения площади стен к общей поверхности помещения и коэффициенту отражения света;  $f$  – фактор окна, т. е. отношение вертикальной яркости на поверхности окна к горизонтальной яркости вне помещения.

Три компонента коэффициента дневного света  $T_n$ ,  $T_o$  и  $T_v$  рассчитываются сначала для строительного размера окна, а потери света от остекления, конструкции переплетов, занимающих часть общей площади окна и из-за загрязнения стекол, учитываются применением коэффициентов ослабления света:  $\tau$ ,  $k_1$  и  $k_2$ . При этом коэффициент  $\tau$  определяет светопропускание остекления (для нормального светлого плоского стекла при одинарном остеклении принимается равным 0,9, при двойном остеклении – 0,8). Понижающий коэффициент  $k_1$  определяется отношением площади стекла к общей площади оконного проема, а коэффициент загрязнения остекления  $k_2$  зависит от местных условий и назначения помещения (для жилых помещений принимается 0,9).

### 6.5 Нормативы естественной освещенности

В соответствии с назначением помещения и зрительными задачами различают требования к освещенности во внутренних помещениях и тем самым к величинам КЕО. В жилых помещениях с односторонним расположением окон на базовой поверхности (0,85 м от пола) на половине глубины помещения и на расстоянии 1 м от боковой стены КЕО должен быть не менее 1 %. При расчетах КЕО средний коэффициент отражения ограждающих помещение поверхностей принимается равным 0,3.

Таблица 6.1 – Необходимая освещенность для различных зрительных задач

Степень	$E$ , лк	Условие зрительной задачи
1	15	Ориентация, только временное пребывание людей
2	30	
3	60	Легкие зрительные задачи, крупные детали с высокой контрастностью
4	120	
5	250	Нормальные зрительные задачи, детали средней величины со средней контрастностью
6	500	
7	750	
8	1000	Тяжелые зрительные задачи, мелкие детали с небольшой контрастностью
9	1500	
10	2000	Очень тяжелые зрительные задачи, очень мелкие детали с малой контрастностью
11	3000	
12	5000	Особые случаи, например, освещение операционного поля

В рабочих помещениях КЕО в наиболее удаленном углу на расстоянии 1 м от задней и боковой стен, т. е. в наиболее неблагоприятном месте, также должен составлять не менее 1 %. В СНиП [4] также приведены достаточные для удовлетворения этого требования размеры окон. При многостороннем расположении окон минимальное значение повышается до 2 %, чтобы избежать уст-

ройства слишком маленьких окон и тем самым явления блескости. Рекомендуются следующие значения коэффициентов отражения: потолка –  $0,7 \div 0,8$ ; стен –  $0,5 \div 0,6$ ; полов –  $0,15 \div 0,3$ ; столов –  $0,4$ . В рабочих и учебных помещениях требуемую освещенность и, следовательно, КЕО следует определять, прежде всего, в зависимости от поставленных зрительных задач (таблица 6.1).

## Лекция 7. ИНСОЛЯЦИЯ

### 7.1 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 также психологическом воздействии на человека, активном влиянии на биосферу земли и т. п. Под термином инсоляции следует понимать суммарное солнечное облучение, т. е. 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  $40^{\circ}$ – $60^{\circ}$ , что позволяет обеспечивать наиболее равномерную инсоляцию города в течение года.

Для архитектора понимание существа инсоляции является необходимым условием. Это особо актуально в настоящее время в связи с энергетическими и экологическими проблемами, а также с тем, что качество архитектуры определяется, прежде всего, комфортностью среды, надежностью конструкций, выразительностью пространств и форм и экономичностью 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.

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 в. 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 нормируется 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 второстепен-

ным фактором. Необходимо учитывать не только положительные ее воздействия, но и отрицательные. Некоторые из положительных и отрицательных воздействий инсоляции приведены в таблице 13.

Таблица 7.1 – Единство положительных и отрицательных воздействий инсоляции в архитектуре

Аспекты воздействия инсоляции	Положительные эффекты	Отрицательные эффекты
Биологический	1. Общеоздоровительный эффект (загар, образование витамина Д, обогрев). 2. Санирующий эффект – улучшение функции зрения при повышенной освещенности и контрастности освещения.	1. Фотохимическая токсичность отработанных газов в городах. 2. Переоблученность и концентрогенность. 3. Общий и местный перегрев. 4. Световой дискомфорт. 5. Разрушающее действие на живую клетку
Психологический	1. Солнечность освещения. 2. Динамика яркости распределения и цветности в поле зрения 3. Связь с внешним пространством	1. Снижение активности и настроения при световом дискомфорте и перегреве
Эстетический	1. Выявление пространства, пластики формы, силуэта цветовых соотношений, ритма элементов архитектуры и живописности архитектурных решений	1. Снижение восприятия формы и ощущения. 2 Насыщенность цвета при чрезмерных яркостях. 3. Выцветание поверхностей
Экономический	1. Природный источник дополнительной энергии для обогрева помещений. 2. Сокращение площади световых проемов. 3. Повышение производительности труда и работоспособности	1. Повышение расходов на вентиляцию и кондиционирование воздуха 2. Снижение производительности труда и работоспособности при тепловом и цветовом дискомфорте

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

## 7.2 Основы расчета инсоляции

Источником практически всей 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  $149,5 \cdot 10^6$  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. тонн. В стратосферу Земли попадает одна двухмиллиардная часть выброшенной Солнцем энергии, но и 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. Важны основные закономерности попадания солнечных лучей на поверхность земли, зависящие от взаимного расположения Земли и Солнца.

Вследствие движения Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца происходят сезонные и суточные изменения высоты положения Солнца. Поэтому в соответствии с географической широтой в течение года изменяются угол излучения и продолжительность инсоляции. Для наблюдателя движение Земли вокруг Солнца представляется как движение Солнца вокруг Земли. При этом положение Солнца на небе определяется азимутальным углом (небесным направлением, из которого светит Солнце, измеренным от направления на север по направлению движения часовой стрелки) и углом высоты (угол подъема над плоскостью горизонта (рисунок 7.1).

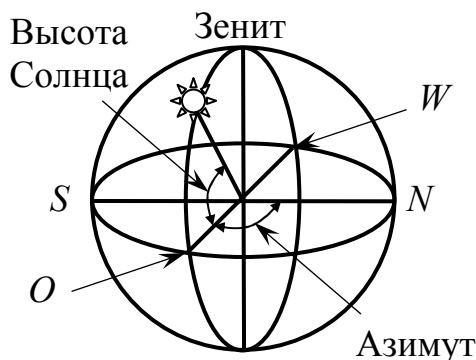


Рисунок 7.1 – Азимут и высота Солнца в астрономической системе

Чтобы определить положение Солнца на небе в любое время года и дня для определенной географической широты, его положения наблюдателя из видимого полушария неба с видимыми солнечными орбитами стереографически, в виде параболоида, проецируется на горизонтальную плоскость. Таким образом, для всех нечетных градусов широт получены развернутые диаграммы положения Солнца (рисунок 7.2).



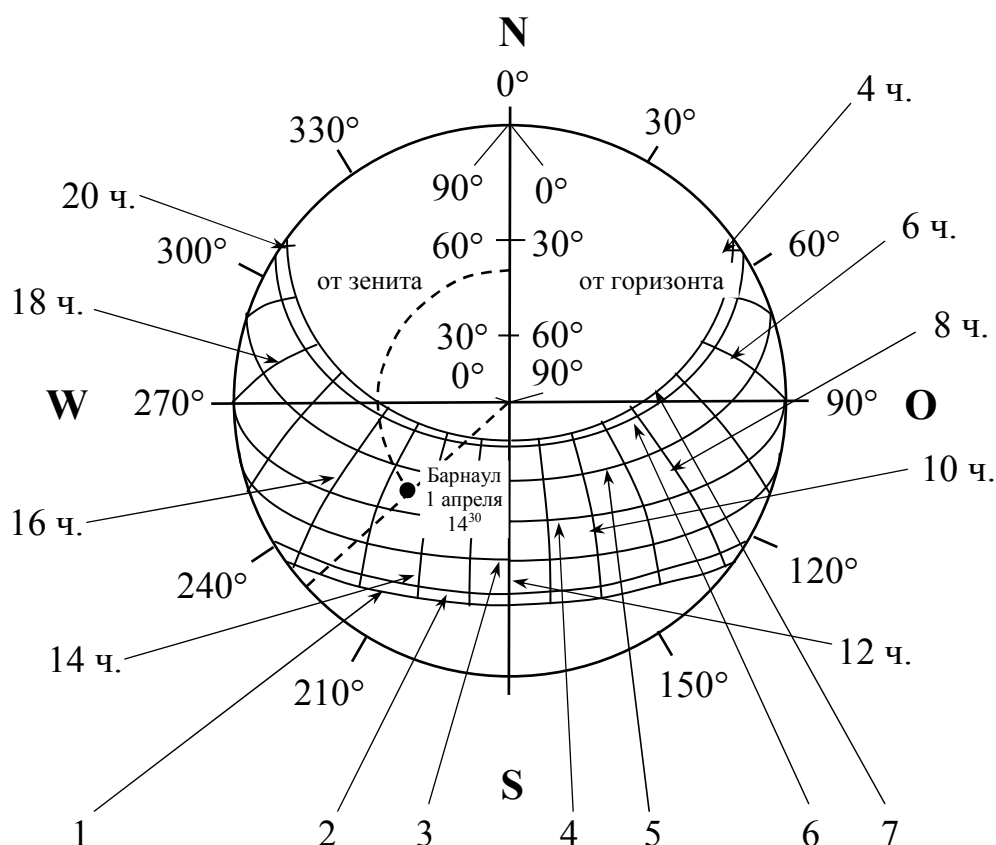


Рисунок 7.2 – Диаграмма положения Солнца для  $53^\circ$  с.ш. Указано астрономическое (истинное местное) время. Изображения солнечных орбит соответствуют 21 числу месяца: 1 – декабрь; 2 – ноябрь, январь; 3 – февраль, октябрь; 4 – март, сентябрь; 5 – апрель, август; 6 – май, июль; 7 – июнь.

Средняя точка диаграммы является проекцией точки зенита, а также точка нахождения наблюдателя. Солнечные орбиты при таком способе проекции изображены с учетом данных астрономического времени (истинного местного времени) в виде эксцентрических отрезков дуг окружностей. Они взяты приблизительно для 21-го числа каждого месяца, так как Солнце достигает своего наиболее высокого положения в день летнего солнцестояния 21 июня и своего наиболее низкого положения в день зимнего солнцестояния 21 декабря. Другими характерными точками солнечной орбиты являются дни весеннего и осеннего равноденствия (21 марта и 21 сентября). Начиная от дня весеннего равноденствия в северном полушарии дни становятся длиннее ночей.

Солнечные орбиты для других заданных моментов времени следует определять интерполяцией. Рисунок 7.2 показывает, как можно с помощью диаграммы положения Солнца определить азимутальный угол и высоту Солнца для определенного места. На рисунке приведен пример для Барнаула. 1-го апреля (сентября) в 14 ч 30 м. Солнце находится в точке с азимутом  $230^\circ$  и на высоте  $50^\circ$ .

При свободном горизонте от места нахождения наблюдателя до видимой солнечной орбиты может быть определено, в какое время года и дня Солнце

светит в точку наблюдения. Если часть солнечной орбиты закрыта застройкой, то с этого участка неба на точку наблюдения не могут падать прямые солнечные лучи. Поэтому для оценки условий инсоляции и определения мероприятий по солнцезащите необходимо получить изображение застройки и тем самым затенение вследствие закрытия ею области солнечной орбиты в диаграмме положения Солнца. Для этого используется определитель углов затенения Линсмайера.

### **7.3 Расчет и обеспечение инсоляции**

Под расчетом инсоляции будем понимать комплекс средств и приемов, которые должен предусматривать архитектор в своем проекте с целью создания комфортной свето-пространственной среды существования человека, в которой находятся здания, сооружения и городские ансамбли. Как известно, инсоляция может оказывать не только положительное, но и отрицательное воздействие на человека (см. таблицу 7.1), поэтому архитектору необходимо знать основные ее закономерности и уметь применять в своей деятельности. Архитектор может существенно влиять на инсоляцию проектируемого объекта: во-первых, на стадии объемно-планировочной разработки здания, сооружения; во-вторых, при разработке генерального плана, при проектировании ограждающих конструкций, в первую очередь, светопрозрачных. Рассмотрим эти этапы более подробно.

При проведении объемно-планировочных решений необходимо учесть следующие параметры:

- *расчетные комнаты квартиры* – это комнаты, которые должны обеспечиваться нормированной инсоляцией: не менее 1 комнаты в 1, 2 или 3-комнатных квартирах; не менее 2 комнат в 4 и 5-комнатных квартирах (см. таблицу 7.2). Для всего здания за расчетную принимают планировочную комнату на уровне первого этажа;

- *расчетные стороны жилых зданий* – это стороны, на которые сориентированы 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 считается точка геометрического центра расчетного окна расчетной комнаты, проведенная из этой точки нормаль к плоскости окна называется осью окна. За рас-

четную 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. Нормативные значения продолжительности инсоляции для различных помещений приведены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Нормативные значения сектора инсоляции (СИ)

Помещения и участки территории	СИ, град.
Не менее, чем одной жилой комнаты в одно-, двух-, трехкомнатных квартирах; не менее, чем в двух комнатах многокомнатных квартир; в спальнях домов отдыха, санаториях и пансионатах, в учебных помещениях школ, на детских игровых площадках, плескательных бассейнах, в некоторых гостиницах и комнатах общежитий (не менее 60 % помещений).	45
В палатах больниц и родильных домов, игровых комнатах интерьеров детских садов и яслей	50

Примечания: при определении суммарного сектора инсоляции минимальное значение одного из составляющих секторов инсоляции должно быть не менее 15 %.

Мероприятия при решении генплана включают в себя учет:

– *гарантийная инсоляционная зона (ГИЗ)* – минимально необходимое пространство перед главной расчетной стороной здания, служащее для нормального обеспечения инсоляцией расчетных точек;

– *градостроительная маневренность жилых зданий* – определяется на основании нормативных требований по инсоляции. Она характеризуется возможностью ориентации этих зданий по отношению ко всей окружности горизонта, принимаемой за 100 %.

Допустим, архитектору поступило задание: разместить здание на генеральном плане. Участок территории отводится, а природно-климатические, геологические и другие характеристики удовлетворительные. При этих условиях архитектор может существенно повлиять на инсоляционный режим в помещении ориентацией здания. Под *ориентацией здания* имеется в виду такое размещение здания, чтобы угол (азимут) между осью расчетного окна и южным направлением был в рекомендуемом секторе (таблица 7.3). 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 СНиП [4], а некоторые из них сведены в таблицу 7.3.

Таблица 7.3 – Классификация помещений по размещению на генплане, требования к их инсоляции и солнцезащите

Группа помещений и участков территории	Требования к инсоляции	Требования к солнцезащите	Допустимые ориентации светопроемов
<b>II группа</b> вестибюли рекреации рабочие помещения 5÷8 разрядов зрительных работ	Не предъявляются	Обязательно только в жаркий период	360° во всех климатических зонах
<b>III группа</b> лаборатории читальные залы рабочие помещения 1÷4 разрядов зрительных работ	Не предъявляются	Обязательно только в течение рабочего времени	360°
<b>IV группа</b> Демонстрационные выставочные павильоны книгохранилища операционные	Не предъявляются	—	—

После того, как вы сориентировали здание с учетом инсоляции, необходимо определить расстояние между зданиями. Расстояния между зданиями определены в [7], однако в ряде конкретных случаев расстояние необходимо определять на месте. Основой расчета является нормированный параметр инсоляции помещений и территорий внутриквартальных пространств, который определяется суммарным вектором инсоляции СИ.

СИ измеряется по плоскости, проходящей через расчетную точку и наклонной к югу под углом  $\varphi$  к плоскости горизонта. Угол  $\varphi$  определяется из зависимости:

$$\varphi = 10^\circ \cdot (1 + \cos \text{Ш}),$$

где Ш – географическая широта в градусах.

На основании данных в г. Барнауле вектор инсоляции для жилых помещений должен быть равным  $45^\circ$  и находится в плоскости наклонной к горизонту под углом примерно  $32^\circ$ . Зная величину сектора инсоляции, его наклон к горизонту, с учетом того, что он должен быть симметричным полудню, можно определить продолжительность инсоляции. Следует подчеркнуть, что СИ не характеризует плоскость, в которой Солнце перемещается по небу, он характеризует условную плоскость с точки зрения достаточности инсоляции. Напри-

мер, угол  $\varphi$  для Барнаула составляет  $\approx 33^\circ$ , а высота в период равноденствия составляет  $40^\circ$ .

Построив сектор инсоляции, архитектор может свободно варьировать расстояние между зданиями, используя рельеф, зелень и т. п. Проектировщик, на стадии решения генплана, может существенно повлиять на инсоляцию, правильно используя влияние на нее рельефа местности со сложившимся природно-географическим ландшафтом. Кроме этого, он может предусмотреть зеленые насаждения, искусственно изменить водоемы, разумно «облагородить» рельеф и др. Но не следует забывать, что решение инсоляции является только частью архитектурных задач, которые необходимо решать архитектору.

В данном пособии рассмотрена только часть проблемы (построение сектора инсоляции и оценка инсоляции в расчетной точке). Кроме этого, архитектору часто приходится оценивать ситуацию и определять реальное время затенения, время инсоляции, гарантийную зону инсоляции, предусматривать градостроительную маневренность застройки и др. Для решения этих задач одним из условий является правильное построение отбрасываемой тени зданием или группой зданий, зелеными насаждениями, рельефными образованиями. От длины тени зависит не только время ее воздействия на архитектурный объект, но и интенсивность солнечной радиации, так как она увязана непосредственно с высотой солнца. При построении теней приходится многократно определять высоту солнца и направление лучей, что является достаточно трудоемким процессом.

Обеспечение инсоляции может быть реализовано и другими средствами, в частности, конструктивными. Некоторые из них приведены в таблице 7.4. Кроме приведенных решений, в каждом конкретном случае могут быть свои оригинальные решения.

Кроме показанных в таблице конструктивных средств, часто используются 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 7.4 – Конструктивные солнцезащитные и светорегулирующие средства

Наименование СЗУ	Область применения	Рациональ- ный сектор ориентации	Климатиче- ская зона	Материал
1. Затененные элементы зданий				
Профиль ограж- дающих конструк- ций здания	Общественные, жи- лые и промышлен- ные здания	45-135 225-315	III-V	Любой матери- ал, используе- мый для стен
Размещение и фор- ма фонарей	Общественные и промышленные зда- ния	330-30	III-V	—
Шедовые фонари	Промышленные здания	90-270	II-V	—
Фонари со свето- выми шахтами	Общественные и промышленные зда- ния	360	III-V	—
2. Солнцезащитные и светорегулирующие устройства				
Маркизы	Общественные зда- ния (торговли, от- дыха, спорта)	45-315	IV-V	Ткань, алюми- ний, пластик
Жалюзи в подфо- нарном простран- стве. Защитные эк- раны	Общественные и промышленные зда- ния	360	III-V	—
Шторы сворачи- вающиеся	Общественные и жилые здания	45-315	II-V	Ткань, пластик
Шторы-жалюзи	Общественные и жилые здания	45-315	II-V	Алюминий, пластик
Солнцезащитный диффузор над зе- нитным фонарем	Общественные и промышленные зда- ния	330-30	III-V	Алюминий, сталь
Солярий	Медицинские учреждения	—	II-V	Дерево, алюми- ний
Козырьки	Общественные и промышленные зда- ния	135-225	II-V	Дерево, алюми- ний, пластик, асбестоцем. листы
Жалюзи стацио- нарные и регули- руемые	Жилые, обществен- ные и промышлен- ные здания	горизонтальные		Дерево, алюми- ний, пластик, асбестоцем. листы
		90-27	II-V	
		вертикальные		
		45-90 27-315	II-V	
		комбинированные		

## Литература

1. СНиП 23-01-99. Строительная климатология / Госстрой России. – М. : Стройиздат, 2000. – 57 с.
2. СНиП II-3-79\*. Строительная теплотехника / Минстрой России. – М. : ГПЦПП, 1995. – 29 с.
3. СНиП 11-12-77. Защита от шума / Госстрой СССР. – М. : Стройиздат, 1978. – 49 с.
4. СНиП 11-4-79. Естественное и искусственное освещение / Минстрой России. – М. : ГП ЦПП, 1995. – 35 с.
5. Архитектура гражданских и промышленных зданий. В 5 т. Т. 2: Основы проектирования. – М. : Стройиздат, 1976.
6. Архитектурная физика / под общ. ред. Оболенского Н.В. – М.: Стройиздат, 1997.
7. Гусев, Н. М. Основы строительной физики / Н. М. Гусев. – М. : Стройиздат, 1975.

**Орлов Владимир Леонидович, Гумиров Михаил Афлахович,  
Быкова Валерия Владимировна, Векман Анатолий Валерьевич**

## **Лекции по строительной физике**

*Учебное пособие*

Редактор Н. И. Горбачёва

Подписано в печать 20.06.2013. Формат 60×84 1/16.  
Усл.п.л. 4,30.

Издательство Алтайского государственного  
технического университета им. И. И. Ползунова,  
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46,  
<http://izdat.secna.ru>

Лицензия на издательскую деятельность  
ЛР № 020822 от 21.09.98 г.