МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М.АУЭЗОВА

Кафедра «Физика для технических специальностей»

Пономаренко Е.В.

# Сборник тезисов лекций по дисциплине «Основы строительной физики» для студентов специальности 5В072900 – Строительство

Шымкент - 2015 г.

УДК 53.09:69.04

Составитель: Пономаренко Е.В. Сборник тезисов лекций по дисциплине «Основы строительной физики» для студентов специальности 5В072900 – Строительство. – Шымкент: Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауэзова, 2015. – 72 с.

Сборник тезисов лекций составлен в соответствии с требованиями учебного плана и программой дисциплины «Основы строительной физики» и включает все необходимые сведения по изучению тем лекционных занятий курса.

Сборник тезисов лекций составлен в полном соответствии программе, рабочей программе дисциплины, силлабусу, календарно-тематическим планом лекций и содержит: введение; тезисы лекций по модулям (тему лекции; план лекции; краткое изложение основных, ключевых моментов по каждой теме дисциплины в виде тезисов; основные понятия; иллюстративный материал; контрольные вопросы); заключение; список литературы.

Сборник тезисов лекций предназначен для студентов специальности 5В072900 – Строительство.

Рецензенты:
Сайдуллаева Н.С. – к.ф.-м.н., доцент, заведующая кафедрой «Физика для ТС» ЮКГУ им. М.Ауэзова
Спабекова Р.С. – к.х.н., доцент, доцент кафедры «Физика для ТС» ЮКГУ им. М.Ауэзова

Рассмотрено и рекомендовано к печати заседанием кафедры «Физика для ТС» (протокол № 8 от 26.03.2015 г.) и
методической комиссией факультета «Строительство и транспорт» (протокол № 9 от 27.03.2015 г.)

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом ЮКГУ им. М.Ауэзова, протокол № _____ от «_____»_____201____ г.

© Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауэзова, 2015 г.

Ответственный за выпуск: Пономаренко Е.В.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..4
ТЕЗИСЫ ЛЕКЦИЙ ПО МОДУЛЯМ……..……..5
МОДУЛЬ 1. ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЛИМАТОЛОГИИ И АКУСТИКИ……..5
Введение……...……5
Основы строительной климатологии…….8
Климат и строительство……13
Ветрозащита……..15
Основы строительной акустики…….……22
Распространение звука……..25
Защита от звука и шума при строительстве…….……28
МОДУЛЬ 2. ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОТЕХНИКИ
И СВЕТОТЕХНИКИ…….……32
Основы строительной теплотехники…….……32
Явления переноса и их учет в строительстве…….37
Наружные ограждения и теплотехнические требования, предъявляемые к ним…..41
Теплопроводность и воздухонепроницаемость…….……46
Основы строительной светотехники……..……..52
Освещение помещений и его измерение……..…….56
Инсоляция. Обобщение…….……63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ……..……71
ЛИТЕРАТУРА……..…….71

# ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Основы строительной физики» является прикладным разделом общей физики, изучающей вопросы обеспечения теплового, светового, акустического и экологического комфорта помещений различного назначения. Изучение дисциплины позволит будущему специалисту, занимающимся строительством зданий и сооружений, разработкой проектов интерьеров жилых и общественных помещений, грамотно моделировать и создавать предметно-пространственную среду.

Целью и задачей преподавания дисциплины является изучение физических явлений и процессов, связанных со строительством и эксплуатацией зданий и сооружений, а также теоретических основ формирования внутренней среды под воздействием солнечного и искусственного света, цвета, тепла, движения воздуха и звука, с учетом природы их восприятия человеком.

Дисциплина связана с дисциплинами «Проектирование», «Теоретическая механика», «Сопротивление материалов», «Эргономика», дипломным проектированием.

В результате изучения дисциплины студент должен знать: физические основы процессов, сопутствующих строительству и эксплуатации любого помещения (теплообмен, перенос звука, естественное и искусственное освещение, воздухообмен и т.д.).

В результате изучения дисциплины студент должен уметь: на основе знаний основных физических процессов, формирующих внутреннюю среду и влияющие на выбор ограждающих конструкций, обозначить состав и особенности конструкций наружных и внутренних ограждений помещения с учетом требований обеспечения прочности и комфортности.

Для изучения дисциплины студент должен иметь знания математики, физики, начертательной геометрии. Знания по дисциплине являются основой изучения строительных конструкций, инженерных систем и технологии строительного производства.

ТЕЗИСЫ ЛЕКЦИЙ ПО МОДУЛЯМ

МОДУЛЬ 1 ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЛИМАТОЛОГИИ И АКУСТИКИ

## Лекция 1. Введение

**План**

1. Предмет строительной физики. Обеспечение теплового, светового, акустического и экологического комфорта помещений различного назначения. Эксплуатационные качества зданий (размер и объем помещений, их отделка и степень оборудования инженерными и санитарно-техническими устройствами, конструкция ограждений, защищающих помещения от холода, солнечной радиации, осадков и других внешних воздействий).
2. Этапы становления строительной физики. Направления строительной физики: строительная теплотехника (теплопередача, влажностный режим, воздухопроницание), строительная светотехника (естественное и искусственное освещение помещений, инсоляция и солнечная радиация), строительная акустика (звукоизоляция и акустика помещений).
3. Важность изучения строительной физики (знание физических свойств материалов и конструкций; состояние среды, в которой должна протекать эксплуатация здания; оценка эксплуатационных качеств, выбор материалов и конструкций ограждений, и т.д.).

**Тезисы**

Строительная физика – это совокупность научных дисциплин (разделов прикладной физики, рассматривающих физические явления и процессы, связанные со строительством и эксплуатацией зданий и сооружений, и разрабатывающих методы соответствующих инженерных расчётов. Основными и наиболее развитыми разделами строительной физики являются строительная теплотехника, строительная акустика, строительная светотехника, изучающие закономерности переноса тепла, передачи звука и света (т.е. явлений, непосредственно воспринимаемых органами чувств человека и определяющих гигиенические качества окружающей его среды) с целью обеспечения в зданиях (сооружениях) необходимых температурно-влажностных, акустических и светотехнических условий. Получают развитие и другие разделы строительной физики - теория долговечности строительных конструкций и материалов, строительная климатология, строительная аэродинамика. Вопросы прочности, жёсткости и устойчивости зданий и сооружений рассматриваются в особом разделе прикладной физики — строительной механике.

Эксплуатационные качества зданий определяются не только размерами и объемами помещений, их отделкой и степенью оборудования инженерными и санитарно-техническими устройствами, но и конструкцией ограждений, защищающих помещения от холода (или солнечной радиации), осадков и других внешних воздействий. Разделяя две среды с различной температурой, давлением воздуха, его влажностью, силой шума (звука), ограждения препятствуют прониканию в помещения (или из них) воздуха, влаги, звука, света. Изучение

физических процессов, происходящих в ограждениях и разделяемых средах под воздействием этих факторов, является предметом строительной физики ограждающих конструкций, включающей несколько направлений. Основными из них являются строительная теплотехника (теплопередача, влажностный режим, воздухопроницание), строительная светотехника (естественное и искусственное освещение помещений, инсоляция и солнечная радиация), строительная акустика (звукоизоляция и акустика помещений). В курсе будут рассмотрены некоторые из этих вопросов, знание которых поможет выявить физические свойства материалов и конструкций, состояние среды, в которой должна протекать их эксплуатация, необходимые для оценки эксплуатационных качеств, выбора материалов и конструкций ограждений.

При решении задач в строительной физике используются: теоретические расчёты на основе устанавливаемых общих закономерностей; методы моделирования, с помощью которых исследуемые процессы воспроизводятся или в измененном масштабе, или на базе известных аналогий; лабораторные испытания элементов конструкций (например, в камерах искусственного климата); натурные наблюдения и измерения в сооруженных объектах. Развитие строительной физики обеспечивается наличием теоретических и экспериментальных данных современной физики и физической химии.

Данные строительной физики служат основой для рационального проектирования строительных объектов, обеспечивающего соблюдение требуемых эксплуатационных условий в течение заданного срока их службы. Разрабатываемые в строительной физике методы расчёта и испытаний позволяют дать оценку качеству строительства (как на стадии проектирования, так и после возведения зданий и сооружений).

Становление строительной физики как науки относится к началу 20 в. До этого времени вопросы строительной физики обычно решались инженерами и архитекторами на основе практического опыта.

Особенно интенсивное развитие строительная физика получила в связи со значительным увеличением объёмов строительства различных по назначению зданий с применением индустриальных облегчённых конструкций и новых материалов, требующих предварительной оценки их свойств. Советскими учёными впервые были разработаны теория теплоустойчивости ограждающих конструкций зданий (О.Е. Власов), методы расчёта влажностного состояния конструкций (К.Ф. Фокин) и их воздухопроницаемости, выполнен ряд др. фундаментальных исследований по важнейшим проблемам строительной физики, имеющим большое значение для современного строительства.

Расширение масштабов полносборного строительства потребовало проведения комплексных исследований в области долговечности строительных конструкций и материалов. Происходящие в конструкциях процессы неустановившегося, изменяющегося по направлению теплообмена и, в гораздо большей степени, явления перемещения и замерзания влаги вызывают постепенное изменение структурно-механических свойств материалов, что проявляется в их набухании, усадке, образовании микротрещин и постепенном необратимом разрушении.

Температурные напряжения при неустановившемся теплообмене, фазовые переходы и особенно объёмно-напряжённое состояние материалов (при неравномерном распределении влаги) являются основными причинами процесса постепенного нарушения прочности строительных конструкций и в значительном мере определяют их долговечность. Чрезмерное увлажнение материалов и конструкций содействует их ускоренному разрушению от мороза, коррозии, биологических процессов.

Расчётные методы строительной физики, а также основные положения физико-химической механики, изучающей влияние физико-химических процессов на деформации твёрдых тел, являются необходимым фундаментом для создания материалов с заданными свойствами и развития теории долговечности, особенно важной при массовом применении новых материалов и облегчённых индустриальных конструкций, не проверенных опытом многолетней эксплуатации. Структурно-механические свойства строительных материалов (бетонов, кирпича и др.) зависят от процессов переноса тепла и влаги при обжиге, сушке, тепловлажностной обработке. Изменяя режимы технологических процессов в соответствии с закономерностями целесообразного переноса тепла и вещества, можно существенно повысить качество материалов. Т.о., расчётные методы строительной физики служат научной основой и для совершенствования технологии производства строительных материалов и изделий.

Разработка методов инженерного расчёта долговременного сопротивления конструкций зданий разрушающим физико-химическим воздействиям внутренней и наружной атмосферы связана с необходимостью изучения закономерностей изменения внутреннего микроклимата помещений и внешних климатических условий. Внешние воздействия на здания и их конструкции рассматриваются самостоятельным разделом строительной физики - строительной климатологией, развивающейся на основе достижений физики атмосферы и общей климатологии. В большинстве случаев воздействие климата является комплексным (совместное влияние температуры и ветра, осадков и ветра и т.п.). Интенсивному развитию строительной климатологии способствует увеличение объёмов строительства в разнообразных климатических условиях.

Отдельным разделом строительной физики, изучающим воздействие на здания и сооружения ветра и др. потоков воздуха, возникающих при разности температур и давлений, является строительная аэродинамика. Учёт распределения аэродинамических давлений на внешних поверхностях важен для проектирования естественной и искусственной (механической) вентиляции, предотвращения местных снежных заносов (например, на кровле здания), а также для установления ветровых нагрузок на здания и сооружения. Особенности внутреннего климата помещений зависят от их размещения в здании и аэродинамических характеристик последнего, поскольку распределение температур и влажности в помещениях связано с условиями естественного воздухообмена. Изучение аэродинамических характеристик объектов строительства с различными геометрические очертаниями и объёмами позволяет обеспечить хорошие эксплуатационные качества

производственных и общественных зданий, а также установить рациональные типы городской застройки при различных климатических условиях.

Перспективы дальнейшего развития строительной физики связаны с использованием новых средств и методов научных исследований. Так, например, структурно-механические характеристики материалов и их влажностное состояние в конструкциях зданий изучаются с помощью ультразвука, лазерного излучения, гамма-лучей, с применением радиоактивных изотопов и т.д. При создании эффективных средств отопления и кондиционирования воздуха, а также ограждающих конструкций, характеризующихся малыми потерями тепла, находит применение полупроводниковая техника. Распределение температур на поверхностях конструкций, в воздушной среде помещений и потоках воздуха исследуется методами моделирования и термографии на основе закономерностей интерференции света при различном тепловом состоянии среды.

**Контрольные вопросы**

1. Что изучает строительная физика как учебная дисциплина?
2. Назовите основные этапы развития строительной физики.
3. Какие методы используют в строительной физике при решении задач?
4. Покажите, что расчётные методы строительной физики служат научной основой для совершенствования технологии производства строительных материалов и изделий.

## Лекция 2. Основы строительной климатологии

**План**

1. Информация о климате и климатических нормативах для строительства. Основные характеристики климата и их значение при проектировании.
2. Влажность. Точка росы. Поглощательная способность строительных материалов.

**Тезисы**

Слово «климат» греческое, означает «наклон». Древние греки полагали, что состояние атмосферы, а именно: температура воздуха 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 $T_З$ и прилегающего к ней слоя воздуха $T_В$. С отклонением лучей солнца от перпендикуляра к земной поверхности (с изменением их наклона) температура поверхности земли понижается. 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.

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 широт в более высокие.

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 тепла отражают.

При исследовании климата района не только определяют его основные

показатели, но и изучают взаимодействие основных климатообразующих факторов.

*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 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 (t, °С), влажность (ω, %), перемещение воздуха (υ, м/с), солнечная радиация (Р, Вт/м$^2$). Температура – один из важнейших климатических элементов.

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

С учетом теплового воздействия на человека выделены следующие виды погоды:

– холодная (ниже +8 °С);

– прохладная (8-15 °С);

– теплая (16-28 °С);

– жаркая (выше +28 °С);

– очень холодная (ниже -12 °С);

– очень жаркая (выше +32 °С).

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

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

Поэтому при проектировании зданий учитывают:

– расчетную температуру наиболее холодных суток и пяти суток;

– амплитуды колебаний температуры воздуха – суточные, месячные, годовые.

Для определения влажностного режима пользуются следующими показателями.

Влажность воздушной среды существенно влияет на влажностное состояние конструкций.

Для определения влажностного режима пользуются следующими показателями.

Абсолютная влажность f, г/м$^3$, – количество влаги в граммах, содержащееся в 1 м$^3$ воздуха.

Парциальное давление (упругость) водяного пара е, Па, – давление г 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, г/м$^3$. Стан насыщения постоянен при заданной температуре воздуха.

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

С повышением температуры воздуха величины Е и W увеличиваются.

Относительная влажность воздуха φ характеризует степень насыщения воздуха водяным паром и определяется, как отношение абсолютной влажности к стану насыщения при постоянной температуре: $\varphi = \frac{\omega}{W} 100\%$

Относительная влажность воздуха может быть определена, как отношение абсолютного парциального давления к парциальному давлению в стане насыщения: $\varphi = \frac{e}{E} 100\%$ Величина φ влияет на интенсивность испарения влаги с любых увлажненных поверхностей. По величине φ различают влажностный режим помещений: сухой (φ<50%); нормальный (φ=50÷60%); влажный (φ=61÷75%); мокрый (φ>75%).

С повышением температуры воздуха относительная влажность φ понижается, величина парциального давления е остается постоянной, а величина Е увеличивается, так как теплый воздух может быть более насыщен парами влаги, чем холодный.

При понижении температуры относительная влажность φ возрастает и может достигнуть 100 % и при некоторой температуре может оказаться Е = е, наступает состояние полного насыщения воздуха водяным паром. Температура, при которой наступает полное насыщение воздуха водяным паром, называется температурой точки росы $\tau_р$. При дальнейшем понижении температуры воздуха $t_в$, внутри помещения избыток влаги переходит в жидкое состояние – конденсируется, и в виде жидкости оседает на ограждении.

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

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

По сочетанию температуры и влажности воздуха определяют комфортность условий в помещениях. Требования к условиям комфортности установлены в санитарно-гигиенических нормах с учетом климатического района строительства.

Это объясняется особенностями влияния климата на организм человека в различных условиях. В районах с холодной зимой для нормализации теплового состояния человека в жилище требуется более высокая температура в помещении, чем в теплых районах.

Рассматривая влияние солнечной радиации на здание, следует учитывать поглощательную способность различных материалов, которая зависит от их цвета и состояния. В таблице приведена поглощательная способность различных 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<br>Оцинкованная сталь<br>Черепица | | Темно-коричневый<br>Светло-серый<br>Светло-красный | 88<br>65<br>60 |

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

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

**Контрольные вопросы**

1. Назовите климатообразующие факторы.
2. Назовите характеристики климата, влияющие на строительство.
3. Какова роль учета влажности в строительстве зданий и сооружений?
4. От каких характеристик зависит поглощательная способность строительных материалов?

## Лекция 3 Климат и строительство

**План**

1. Учет климатических условий (ветра, солнца и т.д.) при строительстве. Типы жилых домов для различных климатических районов.

2. Гигиенические параметры комфортности наружной среды. Понятие жестокости погоды.

**Тезисы**

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; на конструктивное решение ограждающих конструкций (материал, толщина, наличие и размещение гидроизоляционных слоев); на разработку защитных мероприятий

(отвод воды); на выбор инженерного оборудования (отопление, вентиляция, кондиционирование).

Перемещение воздуха влияет на: планировку зданий; этажность зданий; ориентацию зданий; размещение промышленной и жилой зон населенных мест; планировку населенных мест (направление улиц); конструктивное решение зданий.

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.

Количество выпадающих *осадков* и их интенсивность имеют большое значение при проектировании. Влияние осадков на ограждения зданий существенно.

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 моросящие 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.

Осадки (дождь, 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 внутренняя поверхность наружной стены, расположенной перпендикулярно холодному ветру, несколько холоднее, чем при штиле. В условиях жаркого климата расположением комнат можно добиться сквозного проветривания квартир, т.е. ветер улучшает микроклимат жилища. Во влажных районах ветер ускоряет просушивание ограждений, таким образом, увеличивая долговечность зданий.

Лучистая энергия солнца (солнечная радиация) создает естественное освещение земной поверхности. *Солнечную радиацию* можно определить как количество энергии на единицу поверхности, Вт/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 для горизонтальных и вертикальных поверхностей.

Облучение какой либо поверхности прямыми солнечными лучами называется *инсоляцией*. Инсоляция территории или помещения измеряется продолжительностью 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 %).

Необходимо учитывать, что стены разной ориентации в разное время суток нагреваются неодинаково, при этом их температура на 15–20°С 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.

**Контрольные вопросы**

1. С чего начинается учет климатических условий в строительстве жилых зданий?
2. Как определить солнечную радиацию?
3. Для чего в строительстве учитывают температуру?
4. Что относится к гигиеническим параметрам комфортности наружной среды?
5. Приведите примеры «хорошего» и «плохого» учета влияния климатических условий на ход строительства.

## Лекция 4 Ветрозащита

**План**

1. Ветер, его характеристики. Трансформация ветрового потока при взаимодействии с искусственной преградой.
2. Зоны изменения скорости ветра при обтекании одиночного здания. Ветрозащита.

**Тезисы**

Ветром называется перемещение масс воздуха из области высокого атмосферного давления в область с низким давлением. Ветер характеризуется силой (скоростью) и направлением. Характеристика ветра в зависимости от силы дана в таблице 1. Скорость ветра определяется величиной барического градиента, т.е. разностью атмосферного давления на установленную единицу расстояния равную 60 милям, в сторону падения давления. Поэтому скорость ветра тем больше, чем больше барический градиент.

Из-за вращения Земли, под влиянием силы Кориолиса направление ветра не совпадает с ее вектроромом барического градиента, а отклоняется в северном полушарии вправо, в южном влево. В средних широтах отклонение может достигать 60 град. За направление ветра берется точка горизонта, откуда он дует.

Ветер по своей структуре не однороден. Он может быть струйным (ламинарным), когда слои воздуха движутся не перемешиваясь, т.е. их частицы не переходят из слоя в слой. Такое движение воздуха обычно бывает при слабых ветрах. Если же скорость ветра превышает 4 м/с, то частицы воздуха начинают двигаться беспорядочно, его слои перемешиваются и движение воздуха приобретает турбулентный характер. Чем выше скорость ветра, тем больше турбулентность, тем больше скачки скорости в отдельных точках воздушного потока и тем более порывистым становится ветер, возникают шквалы.

Шквалистый ветер характерен не только частыми и резкими колебаниями скорости, но и сильнейшими отдельными порывами продолжительностью до нескольких минут. Ветер, который резко увеличивает свою скорость в течение очень короткого промежутка времени на фоне слабого ветра или штиля, называют шквалом. Чаще всего шквалы налетают при прохождении мощных кучево-дождевых облаков и нередко сопровождаются грозой и ливнями. Скорость шквального ветра достигает 20 м/с и более, а в отдельных порывах 30-40м/с. При этом могут наблюдаться неожиданные повороты ветра до нескольких румбов. Основной причиной шквала является взаимодействие восходящего потока воздуха в передней части кучево-дождевого облака и нисходящего воздуха, охлажденного ливневым дождем, в тыловой его части в результате возникает характерный клубящийся вал с вихрем под ним, усиленный вихрями соседних воздушный слоев.

Вертикальные вихри в грозовом облаке могут образовывать смерчи. Когда скорость такого вихря достигает 100м/с, нижняя часть облака в виде воронки опускается к подстилающей поверхности (земле или воде), навстречу поднимающемуся вверх пылевому или водяному столбу. Встреча со смерчем опасна: обладая большой разрушительной силой и вращаясь по спирали, он может поднять вверх все, что оказывается на его пути. Высота смерча достигает более 1000 метров, горизонтальная скорость 30-40 км/час. Поэтому при виде смерча нужно определить направление его перемещения и немедленно уходить в сторону. Иногда смерч может образоваться и без грозовых облаков. В этом случае он зарождается не из тучи, а на поверхности земли или моря, нередко при безоблачном небе.

Антипассат растекается в направлении к полюсам, соответственно к северу и к югу. Охлажденные воздушные массы антипассата оседают на поверхность земли,

создавая в субтропиках повышенное давление и ветер, называемый пассатом, который устремляется в экваториальную зону. Под действием силы Кориолиса пассаты северного полушария получают северо-восточное направление, а южного полушария (кроме северной части Индийского океана, где дуют сезонные муссонные ветры) - юго-восточное направление. Скорость пассатных ветров также постоянна и достигает 5-10 м/с.

Пассаты - первые в категории господствующих ветров, т.е. постоянно дующих в определенных районах в течение определенного промежутка времени. Скорость и направление господствующих ветров определяется по многолетним наблюдениям для каждого моря или морского района.

Другая категория ветров - местные, дующие только в данном месте или нескольких местах земного шара, возникают при изменении тепловых условий в течение некоторого времени или под влиянием рельефа местности (характера подстилающей поверхности)

| Балл | Название ветра | Скорость м/с | Признаки ветра | | Давление Па |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | На земле | На воде | |
| 4 | Умеренный | 5,3-7,4 | Раскачиваются большие ветви, поднимается пыль | Волны становятся длиннее, местами образуются пенящиеся "барашки" | 4 |
| 6 | Сильный | 9,9-12,4 | Раскачиваются деревья, рвет палатки | Образовываются гребнибольшой высоты, "барашки" на гребнях воды. | 11 |
| 8 | Очень крепкий | 15,3-18,2 | Затрудняется движение, гнутся большие деревья | Заметно увеличивается высота и длина волн | 25 |
| 9 | Шторм | 18,3-21,5 | Ломаются большие деревья, повреждаются крыши | Высокие, гороподобные волны с длинными опрокидывающимися гребнями | 35 |
| 12 | Ураган | Более 29 | Происходят опустошения | Водяная пыль, срываемая с гребней, уменьшает видимость | свыше 74 |

*Аэродинамика здания* – это понятие, объединяющее явления, связанные с процессом обтекания здания ветром. При обтекании ветром около здания образуются застойные зоны. Определение характеристик этих зон необходимо для расчета их загрязнения выбросами вредных веществ технологических и вентиляционных систем. Вихревые зоны образуются за счет отрывных потоков от поверхности земли и кромки здания. Эти вихревые зоны представляют собой сложные вихревые неустановившиеся трехмерные потоки. При набегании на здание нижние слои потока воздуха затормаживаются, и кинетическая энергия этой части потока переходит в потенциальную. Следовательно, статическое давление увеличивается.

Нарастание статического давления происходит постепенно по мере приближения к зданию, торможение потока начинается на расстоянии от здания, примерно равном 5—8 средним размерам фасада. Максимальные значение избыточное давление воздуха достигает на поверхности наветреннего фасада здания. Здесь набегающий поток образует характерную зону циркуляции. Ее вихри как бы дополняют форму здания до удобообтекаемой формы, и тем самым уменьшают потерю энергии основного потока. В этой зоне происходит активный обмен воздуха, совершающего вихреобразное движение и уходящего на заветренную сторону здания. Набегающий поток обтекает здание и зону циркуляции сверху и с боков. Обтекающий здание поток за счет его некоторого поджатая имеет скорость несколько большую, чем скорость набегающего на здание ветра.

При срыве с кромок здания поток интенсивно эжектирует воздух с заветренней стороны здания, где в результате этого давление уменьшается. Воздух, уносимый из заветренней зоны, компенсируется приземными слоями потока, в которых воздух заторможен настолько, что может изменить направление своего движения. На заветренней стороне здания образуется несколько вихрей. Граница аэродинамического следа в этой области - криволинейная поверхность.

При обтекании ветром *группы зданий* зоны аэродинамического следа смежных зданий влияют одна на другую, иногда сливаясь, образуя сложные зоны с общей циркуляцией воздуха. Изучение размеров и других характеристик зон необходимо для расчета диффузии вредных примесей вблизи здания, выбора мест расположения устройств, выбрасывающих вредные примеси в атмосферу, степени их очистки, расположения мест воздухозабора.

При расчете ветровой нагрузки на здание, а также при определении естественного воздухообмена в его помещениях необходимо знать избыточное статическое давление, возникающее за счет действия ветра. Для определения избыточного давления ветра применяют аэродинамический коэффициент, показывающий отношение избыточного статического давления в одной из точек наружной поверхности здания к динамическому давлению ветра. Аэродинамический коэффициент определяют экспериментально (в аэродинамических трубах на моделях зданий). Значение и знак коэффициента зависят от места расположения точки на поверхности здания, наличия близко расположенных зданий, сооружений и деревьев, формы здания, направления ветра, рельефа местности.

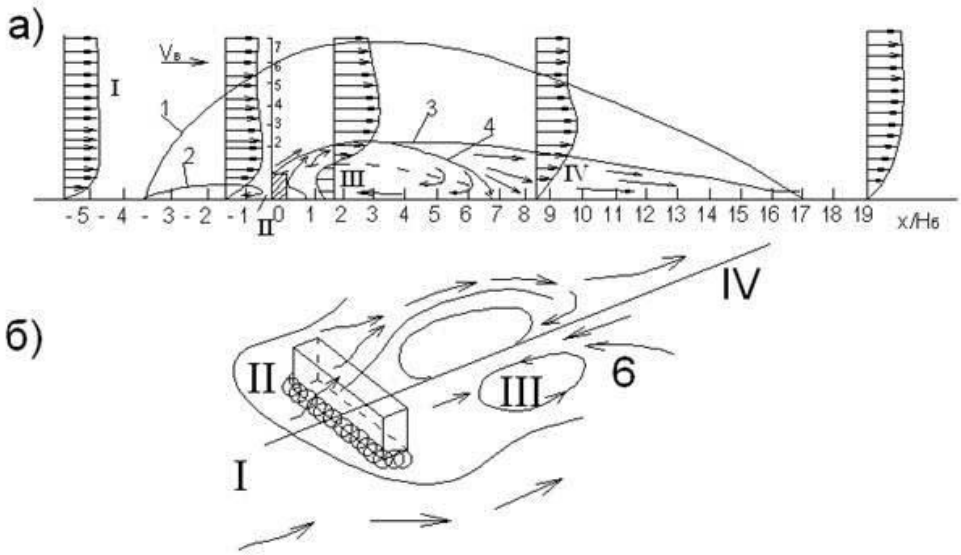
Аэродинамика высотного здания влияет, во-первых, на его конструктивную прочность, а во-вторых, на разность давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций здания, что в свою очередь определяет направление и величину фильтрации воздуха через наружные ограждающие конструкции. Кроме этого, наружная поверхность здания, подверженная воздействию солнечной радиации, в летнее время достаточно сильно нагревается, что приводит к образованию восходящих потоков теплого воздуха в приповерхностном слое.

К основным факторам, определяющим взаимодействие ветра со зданиями и сооружениями, можно отнести:

- выбор расчетной величины скорости (модуля скорости) набегающего воздушного потока;
- определение суммарных аэродинамических нагрузок, действующих на здание при различных направлениях ветра;
- определение распределенных (местных) нагрузок, действующих на поверхность здания при различных углах набегающего воздушного потока;
- оценка нестационарных нагрузок, действующих на здание, обдуваемое ветром (резонансные явления, галлопирование, дивергенция, флаттер, бафтинг);
- обтекание различных конструкций, расположенных на зданиях или сооружениях;
- обтекание вертолетных площадок, расположенных на крышах высотных зданий;
- экологические проблемы, возникающие при обтекании ветром здания (допустимые скорости ветра в районе пешеходных зон, расположенных вблизи здания; допустимые ускорения верхних этажей здания при его колебаниях под действием ветра; акустическое излучение, возникающее при обтекании ветром отдельных внешних фрагментов здания; расположение на поверхности здания вентиляционных отверстий забора и выброса воздуха).

Большинство из указанных факторов следует учитывать при проектировании сооружений любой этажности, однако для высотных зданий значение этих факторов может приобретать решающее значение как с точки зрения прочности самого здания, так и условий его эксплуатации. Нормативное значение среднего ветрового давления на высоте (y) от поверхности земли предполагается определять по формуле: $wn(y) = w0 \cdot k1(y) \cdot k2 \cdot k3$, где w0 — нормативное значение среднего ветрового давления на высоте y =10 м для данного ветрового района при 10 минутном интервале осреднения и времени наблюдения 5 лет; k1(y) — коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте; k2 — коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления в зависимости от времени осреднения при замерах средней скорости; k3 — коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления в зависимости от числа лет наблюдений. Если выбрать величину k2 из условия осреднения t = 3 сек., что соответствует времени действия порывов ветра с наибольшей энергетикой, а коэффициент k3 из условия наблюдений 50 лет, то для II ветрового района на высоте 100 м можно получить расчетное значение wn = 182 кгс/м2 = 1,82 кПа, что

соответствует скорости ветра 54 м/с. В американских стандартах скорость на высоте 100 м принимается равной 63 м/с.




Комплекс экологических проблем, возникающих особенно остро при эксплуатации высотных зданий, включает такие направления, как определение скоростей ветра в пешеходных зонах, расчетные оценки ускорений верхних этажей зданий под действием ветра, генерация акустического излучения при обтекании отдельных фрагментов зданий и взаимное расположение заборных и вытяжных вентиляционных отверстий на поверхности здания с учетом конкретной «розы ветров» в месте расположения здания.

Аэродинамическая тень, - пространство за каким-то предметом, строением, в котором при обтекании ветром образуются крутящиеся потоки. Для тени характерно накопление вредных примесей, если они попадают в неё из выброса.

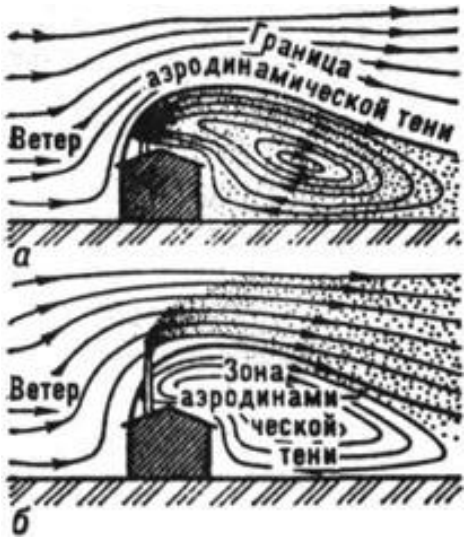



*Схема обтекания ветром здания в циркуляционной зоне за ним: а - выброс в пределах зоны; б - выброс выше зоны*

В результате вокруг зданий, особенно имеющих большие габариты по высоте и ширине, формируется ветровой режим, отличный от ветрового режима окружающей территории, отличающийся повышенными скоростями ветра и образованием зон, где ветер носит порывистый характер. Размер этих зон зависит от размеров здания, скорости градиентного ветра и характеристик шероховатости подстилающей поверхности, определяющих изменение скорости ветра с высотой. Даже при невысоких скоростях градиентного ветра его усиление в приземном слое за счет динамической конвекции бывает настолько сильным, что вызывает неблагоприятные и опасные последствия для населения, находящегося на прилегающей к зданию территории, а в отдельных случаях — и для окружающей застройки и зеленых насаждении.

Злейшим врагом теплоизоляции является водяной пар. Он может скапливаться в помещении, а потом через отделку стен и крыши проникает в теплоизоляционный материал. Утеплитель от этого может намокать и из-за этого не защищает дом от холода. Это значит, что теплоизоляционный материал теряет свои теплозащитные свойства и начинает пропускать тепло наружу из здания.

Необходимость *ветрозащиты* объясняется двумя основными механизмами утечки тепла: инфильтрация – потеря теплого воздуха посредством его прохождения через поры, щели и трещины в стенах здания; продуваемость – поскольку даже самые плотные утеплители имеют пористую структуру (пористость порой превышает 90%), воздух может беспрепятственно циркулировать по значительной части объема утеплителя, что в несколько раз снижает эффективность теплоизоляционного материала.

*Ветрозащита* способна не только стабилизировать комфортную температуру внутри помещения. Благодаря ветрозащите предотвращается образование опасных для человеческого организма плесени и грибков, так как при снижении температуры воздуха на стенах образовывается конденсат – максимально благоприятная среда для размножения простейших организмов. Конструкция навесных вентилируемых фасадов также предусматривает устройство ветрозащиты.

На сегодняшний день строительный рынок предоставлен широким ассортиментом отечественных и импортных материалов для создания ветрозащиты. По своим техническим характеристикам изоляционные пленки подразделяются на два основных вида: паропроницаемые – через эти пленки пар из утеплителя беспрепятственно выходит наружу, и они же оберегают его от атмосферной влаги и холодного воздуха, устанавливаются на внешней поверхности постройки; пароизоляционные – укладываются на внутренней стороне конструкции, защищает утеплитель от влажного воздуха отапливаемых помещений. Также представлены многофункциональные пленки, например, фольгированные пленки пароизоляции с энергосберегающим эффектом, способствующие качественной ветрозащите.

Слой *ветрозащиты* во всей системе утепления здания следует предусматривать ещё на этапе проектировки здания. Давление ветра на поверхность конструкции крыши характеризует не скорость движения воздуха, а наличие воздушных вихрей, образующихся непосредственно рядом со стенами и с поверхностью крыши. Перепад воздушного давления в таких местах является самым высоким, так как

вихрь воздуха с одной стороны нагнетает потоки воздуха, а с другой стороны оттягивает от поверхности здания тёплый воздух.

Решить эту проблему могут строительные мембраны, которые предназначены для ветрозащиты стен. Мембраны, обладающие свойствами гидроизоляции и паронепроницаемости, снижают проникновение пара сквозь структуру кровли и стен. Паропроницаемые мембраны позволяют проходить сквозь утеплительный материал лишнему пару, в результате чего происходит защита кровли от ветра и повышенной влажности.

Материал, предназначенный для защиты стен от ветра, в вертикальном или горизонтальном направлении прикрепляется к утеплительному материалу, которым утепляется стена. При этом обязательно оставляется специальный зазор для вентиляции всех слоёв утепления, затем производится финишная отделка стен. Ветрозащитный материал крепится к утеплительному материалу обязательно волокнистой стороной. Крепление делают стандартными способами, которые применяются для других мембран.

**Контрольные вопросы**

1. Какие характеристики ветра необходимо учитывать в строительстве?
2. Что понимают под аэродинамикой зданий?
3. Какова разница при обтекании ветром одиночного здания и группы зданий?
4. Как учитывать ветровую нагрузку на здание?
5. Какие проблемы экологического плана возникают особенно остро при эксплуатации высотных зданий?

## Лекция 5 Основы строительной акустики

**План**

1. Общие понятия о звуке. Звуковые (акустические) волны. Частотный диапазон звуковых волн.
2. Характеристики звука (интенсивность, громкость, высота, тембр). Источники звуковых волн.

**Тезисы**

Звуковыми (акустическими) волнами называются распространяющиеся в среде упругие волны, обладающие частотами в пределах 16-20000Гц. Волны, воздействуя на слуховой аппарат человека, вызывают ощущение звука. Волны с v< 16 Гц (инфразвуковые) и v> >20 кГц (ультразвуковые) человеком не воспринимаются.

Звуковые волны в газах и жидкостях могут быть только продольными, так как эти среды обладают упругостью лишь по отношению к деформациям сжатия (растяжения). В твердых телах звуковые волны могут быть как продольными, так и поперечными, так как твердые тела обладают упругостью по отношению к деформациям сжатия (растяжения) и сдвига.

*Основные физические характеристики звука*

Длина звуковой волны $\lambda$ – расстояние, на которое распространяется звуковая волна за время одного полного колебания, определяется, как отношение скорости звука к частоте колебаний: $\lambda = \frac{c}{f}$.

Частота – число колебаний в единицу времени. Единица измерения частоты – герц (Гц), равный одному колебанию в секунду.

Период колебания – время, в течении которого происходит одно полное колебание.

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

Минимальная сила звука ($1\times10^{-16}$ $Вт/см^2$), воспринимаемая человеческим ухом, называется порогом слышимости. Верхний предел силы звука ($1\times10^{-2}$ $Вт/см^2$), 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.

Звуковое давление P – переменное давление, возникающее при распространении звука вследствие колебательных движений частиц среды. Единица измерения – $Н/м^2$ или Па: $p = p_n - p_{ср}$, где $p_n$ – мгновенное значение полного давления в звуковой волне; $p_{ср}$ – среднее давление в данной точке при отсутствии звука.

Интенсивность звукового давления I – это мощность звукового излучения на единицу площади. Единица измерения – $Вт/м^2$.

Уровень силы звука: по закону Вебера – Фехнера слуховое восприятие пропорционально не абсолютному изменению силы звука, а ее логарифму. В акустике для измерения силы звука пользуются логарифмическим масштабом: $L = \lg\frac{I}{I_0}$, где I – сила звука, $I_0$ – сила звука на пороге слышимости.

Уровень звукового давления $L_p$ характеризует восприятие звука человеком: $L_p = 20\lg\frac{P}{P_0}$, где P – звуковое давление звука данной частоты, $P_0$ - давление звука частотой 1000 Гц на пороге слышимости. Единица измерения – Бел (Б) - крупная единица, поэтому принята величина децибел (дБ); 1 дБ = 10 Б. Чем больше уровень силы звук, тем громче звук.

Ниже приводятся для сравнения некоторые значения уровней громкости работы отдельных механизмов и оборудования жилых зданий: вентилятор - 95 дб, механизмы лифта - 85, мотор отопления - 70 и т. д. В тихой комнате нормальный уровень шума 30-35 дб. Он почти не ощущается человеком. При попадании волны воздушного звука на ограждение часть его энергии отразится обратно в помещение, остальная с некоторым ослаблением пройдет через ограждение в смежное помещение. Ослабление это будет тем больше, чем большей звукоизолирующей способностью обладает ограждение.

Чувствительность человеческого уха различна для разных частот. Для того чтобы вызвать звуковое ощущение, волна должна обладать некоторой минимальной интенсивностью, но если эта интенсивность превышает определенный предел, то звук не слышен и вызывает только болевое ощущение.

Таким образом, для каждой частоты колебаний существует наименьшая (порог слышимости) и наибольшая (порог болевого ощущения) интенсивность звука, которая способна вызвать звуковое восприятие. На рис.223 представлена зависимость порогов слышимости и болевого ощущения от частоты звука. Область, расположенная между этими двумя кривыми, является областью слышимости.

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. Практическое значение имеют звуковые волны с частотами от 100 до 3200 Гц, которые положены в основу нормативных материалов по звукоизоляции помещений.




**Рис. 223**

Физиологической характеристикой звука является уровень громкости, который выражается в фонах (фон). Громкость для звука в 1000 Гц (частота стандартного чистого тона) равна 1 фон, если его уровень интенсивности равен 1 дБ. Например, шум в вагоне метро при большой скорости соответствует ≈90 фон, а шепот на расстоянии 1 м - ≈20 фон.

Звуковое ощущение характеризуется помимо громкости еще высотой и тембром. Высота звука - это его качество, определяемое человеком субъективно на слух и зависящее от частоты звука. С ростом частоты высота звука увеличивается, т.е. звук становится «выше». Характер акустического спектра и распределения энергии между определенными частотами определяет своеобразие звукового ощущения, называемое тембром звука. Так, различные певцы, берущие одну и ту же ноту, имеют различный акустический спектр, т. е. они имеют различный тембр. Источником звука может быть всякое тело, колеблющееся в упругой среде со звуковой частотой (например, в струнных инструментах источником звука является струна, соединенная с корпусом инструмента).

**Контрольные вопросы**

1. Назовите физические характеристики звука.
2. Приведите примеры источников звуковых волн.
3. Приведите примеры значения громкостей работы отдельных механизмов.
4. Какие звуковые волны положены в основу нормативных материалов по звукоизоляции помещений?

## Лекция 6 Распространение звука

**План**

1. Распространение звуковых волн. Проникновение звука через ограждающие конструкции. Акустический комфорт помещений. Реверберация звука. Время реверберации.

2. Акустика общественных зданий. Факторы, определяющие акустику залов. Акустические недостатки закрытых помещений.

**Тезисы**

Совершая колебания, тело вызывает колебания прилегающих к нему частиц среды с такой же частотой. Состояние колебательного движения последовательно передается к все более удаленным от тела частицам среды, т. е. в среде распространяется волна с частотой колебаний, равной частоте ее источника, и с определенной скоростью, зависящей от плотности и упругих свойств среды.

Скорость распространения звуковых волн в газах вычисляется по формуле $v=\sqrt{(\gamma RT/M)}$, (158.1), где R — молярная газовая постоянная, M - молярная масса, $\gamma=C_p/C_v$ - отношение молярных теплоемкостей газа при постоянных давлении и объеме, T — термодинамическая температура. Из формулы (158.1) вытекает, что скорость звука в газе не зависит от давления p газа, но возрастает с повышением температуры. Чем больше молярная масса газа, тем меньше в нем скорость звука. Например, при T=273 К скорость звука в воздухе ($M=29\cdot10^{-3}$ кг/моль) v=331 м/с, в водороде ($M=2\cdot10^{-3}$ кг/моль) v=1260 м/с.

Реальный звук является наложением гармонических колебаний с большим набором частот, т. е. звук обладает акустическим спектром, который может быть сплошным (в некотором интервале присутствуют колебания всех частот) и линейчатым (присутствуют отделенные друг от друга определенные частоты).

При распространении звука в атмосфере необходимо учитывать целый ряд факторов: скорость и направление ветра, влажность воздуха, молекулярную структуру газовой среды, явление преломления и отражения звука на границе двух сред. Кроме того, любая реальная среда обладает вязкостью, поэтому наблюдается затухание звука, т. е. уменьшение его амплитуды и, следовательно, интенсивности звуковой волны по мере ее распространения. Затухание звука обусловлено в значительной мере его поглощением в среде, связанным с необратимым переходом звуковой энергии в другие формы энергии (в основном в тепловую).

Архитектурная акустика - акустика помещений, область акустики, изучающая распространение звуковых волн в помещении, отражение и поглощение их поверхностями, влияние отражённых волн на слышимость речи и музыки.

В закрытых помещениях более или менее значительного объёма слушатель воспринимает, кроме прямого звука, ещё и ряд его запаздывающих повторений, обусловленных отражениями от ограничивающих поверхностей и быстро следующих друг за другом. Вследствие поглощения звуковой энергии при каждом отражении и в процессе её распространения эти повторения ослабляются тем сильнее, чем больше их запаздывание относительно прямого звука. После выключения источника звука количество отражённой энергии в помещении убывает до тех пор, пока она не будет поглощена; это постепенное затухание звука называется реверберацией.

Реверберация звука - процесс постепенного затухания звука в закрытых помещениях после выключения его источника. Если помещения пустые, то происходит медленное затухание звука и создается «гулкость» помещения. Если звуки затухают быстро (при применении звукопоглощающих материалов), то они воспринимаются приглушенными. Время реверберации - это время, в течение которого интенсивность звука в помещении ослабляется в миллион раз, а его уровень - на 60 дБ. Помещение обладает хорошей акустикой, если время реверберации составляет 0,5-1,5с.

Продолжительность реверберации является важнейшим фактором, определяющим акустическое качество залов. При чрезмерно медленном затухании звучание речи и музыки оказывается недостаточно чётким, при короткой реверберации речь звучит слишком глухо, а музыкальные звучания утрачивают слитность и выразительность. Даже при оптимальной реверберации на акустическую оценку зала влияют распределения времён прихода ранних, более интенсивных отражений, а также и направления, по которым они достигают слушателя. Наиболее благоприятные условия различны не только для речи и музыки, но и для музыкальных произведений различного характера (камерная, эстрадная, симфоническая музыка). Поэтому акустическое проектирование концертных залов (выбор формы, размещение слушателей, обработка ограничивающих поверхностей рассеивающими и поглощающими конструкциями, применение подвесных отражателей и т.д.) нередко требует компромиссных решений. В залах большой вместимости условия слышимости могут быть улучшены применением электроакустических систем усиления и искусственной реверберации.

Различают более строгую волновую теорию и менее строгую, но более удобную для технических расчётов геометрическую, в которой направление распространения и границы основной части потока звуковой энергии, переносимой падающими на препятствие или отражёнными звуковыми волнами, изображают прямыми лучами. Геометрические представления тем более правомерны, чем меньше длина звуковой волны по сравнению с размерами препятствия.

Современная строительная акустика ведёт начало от работ американского учёного У. Сэбина, показавшего, что в замкнутом помещении последовательные многократные и при этом постепенно ослабевающие отражения сливаются в плавно затухающий гул, сопровождающий каждый излученный звук, причём скорость затухания является существенным показателем условий слышимости. Примеры

применения акустических знаний в строительстве находят в открытых театрах Древней Греции и Рима.

Акустические испытания помещений основаны на электрических измерениях звукового сигнала, принимаемого в помещении микрофоном, и заключаются в определении равномерности распределения звука в пространстве и в исследовании затухания отзвука во времени. Наряду с испытаниями залов в натуре всё большее распространение находят испытания малых моделей, что позволяет своевременно избежать ошибок при проектировании новых залов и находить способы исправления дефектов уже существующих.

Управление акустическими условиями в помещении осуществляется путём установки отражающих щитов и регулирования количества звукопоглощающих материалов, размещаемых на поверхностях. Всё больше распространяется применение электроакустической аппаратуры для звукоусиления и для создания искусственной реверберации. Электроакустическими способами имитации отзвука помещения пользуются также в лабораторной практике.

Для *акустики залов*, особенно тех, в которых мощность акустического источника ограничена (театральные и конференц-залы, где нет установки для усиления звука), реверберация является благоприятным фактором. Наоборот, при подавлении шума реверберация нежелательна. Шум, произведенный машиной, в помещении будет более сильным, чем на таком же расстоянии в открытом пространстве. Поэтому для уменьшения интенсивности звука надо уменьшить время реверберации, чтобы оно не превышало 1 3 - 1 5 с, что достигается путем акустического приспособления помещения с использованием конструкций и материалов, сильно поглощающих звук.

Амбиофонические системы являются оперативным и эффективным средством управления *акустикой залов*. При работе - амбиофонической системы улучшается звучание музыки, оно становится более полным, объемным и выразительным; улучшается диффузность звукового поля. Кроме того, применение амбиофонии расширяет творческие возможности дирижера и исполнителей.

Амбиофонические системы являются оперативным и эффективным средством управления *акустикой залов*. При работе амбиофонической системы улучшается звучание музыки, оно становится более полным, объемным и выразительным; улучшается диффузность звукового поля. Кроме того применение амбиофонии расширяет творческие возможности дирижера и исполнителей.

Если широкий зал малой длины, получается нежелательное запаздывание отражений от боковых стен и ухудшается слышимость на боковых местах, что также неблагоприятно для *акустики залов*. Акустические требования, предъявляемые к залам каждой группы, идентичны. Поэтому следует рассмотреть основные факторы, определяющие *акустику залов*.

Иногда трудно получить достаточно большое время реверберации в зале, особенно если объем помещения, приходящийся на одно место, мал. Это обусловлено тем, что и находящаяся в зале публика, и кресла также поглощают звук. Полное поглощение, приходящееся на каждого слушателя, равно 0 5 при 500 Гц, и, следовательно, публика обусловливает 50 % полного поглощения в зале. Но

современный любитель музыки в отличие от его предков уже не может удовлетвориться *акустикой старых залов*.

Явление происходит вследствие многократных отражений звуковых волн от поверхностей стен, потолка и др. Промежуток времени от момента прекращения работы источника звука до момента, когда уровень звукового давления уменьшится на 60 дБ, называют стандартным временем реверберации. Слишком продолжительная реверберация делает помещение гулким, слишком короткая - глухим. Для уменьшения гулкости часть поверхности стен зала облицовывают специальными звукопоглощающими материалами (а в кинотеатрах и поверхность потолка), например плитами из арболита, минерального волокна и других материалов. Время реверберации зависит от объема помещения, общего поглощения звука его ограждениями и находящимися в нем объектами, а также от частоты звука. Для обеспечения *хорошей акустики зрелищных залов* и аудиторий поглощение звука имеет большое значение. Оно характеризуется коэффициентом звукопоглощения, представляющим собой отношение звуковой энергии, поглощенной ограждением, к звуковой энергии, падающей на него.

**Контрольные вопросы**

1. Как рассчитывается скорость распространения звуковых волн в газах?
2. Какие факторы учитываются при распространении звука в атмосфере?
3. Что понимают под архитектурной акустикой?
4. Объясните, почему продолжительность реверберации является важнейшим фактором, определяющим акустическое качество залов.

## Лекция 7 Защита от звука и шума при строительстве

**План**

1. Воздушный и материальный перенос звука. Звукоизоляция. Обеспечение звукоизоляции помещений. Защита от воздушного и материального переноса звука.
2. Зависимость звукоизоляции от частоты звуковой волны. Понятие о расчете звукоизоляции

**Тезисы**

В строительной акустике различают два вида звуков: воздушный и материальный. Воздушный звук (шум) возникает в воздухе при разговоре, пении, музыке и др., распространяется и передается поверхностям ограждающих конструкций, а через них — в соседние помещения (воздушный перенос звука). Материальный (ударный) звук возникает непосредственно на поверхности ограждения в результате механического воздействия на него и передается по телу ограждения в соседнее помещение (материальный перенос звука). Скорость распространения звуковых волн зависит от упругих свойств материальной среды, в которой они распространяются: чем эластичнее среда, тем с меньшей скоростью распространяются звуковые волны.

В воздухе скорость звука меньше, чем в воде, а в воде меньше, чем в твердых телах (в воздухе — 331 м/с, в воде — 1450, в дереве — 300, в кирпичной кладке — 3600, бетоне — 4000). Скорость распространения звука в воздухе зависит также от

его температуры (например, при температуре 0° С [273° К] она составляет 331 м/с, при +15° С [288° К] - 340 м/с. Частота звука (герц), определяемая числом полных циклов звуковых колебаний в 1 сек, имеет значительные пределы.

Воздушный звук передается в соседнее помещение через сквозные поры в материале ограждения, неплотности сопряжений отдельных его элементов (сквозные щели, трещины), а также посредством упругих колебаний ограждающей конструкции, возникающих при воздействии на нее звуковых волн. Ограждающая конструкция при этом ведет себя как большого размера мембрана, вызывающая в соседнем помещении колебания частиц воздуха - звуковые волны. Такой переход звука через ограждение связан с определенными потерями звуковой энергии, что приводит к ограничению зоны распространения воздушного звука в здании. В отличие от этого материальный звук может распространяться на значительно большие расстояния. Для практических целей можно полагать, что при отсутствии в ограждении щелей, отверстий и значительных по размеру сквозных пор основным источником звукопередачи служат колебательные движения перегородок и других вертикальных ограждений, которые зависят от массы, модуля упругости материала, его плотности и др.

При этом не все частоты звуковых волн вызывают одинаковой силы колебательные движения ограждений. При низких частотах последовательность повышенных давлений на стену ударяющими звуковыми волнами происходит во времени реже, чем при высоких, и они смогут вынудить ее сильнее колебаться.

Высокие частоты на поверхности ограждений вызывают более быстрые во времени изменения давления, а поэтому им труднее преодолеть инерциальное сопротивление ограждений и привести их в колебательные движения. Иначе говоря, под воздействием звуковых волн низкой частоты ограждения колеблются и излучают в смежные помещения больше звуковой энергии, чем под воздействием звуковых волн высокой частоты.

Применительно к ограждающим конструкциям это положение может быть сформулировано так: звукоизоляция ограждения с увеличением частоты падающего на него звука возрастает. Чем больше масса, а следовательно, и инерциальное сопротивление ограждения, тем труднее ему сообщить колебательное движение посредством периодически изменяющегося звукового давления.

Звукоизоляция от воздушного звука однослойных и однородных материалов (кирпичная кладка, бетон и др.) пропорциональна логарифму поверхностного веса стены. С увеличением массы или толщины жесткого ограждения звукоизоляционная способность, хотя и возрастает, но незначительно. Поэтому с целью экономии материалов и снижения веса перегородок, внутренних стен и других ограждений звукоизоляцию в них обеспечивают не столько увеличением толщины, сколько соответствующим подбором материалов от воздушного звука и расположением их в конструкции, а также устройством воздушных прослойков.

Так, ограждение одного и того же веса, но устроенное из нескольких слоев разных материалов, при правильном их расположении может иметь лучшее сопротивление звукопроницанию, чем если бы все оно было возведено из какого-либо одного материала, входящего в слоистую конструкцию.

Надежной звукоизоляцией обладают ограждения, выполненные из более легких материалов, уложенных в виде двойной стенки с воздушным прослойком внутри ее. Желательно при этом, чтобы собственная частота двойной стенки была, по возможности, низкой. Заметного ослабления распространения воздушного звука можно достигнуть при собственной частоте стенок ниже 100 гц.

При устройстве ограждений в виде двойных стенок из гипсовых, легкобетонных и других относительно плотных материалов целесообразно делать каждую из стенок различной толщины, а, по возможности, и из разных материалов. Хорошие результаты могут быть получены также при обшивке ограждения гибкими материалами, например древесноволокнистыми плитами, расположением их со стороны помещения, защищаемого от звука. Такие плиты обладают меньшей способностью излучать звуковую энергию, и поэтому звукопроводность их ниже, чем жестких перегородок. Аналогичны условия передачи воздушного звука и через перекрытия.

Однако сравнительно большой вес перекрытия обеспечивает его звукоизоляцию от воздушного звука без специальных конструктивных мероприятий. При устройстве звуковой изоляции междуэтажных перекрытий нужно учитывать, что превалирующее значение имеет материальный звук.

Материальный звук, так же как и воздушный, может распространяться и передавать свою энергию ограждающим поверхностям. Некоторая часть этой энергии поглощается конструкциями. Однако поглощение это в общем незначительное, поэтому материальный звук в определенных условиях может распространяться по перекрытиям, стенам и другим частям здания на большие расстояния.

Для звукоизоляции перекрытия от материального (ударного) звука (в отличие от воздушного) его вес не имеет существенного значения, особенно в диапазоне низких частот. Объясняется это тем, что значительная часть звуков распространяется косвенными путями, то есть через примыкающие к ограждаемой конструкции (например, к перекрытию) другие части здания (стены, перегородки и др.). Поэтому утяжеление перекрытия не увеличивает его звукоизоляционных качеств от ударного звука.

Одним из наиболее эффективных конструктивных мероприятий, повышающих звукоизоляцию ограждений от ударного звука, является введение в их состав материалов, имеющих различное сопротивление проникании звука. При переходе звука из слоя ограждения с большим звуковым сопротивлением в слой с меньшим сопротивлением часть энергии отражается. Чем значительнее разница между звуковыми сопротивлениями слоев, тем большей звукоизоляционной способностью обладает ограждение. Повысить звуковую изоляцию перекрытий можно устройством малозвукопроводного пола, а также подшивкой потолка гибкими материалами. Уменьшить шум в помещении можно, облицовывая ограждения звукопоглощающими материалами. Такой способ применяют при изоляции помещений с особо шумными технологическими процессами - в машинных залах, на переговорных телефонных станциях, в машинных бюро и др. Для этих целей используют пористые материалы с большим количеством открытых и

сообщающихся между собой пор, попадая в которые, звук теряет часть своей энергии благодаря возникающим при этом силам трения.

*Понятие о расчете звукоизоляции*

Для определения звукоизолирующей способности ограждений (стен, перегородок, перекрытий) необходимо знать их частотную характеристику. Частотной характеристикой называют кривую, показывающую зависимость величины звукоизоляции конструкции в децибелах от частоты звука.

Кривую эту получают опытным путем в лабораторных и натурных условиях с помощью специальных приборов - шумомеров и анализаторов спектров (частот) шумов или, если отсутствуют приборы, путем графо-аналитических расчетов. Полученные значения звукоизолирующей способности должны соответствовать принятым нормативным кривым, установленным СНиП. Звукоизолирующая способность ограждений характеризуется показателями звукоизоляции от воздушного звука Ев - во внутренних стенах и перегородках; от воздушного и ударного звука Еу - в междуэтажных перекрытиях. Нормативные величины показателей звукоизоляции приводятся в СНиП.

Например, для перекрытий между жилыми помещениями (квартирами) Ев = -5, Еу - 0; в перекрытиях между жилыми комнатами в общежитиях и между номерами в гостиницах, между классами в школах и аудиториями в институтах Ев =-5, Еу =-5; в стенах и перегородках между квартирами, отделяющих жилые комнаты в общежитиях и номера гостиниц от общих подсобных и нежилых помещений, Ев = -1; в перегородках между жилыми комнатами и санитарными узлами одной квартиры, в стенах и перегородках между классами в школах и аудиториями в институтах Ев = -5 и т. д.

Показатель звукоизоляции равен целому числу децибел, на которое нужно сместить вертикально нормативную кривую для того, чтобы среднее неблагоприятное отклонение кривой измеренной частотной характеристики звукоизолирующей способности от воздушного звука (или приведенного уровня звукового давления ударного звука) от смещенной нормативной кривой не превышало 2 дб. Показатель звукоизоляции конструкций от воздушного звука определяется сравнением полученных кривых звукоизолирующей способности испытуемого ограждения с нормативными.

В связи с тем, что ударный звук передается не только через перекрытие, но и через связанные с ним другие элементы здания (косвенное распространение звука), в графике ударного звука нормируется не только звукоизоляция самого перекрытия, а и приведенный уровень звукового давления, проникающего в изолируемое помещение. С возрастанием частоты звука кривые приведенного уровня звукового давления направлены вниз. Показатели звукоизоляции, как от воздушного, так и ударного звука определяются по отклонениям измеренных величин звукоизолирующей способности от воздушного звука или приведенного уровня звукового давления ударного звука под перекрытием от нормативных значений для принятого частного диапазона. Если звукоизоляционные качества от воздушного звука испытуемого ограждения лучше, чем предусмотрено нормами, кривая будет располагаться выше нормативной. При неудовлетворительных показателях она

пройдет ниже нормативной. Для ударного звука зона удовлетворительных показателей звукоизолирующей способности располагается ниже нормативной кривой. При этом отклонения в сторону улучшения не учитываются, а в противоположном направлении принимаются с отрицательным знаком.

Величины отклонений при крайних частотах, т.е. 100 и 3200 Гц, берутся в половинном размере. Среднее неблагоприятное отклонение кривой измеренной частотной характеристики от нормативной кривой рекомендуется (СНиП) принимать равным 1/15 от суммы всех неблагоприятных отклонений на средних звуковых частотах.

Если вычисленное среднее значение неблагоприятных отклонений равно 2 дб, то для данного ограждения показатель звукоизоляции принимается равным нулю, исходя из установленного допуска в отклонении в сторону ухудшения на 2 дб, то есть звукоизоляция ограждения будет на грани допустимой.

При усредненных неблагоприятных значениях, больших 2 дб, показатели звукоизоляции рекомендуется вычислять так: нормативную кривую смещают вертикально в худшую сторону на целое число децибел до тех пор, пока среднее неблагоприятное отклонение измеренной частотной характеристики от смещенной нормативной кривой будет меньше или равно 2 дб. Для перегородок из тяжелого бетона Ев = —1; из оштукатуренной кирпичной кладки -4; из гипсобетона -9. Для перекрытий из сплошных и многопустотных плит из тяжелого железобетона Ев = -5, Еу= -15; раздельных, из двух вибропрокатных панелей (с прокладкой из упругого материала) Ев = -4, Еу = -3.

**Контрольные вопросы**

1. Когда возникает материальный звук? Воздушный звук?
2. Все ли частоты звуковых волн вызывают одинаковой силы колебательные движения ограждений?
3. Как меняется звукоизоляция ограждения с увеличением частоты звука?
4. Каков основной принцип повышения звукоизоляции ограждений?
5. Что важно знать для определения звукоизолирующей способности ограждений?

# МОДУЛЬ 2. ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОТЕХНИКИ И СВЕТОТЕХНИКИ

## Лекция 8 Основы строительной теплотехники

**План**

1. Обобщённое понятие комфорта внутренней сферы помещения. Тепловой комфорт.
2. Виды теплообмена. Схема теплообмена человека с окружающей средой. Гигиенические параметры микроклимата жилого помещения.

**Тезисы**

Комфорт – это благоустроенность и уют жилищ, общественных учреждений. Тепловой комфорт – это комфортное тепловое состояние, функциональное

состояние организма человека, характеризующееся определённым содержанием и распределением теплоты в поверхностных и глубоких тканях тела при минимальном напряжении аппарата терморегуляции. Субъективно такое состояние оценивается как наиболее предпочитаемое. Объективно оно характеризуется постоянством температуры тела, минимальной активностью потовых желёз, небольшими периодическими колебаниями температуры конечностей, особенно кистей и стоп (в диапазоне 30-31 °С) при почти неизменном уровне температуры кожи в области туловища (около 33 °С), относительным постоянством средней температуры кожи (32-33 °С), оптимальным уровнем функционирования сердечно-сосудистой, дыхательной, пищеварительной, выделительной и других физиологических систем организма, а также наивысшим уровнем умственной работоспособности. Т. к. наблюдается у человека, находящегося в состоянии мышечного покоя или при лёгкой работе (канцелярский труд, работа оператора, научного сотрудника и т. п.), при известном сочетании параметров микроклимата - температуры, относительной влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения.

Нормативы микроклимата для жилых и общественных зданий, обеспечивающие тепловой комфорт, разрабатываются дифференцированно, применительно к разным климатическим зонам, сезонам года и возрастным группам. У большинства взрослых здоровых людей, постоянно проживающих в умеренной климатической зоне и одетых в обычную комнатную одежду, тепловой комфорт наблюдается зимой при температуре воздуха 18-22 °С, летом 23-25 °С, при разнице температур воздуха и ограждений не более 3 °С, относительной влажности 30-60%, скорости движения воздуха 0,05-0,15 *м/сек* (зимой) и 0,2-0,4 *м/сек* (летом). Зоне комфорта обнажённого человека соответствует температура воздуха 28-30 °С.

Под влиянием ряда факторов (физическая работа, акклиматизация к теплу или холоду, некоторые патологические состояния) зона теплового комфорта меняется. Тренировка и закаливание организма путём применения воздушных ванн и водных процедур с постепенным снижением температуры, а также динамического микроклиматического воздействия, понижая нижнюю границу, расширяют зону теплового комфорта, чем повышают сопротивляемость организма к простудным факторам.

В ночное время рекомендуется умеренное понижение температуры вдыхаемого воздуха на 1-2 °С при хорошей теплоизоляции тела. У детей и у пожилых людей из-за функциональной недостаточности аппарата терморегуляции зона комфортного микроклимата сужается. Индивидуальные различия границ зоны теплового комфорта зависят от развития подкожного жирового слоя, привычки к ношению одежды с той или иной теплоизоляцией и т.п.

На тепловой комфорт влияют: температура воздуха, скорость воздушного потока, влажность воздуха. Эти параметры напрямую влияют на теплообмен между человеком и средой.

Человеческое тело отводит теплоту обмена веществ или метаболическую теплоту, выделяющуюся в процессе жизнедеятельности в окружающую среду. Выделяющаяся теплота отводится конвекцией или излучением, а так же при помощи испарения пота с поверхности тела. На отвод теплоты излучением влияют

оптические характеристики окружающей среды, которые практически всегда постоянны, и радиационной температуры среды.

Конвективное охлаждение зависит от температуры окружающей среды по сухому термометру и скорости воздушного потока, от которой зависит коэффициент теплоотдачи. Испарение с поверхности тела зависит от влажности воздуха, температуры воздуха и скорости воздушного потока. Коэффициент массообмена увеличивается с увеличением скорости воздушного потока, поэтому мы чувствуем прохладу при работающем вентиляторе даже при высокой температуре воздуха. Теплота, выделяемая человеком, может рассеиваться в различных условиях окружающей среды. Но на самом деле только малая часть этих условий действительно комфортна для человека. Тепловой комфорт снижается, как только организм начинает поддерживать тепловое равновесие с окружающей средой.

*Виды теплообмена*: теплопроводность, конвекция, излучение.

В чистом виде *теплопроводность* наблюдается только в сплошных твердых телах. Тепло передается непосредственно через материал или от одного материала другому при их соприкосновении. Высокой теплопроводностью обладают плотные материалы - металл, железобетон, мрамор. Воздух имеет низкую теплопроводность. Поэтому через материалы с большим количеством замкнутых пор, заполненных воздухом, тепло передается плохо, и они могут использоваться как теплоизоляционные (семищелевой кирпич, пенобетон, вспененный полиуретан, пенопласт).

*Конвекция* характерна для жидких и газообразных сред, где перенос тепла происходит в результате движения молекул. Конвективный теплообмен наблюдается у поверхности стен при наличии температурного перепада между конструкцией и соприкасающимся с ней воздухом. В окнах жилых домов конвективный теплообмен происходит между поверхностями остекления, обращенными внутрь воздушной прослойки. Нагреваясь от внутреннего стекла, теплый воздух поднимается вверх. При соприкосновении с холодным наружным стеклом воздух отдает свое тепло и, охлаждаясь, опускается вниз. Такая циркуляция воздуха в воздушной прослойке обусловливает конвективный теплообмен. Чем больше разность температур поверхностей, тем интенсивнее теплообмен между ними.

*Излучение* происходит в газообразной среде путем передачи тепла с поверхности тела через пространство (в виде энергии электромагнитных волн). Благодаря лучистому теплообмену поверхность Земли обогревается Солнцем, находящимся от нее на расстоянии многих световых лет. Аналогичным образом осуществляется передача тепла излучением между двумя поверхностями, расположенными в стене и разделенными воздушной прослойкой. Нагретая поверхность радиатора излучает тепло и обогревает помещение. Чем выше температура поверхности отопительного прибора, тем сильнее обогревается помещение.

Все тела, имеющие температуру выше абсолютного нуля, излучают тепло, которое частично отражается, частично поглощается. Если вся падающая на тело лучистая энергия отражается, то такое тело называется абсолютно белым. Если вся падающая энергия поглощается, то тело называется абсолютно черным.

На регулирование температуры тела влияет физическая активность человека. Чем сильнее активность, тем сильнее изменяется температура кожного покрова и появляется обильное потоотделение, но человек не чувствует дискомфорта.

Изменения внешних условий должны лежать в определенных границах.

Метаболический тепловой поток в Вт/м$^2$: $H/A_{Du}$

Где: H- отношение количества теплоты, Вт;

$A_{Du}$- эквивалентная площадь поверхности тела, м$^2$.

Для обеспечения оптимального комфорта выполняются два условия:

1. Средняя температура кожного покрова (при увеличении физической нагрузке должна уменьшаться) $t_{sk}=35,7-0,0276\ H/A_{Du}$

2. количество теплоты, рассеиваемое при потовыделении, не должно превышать величины $E_{sw}$ (увеличивается прямо пропорционально уровню активности), Вт

$E_{sw}=0,42A_{Du}(H/A_{Du}-58)$

Метаболический тепловой поток также измеряется в метах (внесистемная единица)

1 мет=58 Вт/м$^2$

При любом уровне физической активности регулирование температуры тела связано с типом одежды и параметрами среды (температура воздуха, средняя радиационная температура, влажность, скорость потока воздуха). Зная все эти параметры можно определить тепловой баланс человека.

Так же можно определить условия комфорта по условиям, которые сравнивают температуру поверхности тела и уровень потовыделения. Постепенно меняя параметры среды, можем получить линии комфорта.

Одежда является термодинамическим сопротивлением, и измеряется во внесистемной единице кло: 1 кло = 0,155 м$^2$К/Вт.

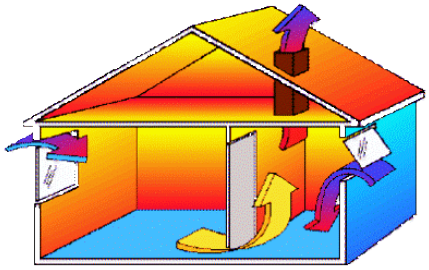
При увеличении скорости потока воздуха и уменьшении его влажности способствует отводу большего количества теплоты. Т.е то же количество теплоты может быть отведено при меньшей разности температур. Таким образом, человек, находящийся в комфортных условиях, почувствует холод, если при той же температуре уменьшить влажность или увеличить скорость воздушного потока.

Оптимальные и допустимые параметры микроклимата в помещениях жилых зданий содержатся в санитарных правилах. В тёплый период года в жилых комнатах за оптимальные параметры микроклимата принята температура воздуха 22-25 °С при относительной влажности воздуха 60-30 % и скорости движения воздуха 0,2 м/с. В холодный период года в жилых комнатах оптимальные параметры микроклимата - температура воздуха 20 - 22 °С при относительной влажности воздуха 45-30 % и скорости движения воздуха 0,15 м/с.

Санитарные правила устанавливают обязательные санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях, которые следует соблюдать при размещении, проектировании, реконструкции, строительстве и эксплуатации жилых зданий и помещений, предназначенных для постоянного проживания. Требования санитарных правил не распространяются на условия проживания в зданиях и помещениях гостиниц, общежитий, специализированных домов для инвалидов, детских приютов, вахтовых поселков, и предназначены для граждан, индивидуальных предпринимателей и

юридических лиц, деятельность которых связана с проектированием, строительством, реконструкцией и эксплуатацией жилых зданий и помещений.

Комфортные условия микроклимата и воздушной среды жилого помещения нам обеспечивают системы отопления и вентиляции здания.



Системы *отопления* жилого помещения должны обеспечивать равномерное нагревание воздуха в течение всего отопительного периода, при этом не создавая запахов и не загрязняя воздух вредными веществами, выделяемыми в процессе эксплуатации.

Система отопления не должна создавать дополнительного шума и быть доступной для текущего ремонта и обслуживания. Нагревательные приборы системы отопления должны быть легко доступными для уборки, причём температура поверхности нагревательных приборов при водяном отоплении не должна превышать 90 °С, а для приборов с температурой нагревательной поверхности более 75 °С уже необходимо предусматривать защитные ограждения.

Санитарные правила и нормы требуют организации системы отопления для равномерного прогрева поверхности полов в помещениях первых этажей жилых зданий, расположенных в I климатическом районе.

При соблюдении гигиенических требований к качеству атмосферного воздуха населенных мест, гигиенических нормативов по шуму и вибрации, допускается устройство для теплоснабжения жилых зданий автономных котельных.

Естественная *вентиляция* жилых помещений очень важна и должна осуществляться путем притока наружного воздуха через форточки, фрамуги, либо через специальные отверстия в оконных створках и вентиляционные каналы.

Вытяжные каналы должны предусматриваться на кухнях, в ванных комнатах, туалетах и сушильных шкафах, причём объединение вентиляционных каналов кухонь и санитарных узлов с жилыми комнатами не допускается. Устройство системы вентиляции жилого помещения также должно исключать поступление воздуха из одной квартиры в другую.

Концентрация различных химических веществ в воздухе жилых помещений не должна превышать среднесуточных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ, установленных для атмосферного воздуха населенных мест.

При размещении в жилых зданиях общественных помещений, система вентиляции последних должна быть автономной, хотя и допускается присоединять к общей вытяжной системе жилого здания вытяжную вентиляцию общественных помещений, не имеющих вредных выбросов. Шахты систем вытяжной вентиляции должны выступать над коньком крыши здания на высоту не менее 1 м.

При эксплуатации не допускается использование жилого помещения для целей, не предусмотренных проектной документацией, хранение и использование в жилых помещениях опасных химических веществ, загрязняющих воздух, выполнение работ, являющихся источниками повышенных уровней шума, вибрации, загрязнения воздуха либо нарушающих условия проживания граждан в соседних жилых помещениях, а так же захламление, загрязнение и затопление жилых помещений, подвалов и технических подполий, лестничных пролетов и клеток, чердачных помещений.

**Контрольные вопросы**

1. Назовите характеристики теплового комфорта.
2. Какие параметры влияют на теплообмен между человеком и средой?
3. Проведите сравнительный анализ трех видов теплообмена.
4. Каковы условия оптимального теплового комфорта?
5. Поясните назначение санитарных правил к условиям для постоянного проживания.

## Лекция 9 Явления переноса и их учет в строительстве

**План**

1. Теплопроводность. Диффузия. Внутреннее трение.
2. Физические законы, описывающие явления переноса. Коэффициенты переноса.
3. Механизм явлений переноса. Явления переноса в различных средах.

**Тезисы**

Явления переноса возникают в газах в результате нарушения полной хаотичности движения молекул. Эти нарушения вызваны направленным воздействием на газ, приводящим в случае диффузии к неоднородной плотности, в случае теплопроводности – к разной температуре в различных слоях объема газа. Внутреннее трение связано с тем, что создается упорядоченное движение различных слоев газа с различными скоростями. Нарушение полной хаотичности движения молекул в явлениях переноса сопровождается отклонением от максвелловского закона распределения молекул по скоростям. Именно отклонениями от этого закона объясняется направленный перенос массы, импульса и внутренней энергии в газах.

*Теплопроводность* Для простоты ограничимся одномерными явлениями переноса. Систему отсчета выберем так, чтобы ось X была ориентирована в направлении переноса. Если в одной области газа средняя кинетическая энергия молекул больше, чем в другой, то с течением времени вследствие постоянных столкновений молекул происходит выравнивание средних кинетических энергий молекул, т.е. выравнивание температур. Закон Фурье $j_E = -K\frac{dT}{dx}$ Коэффициент теплопроводности $K = \frac{1}{3}C_V \rho \langle \upsilon \rangle \langle l \rangle$, где $j_E$ - плотность теплового потока – величина, определяемая энергией, переносимой в форме теплоты в единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную оси X, К – теплопроводность

(коэффициент теплопроводности), dT/dx - градиент температуры, равный скорости изменения температура на единицу длины X в направлении нормали к этой площадке. Знак «минус» в формуле показывает, что при теплопроводности энергия переносится в направлении убывания температуры. Теплопроводность К численно равна плотности теплового потока при градиенте температуры, равном единице.

Явление *диффузии* заключается в том, что происходит самопроизвольное проникновение и перемешивание частиц двух соприкасающихся тел; диффузия сводится к обмену масс этих частиц, возникает и продолжается, пока существует градиент плотности. Во время становления МКТ по вопросу диффузии возникали противоречия. Так как молекулы движутся с огромными скоростями, диффузия должна происходить очень быстро. Если же открыть в комнате сосуд с пахучим веществом, то запах распространится очень медленно. Однако противоречия здесь нет. Молекулы при атмосферном давлении обладают малой длиной свободного пробега и, сталкиваясь с другими молекулами, в основном «стоят» на месте.

Закон Фика $j_m = -D\frac{d\rho}{dx}$ Коэффициент диффузии $D = \frac{1}{3}\langle\upsilon\rangle\langle l\rangle$, где $j_m$ – плотность потока массы – величина, определяемая массой вещества, диффундирующего в единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную оси X, D - диффузия (коэффициент диффузии), dρ / dx - градиент плотности, равный скорости изменения плотности на единицу длины X в направлении нормали к этой площадке. Знак минус показывает, что перенос массы происходит в направлении убывания плотности. Диффузия D численно равна плотности потока массы при градиенте плотности, равном единице.

Механизм возникновения *внутреннего трения* между параллельными слоями газа (жидкости), движущимися с различными скоростями, заключается в том, что из-за хаотического теплового движения происходит обмен молекулами между слоями, в результате чего импульс слоя, движущегося быстрее, уменьшается, движущегося медленнее – увеличивается, что приводит к торможению слоя, движущегося быстрее, и ускорение слоя, движущегося медленнее.

Сила внутреннего трения между двумя слоями газа (жидкости) подчиняется закону Ньютона: $j_p = -\eta\frac{d\upsilon}{dx}$ Динамическая вязкость $\eta = \frac{1}{3}\rho\langle\upsilon\rangle\langle l\rangle$, где $j_p$ – плотность потока импульса – величина, определяемая полным импульсом, переносимым в единицу времени в положительном направлении оси X через единичную площадку, перпендикулярную оси X, dv / dx - градиент скорости. Знак минус показывает, что импульс переносится в направлении убывания скорости. Динамическая вязкость численно равна плотности потока импульса при градиенте скорости, равном единице. Между коэффициентами переноса существуют зависимости: $\eta = \rho D$ и $\eta C_V = K$

*Явления переноса в строительстве*

Цементный камень раствора или бетона характеризуется полупроницаемостью (мембранным эффектом), т.е. он проницаем для воды, и не пропускает растворенные в воде ионы. Мембранный эффект может обусловить появление осмотического давления в бетоне. Проницаемость цементного камня для ионов разных размеров и

знаков заряда может оказаться неодинаковой. Доказано, что при накоплении в порах бетона аморфного осадка, например гидроксида магния, осмотические явления могут быть обнаружены.

Под *диффузией* в строительных конструкциях понимается проникание водяного пара (обычно из интерьера) в строительную конструкцию в процессе выравнивания температуры и давления водяного пара между внутренней и внешней средой постройки. При этом в результате снижения температуры ниже определенного значения может произойти конденсация водяного пара и возникнуть угроза функциональности или сокращение срока службы конструкции. Эти риски можно избежать благодаря соответствующей структуре конструкции и соблюдению строительных процессов, предписанных изготовителями отдельных компонентов. Для предотвращения *разрушения строительных конструкций* необходимо исключить конденсацию в них влаги. Конденсация возникает там, где фактическое содержание водяных паров угрожает превысить количество, соответствующее температуре. Ограничение пропускания водяного пара и проникновение влажности из интерьера во внешнюю ограждающую конструкцию обеспечивается путем включения соответствующего слоя с диффузионным сопротивлением, а если понадобится, также слоя, не пропускающего воздух в конструкцию.

*Слой с диффузионным сопротивлением* - это слой с внутренней стороны теплоизоляционного слоя, который регулирует пропускание водяного пара из интерьера в ограждающую конструкцию. Эффективный слой с диффузионным сопротивлением снижает диффузию водяного пара до той степени, что внутри конструкции не образуется вредное количество сконденсированной воды. Величина диффузионного сопротивления слоя в основном зависит от строения ограждающей конструкции, далее от естественного воздухообмена и климатических условий в интерьере и с наружной стороны.

Чтобы обеспечивался отвод проступающего водяного пара за пределы постройки слои ограждающей конструкции необходимо сложить так, чтобы диффузионное сопротивление этих слоев постепенно уменьшалось от интерьера в сторону внешней стороны постройки. Необходимое диффузионное сопротивление в зависимости от типа конструкции разное, и, следовательно, можно применять разные типы пленок и бумаг.

*Воздухонепропускаемый слой* обычно комбинируется с пароизолирующим слоем путем использования пленки или пластинчатым материалом вместе с дополнительными материалами (клейкие ленты, клейкие покрытия и фиксирующие рейки) так, чтобы обеспечивалась полная воздухонепроницаемость во всех присоединениях конструктивных элементов, в стыках деталей и во всех проемах. С помощью плит из минеральной ваты, древесноволокнистых плит, дощатой опалубки или бумажных ветростойких пленок нельзя достигнуть необходимой воздухонепроницаемости. Следующего снижения влажности в конструкции можно достичь путем создания внешнего ветростойкого слоя, который ограничивает проникновение влажности в конструкцию с наружной стороны. Это является особенно важным в ходе строительства, когда этот слой защищает теплоизоляция.

*Системы, открытые и закрытые для диффузии.* Наружные стены и крыши всё чаще создаются в виде конструкции, открытой для диффузии. В этих конструкциях с наружной стороны материалы настолько паропропускаемые, что со стороны интерьера не требуется никакая особая пленка с экстремально высоким диффузионным сопротивлением. Конструкция, открытая для диффузии, проектируется так, чтобы пропускала значительно большее количество водяного пара сквозь ограждающую конструкцию постройки, а этим обеспечивалось надежное функционирование ограждающей конструкции, и тем самым продлилась долговечность с точки зрения повреждения, причиненного конденсацией водяного пара в деревянной конструкции. Такие конструкции, открытые для диффузии, с внутренней стороны находятся в контакте с плитой на базе древесины в качестве конструктивного слоя с требуемым диффузионным сопротивлением. Для упрощенного наименования типов конструкций с деревянной рамой используются наименования "открытые для диффузии" и "непропускающие диффузию".

*Капиллярная диффузия* имеет место при частичном заполнении капилляра, когда влага сосредоточивается в боковых, наиболее узких местах. Перемещение влаги происходит лишь по микроскопическим открытым каналам. Это явление отличается от *капиллярного всасывания*, при котором влага перемещается по капилляру, заполняя все его пространство.

Показатели капиллярной диффузии не всегда совпадают с показателями капиллярного всасывания. Например, гипс обладает более интенсивным капиллярным всасыванием, чем красный кирпич. В это же время капиллярная диффузия в кирпиче выше, чем у гипса.

Капиллярная диффузия в материалах *неорганического происхождения* протекает более интенсивно, чем в органических материалах. Если показатель капиллярной диффузии для красного кирпича условно принять за 1, то для бутового камня он будет равен 0,03; гипса - 0,38; известкового раствора- 2,36; пенобетона - 0,009; силикатного кирпича - 0,5; фибролита - 0,002; цементного раствора - 3,28; шлакобетона - 0,02; шлаковой засыпки-0,12.

Совокупное рассмотрение показателей капиллярного всасывания и капиллярной диффузии может дать представление об интенсивности капиллярного перемещения влаги в толще материала. Так, красный кирпич имеет относительно высокие показатели всасывания и диффузии влаги в капиллярах, а это свидетельствует также и об интенсивности процесса высыхания кирпича, обусловленного скоростью перемещения влаги в его капиллярах.

Показатели капиллярного всасывания различных материалов меняются в меньших пределах, чем показатели капиллярной диффузии. Не следует допускать увлажнения материалов с небольшой интенсивностью капиллярной диффузии, так как они плохо отдают влагу в окружающую среду. Поэтому совершенно недопустимо применять их для конструкций ограждений в состоянии повышенной влажности.

В реальных условиях строительства и эксплуатации зданий не представляет интереса случай, когда материал полностью погружен в воду. В ограждающих конструкциях увлажнение происходит за счет проникания влаги в конструкции

вследствие: впитывания атмосферной влаги; впитывания влаги при конденсациях на поверхности ограждения; воздействия влаги хозяйственно-бытовых процессов; впитывания грунтовой влаги. При этих условиях насыщение имеет меньшую величину, чем при погружении в воду, хотя отдельные слои ограждающей конструкции могут увлажняться весьма значительно. В таких переувлажненных слоях, зазорах, полостях и возникают иногда те большие давления, которые приводят к расслоению материала или к откалыванию отдельных его частей.

**Контрольные вопросы**

1. Сравните явления переноса. В чем сходство и в чем различие между ними?
2. Опишите роль слоя с диффузионным сопротивлением в строительстве.
3. Каков принцип работы систем, открытых или закрытых для диффузии?
4. От чего зависит скорость капиллярной диффузии?
5. Приведите примеры применения знаний о явлениях переноса в строительстве жилых зданий.

## Лекция 10 Наружные ограждения и теплотехнические требования, предъявляемые к ним

**План**

1. Наружные ограждения зданий. Основные теплотехнические требования, предъявляемые к наружным ограждающим конструкциям зданий.
2. Влияние климатических характеристик, материала стен и назначения помещения на наружные ограждающие конструкции зданий. Сопротивление теплопередачи ограждения. Температура внутренней поверхности стены.

**Тезисы**

Строительные материалы частично отражают и частично поглощают энергию. Они называются *серыми* телами. Светлая и гладкая поверхность отражает большую часть падающей энергии. Чем темнее и шершавее поверхность тела, тем больше энергии она поглощает. Поглощенная телом лучистая энергия превращается в тепловую и вызывает повышение температуры. Поэтому для уменьшения перегрева помещений верхнего этажа в летнее время целесообразно покрытие крыши делать из оцинкованной кровельной стали, а не из рубероида. Благодаря блестящей светлой поверхности сталь отражает значительную часть излучения и нагревается меньше, чем рубероид, имеющий темную поверхность и интенсивнее поглощающий лучистую энергию.

Передача тепла через стены осуществляется главным образом вследствие теплопроводности. Количество тепла, проходящего через стену, зависит от коэффициента теплопроводности материала. Чем он выше, тем больше теплоты проходит через материал и тем хуже его теплозащита. Различные строительные материалы имеют разные коэффициенты теплопроводности. На них влияют различные факторы, в частности, плотность и влажность материала.

*Влажность* способствует повышению теплопроводности: сырой материал имеет больший коэффициент теплопроводности и обладает худшими теплозащитными характеристиками по сравнению с сухим. Это вызвано тем, что при увлажнении

материала его поры заполняются водой, имеющей высокий коэффициент теплопроводности (в 20 раз больший, чем воздух). Чем больше влаги впитывает материал, тем выше становится его теплопроводность. Например, при повышении влажности стен, окон, чердачных перекрытий, полов первого этажа.

На *теплопотери* через ограждения наибольшие влияние оказывает их способность передавать тепло, которое зависит от коэффициента теплопроводности и толщины материала. Чем меньше коэффициент теплопроводности и толще стена, тем больше ее термическое сопротивление (передача тепла) и лучше ее теплозащитные свойства. Кроме того, количество теряемого тепла зависит от сопротивления теплообмену конвекцией и излучением у поверхности внутренней и наружной стен. Чем интенсивнее происходит теплообмен, тем больше тепла теряется из помещения и передается внутренней поверхности конструкции или отдается поверхностью стены наружу, тем меньше сопротивление теплообмену и хуже теплозащита.

Таким образом, *теплозащитная способность стены*, ее *сопротивление теплопередаче* зависят от интенсивности передачи тепла на трех участках (у внутренней поверхности, в толще ограждения, у наружной поверхности), каждый из которых имеет свое сопротивление. Общее сопротивление теплопередаче представляет собой их сумму.

Основными теплотехническими требованиями, предъявляемыми к наружным ограждающим конструкциям зданий (стенам, бесчердачным покрытиям и др.) являются надлежащее сопротивление теплопередаче, теплоустойчивость и воздухонепроницаемость, а также нормальный влажностный режим. Учитывая эти требования, можно разработать конструкции ограждений, обеспечивающие долговечность и высокие эксплуатационные качества зданий при минимальных затратах на их возведение. Общее сопротивление теплопередаче складывается из термического сопротивления, сопротивления тепловосприятию и сопротивления теплоотдаче.

Далеко не редкий случай, когда стены не промерзают, не сыреют и не покрываются грибком, от них просто «тянет холодом» и создается ощущение сквозняка. Такой дискомфорт возникает, когда разница температур внутреннего воздуха помещения и внутренней поверхности стены составляет более 4°С.

Причин снижения температуры внутренней поверхности стены ниже нормативной может быть несколько: неудовлетворительная работа системы отопления, снижение теплосопротивления стены вследствие намокания или обычный брак, допущенный на стадии проектирования или строительства дома.

Например, холодной может оказаться стена, выходящая на подъезд. Она изначально проектировалась как внутренняя стена, разделяющая два помещения, температура воздуха в которых примерно одинаковая. Однако если в подъездах не работают радиаторы отопления, а окна и двери подъездов разбиты, то и температура воздуха в подъезде снижается. Относительно тонкая внутренняя стена воспринимает помещение подъезда «как улицу» и температура внутренней ее поверхности снижается ниже нормативной, а сама стена работает как радиатор на обогрев подъезда. Холодной может оказаться и сухая внешняя стена проектной толщины,

при возведении которой был допущен строительный брак, например, неполное заполнение раствором швов кирпичной кладки или неправильная разделка швов между панелями в панельных домах.

Целью утепления должно стать повышение температуры ее внутренней поверхности до нормативной, то есть, по сути, мы должны не утеплить стену, а просто увеличить ее толщину таким образом, чтобы разница температур на внутренней поверхности стены и воздуха внутри помещения оказалась не более 4°С.

Внутреннее утепление стены желательно производить без утеплителя. А если применять утеплитель, то лучше использовать фольгированные тонкие утеплители с тщательным проклеиванием швов алюминиевым скотчем. Фольга должна быть направлена в сторону помещения. Толщина утепления должна быть подобрана теплотехническим расчетом. При этом нужно найти оптимальный вариант толщины утеплителя, при котором на внутренней поверхности стены не будет конденсироваться влага.

Один из самых простых способов внутреннего утепления без утеплителя - заменить штукатурку стен на гипсокартонную обшивку. Однако этот способ годится только для помещений с сухим и нормальным микроклиматом. Для помещений с повышенной влажностью воздуха обычный гипсокартон лучше заменить на влагостойкий либо на древесноволокнистые плиты, ориентированно-стружечные плиты, цементно-стружечные плиты, влагостойкую фанеру, стеновые панели или деревянную вагонку. Эти материалы крепятся на стену при помощи клея либо на каркас.

Применение тонкого теплоизоляционного материала дает шанс оставить изотерму нулевой температуры в толще стены, то есть не допустить ее сквозного промерзания. Однако нахождение изотермы температуры точки росы и вероятность выпадения конденсата желательно определять расчетом. Иначе грош цена такому утеплению, в котором пар будет конденсироваться, например, на фольге утеплителя и стекать на перекрытие. Как показывает практика, утепление стен толстыми листами плитного утеплителя (от 50 мм и выше) почти всегда приводит к выпадению росы на границе стены и утеплителя. Применение тонкого рулонного утеплителя снижает эту вероятность, но пар может конденсироваться на фольгированном слое. Устройство воздушной прослойки между утеплителем и отделкой стены помогает «сушить» фольгу. Лучше, если воздушный зазор будет незамкнутым, а открытым у пола и потолка, но для внутренней отделки это сложно решаемая задача. Вентилируемый продух плохо сочетается с интерьером помещения.

Для устранения дискомфорта, связанного с понижением температуры внутренней поверхности стены ниже нормативной, бывает достаточным просто увеличить толщину стены обшивкой без применения утеплителей, с плотным прилеганием обшивки к стене.

Величину термического сопротивления замкнутых воздушных прослойков в наружных ограждениях RBa принимают при толщине прослойка 10 мм - от 0,15 до 0,18 м2-ч-град/ ккал [0,129—0,155 м2 град/вт] в зависимости от направления прослойка (вертикальный или горизонтальный), а также направления потока тепла

(снизу вверх или сверху вниз), при толщине прослойка 20 мм — от 0,16 до 0,22 [0,138—0,189] и т. д.

При переходе тепла через ограждение температура снижается не только в самом материале (из-за его термического сопротивления R), но и около его поверхностей (внутренней и наружной), то есть имеют место сопротивления тепловосприятию и теплоотдаче. Вследствие этих сопротивлений температура внутренней поверхности ограждения ниже температуры воздуха помещения, а температура наружной поверхности ограждения выше температуры наружного воздуха. Сопротивление тепловосприятию RB зависит от рода внутренней поверхности ограждающей конструкции.

При гладких поверхностях стен, полов и потолков оно берется по норме равным 0,133л2 ч . Такое же значение сопротивления тепловосприятию принимается и при наличии на потолках слабо выступающих и редко расположенных ребер. Сопротивление теплоотдаче ределяется расположением наружных поверхностей и принимается равным 0,05 м2 град/ккал 0,043 м2 град/вт в случае, если поверхности соприкасаются непосредственно с наружным воздухом (наружные стены, бесчердачные покрытия и пр.); RH =0,143 [0,123], если поверхности выходят на чердак, и iH-0,2 [0,172] — для поверхностей над холодными подвалами.

Расчетная температура внутреннего воздуха назначается по нормам проектирования соответствующих зданий, а для производственных зданий, кроме того,— по данным и требованиям технологии производства. Так, например, для жилых комнат, внутренних коридоров, вестибюлей, умывальников, библиотек, канцелярий, архивов, музеев она принимается равной 18° С [291° К]; для детских комнат, помещений поликлиник и больниц 20° С [293° К]; для классов, аудиторий, лабораторий 16° С [289° К] и т. д. Расчетная яимняя температура наружного воздуха tH принимается по таблицам, приведенным в СНиП.

Нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждения устанавливается во избежание появления конденсата водяных паров на поверхности ограждений, а также излишнего охлаждения тела человека. Назначается он в зависимости от вида помещения и ограждений по СНиП: для жилых и некоторых общественных помещений (больниц, поликлиник, а также школ) - не более 6° для наружных стен и 4,5°— для бесчердачных покрытий и чердачных перекрытий; для помещений остальных общественных зданий, а также административных, вспомогательных промышленных предприятий (за исключением мокрых и влажных)— соответственно 7 и 5,5° и т. д. Коэффициент принимается в зависимости от положения наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху по СНиП, которые рекомендуют следующие его значения: в наружных стенах, бесчердачных покрытиях и перекрытиях над проездами 1; в чердачных и бесчердачных перекрытиях с вентилируемыми продухами 0,9; в перекрытиях над холодными подпольями, расположенными выше уровня земли, 0,75 и т. д.

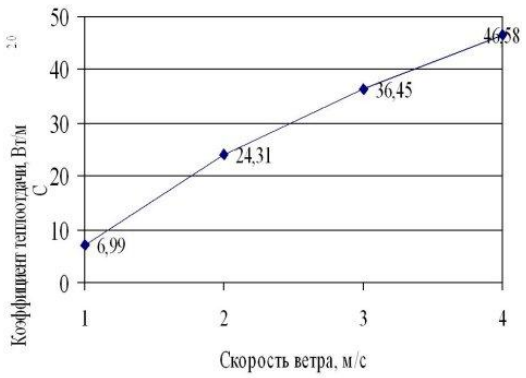
Коэффициент качества теплоизоляции наружного ограждения для ограждений, которые утеплены материалами, подверженными уплотнению, деформации или усадке (например, минеральные плиты, войлок и т. п.), независимо от объемной

массы материала принимается равным 1,2; для ограждений, утепленных теплоизоляционными материалами с объемной массой менее 400 кг/м3, кроме указанных выше, равным 1,1; для всех прочих ограждений принимается равным 1.

*Коэффициент теплоотдачи* на наружной поверхности $\alpha_н$ зависит от условий конвективного теплообмена и теплового излучения $\alpha_н = \alpha_{нк} + \alpha_{нл}$, (1) где $\alpha_{нк}$ - коэффициент теплоотдачи конвекцией; $\alpha_{нл}$ - коэффициент теплоотдачи излучением. Коэффициент теплоотдачи излучением в случае, если наружная поверхность исследуемой стены находится далеко от стен других зданий, можно определять по формуле

$$\alpha_{нл} = \frac{C_1}{\tau_{se} - t_{ext}} \left\{ \left[ \frac{\tau_{se} + 273}{100} \right]^4 - \left[ \frac{t_{ext} + 273}{100} \right]^4 \right\}$$

где $C_1$ — коэффициент излучения поверхности наружной стены (для красного кирпича 5,37 Вт/м$^2$-К); $\tau^{se}$ - температура наружной поверхности стены; $t_{ext}$ - температура наружного воздуха. Значение $\alpha_{нк}$ можно вычислить по формуле Франка $\alpha_{нк} = 7{,}74\nu^{0{,}656} + 3{,}78e^{-1{,}91\nu}$ (3), где $\nu$ - скорость ветра, e = 2,718 - основание логарифма. Первый член формулы (3) учитывает вынужденную, а второй - естественную конвекцию. По формулам был рассчитан коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности кирпичной стены $\alpha_н$ в зависимости от скорости ветра: 0; 5; 10; 15 м/с. Температура наружного воздуха для зимнего периода принималась равной $t_{ext} = -28^0$, температура на наружной поверхности стены принималась в соответствии с ранее произведенными расчетами [4] $\tau_{se} = -25{,}4^0$ (см. рис.)




*Зависимость коэффициента теплоотдачи*
*от наружной поверхности кирпичной стены от скорости ветра*

**Контрольные вопросы**

1. Приведите примеры коэффициентов теплопроводности различных строительных материалов.
2. От чего зависит теплозащитная способность стены?
3. Назовите основные теплотехнические требования, предъявляемые к наружным ограждающим конструкциям зданий
4. Как зависит сопротивление тепловосприятию от рода внутренней поверхности ограждающей конструкции?

## Лекция 11 Теплопроводность и воздухонепроницаемость

**План**

1. Теплопроводность различных строительных материалов. Теплоизоляция помещений.
2. Теплоустойчивость помещений и ограждений. Воздухонепроницаемость ограждений.

**Тезисы**

Ограждения по своей конструкции практически не бывают однородными, а включают несколько слоев, например штукатурку, воздушный прослоек и др., поэтому термическое сопротивление многослойного ограждения складывается из термических сопротивлений отдельных слоев, входящих в состав ограждения. Коэффициент теплопроводности Х - это количество тепла, которое проходит через 1 м2 поверхности материала толщиной 1 м за единицу времени при разности температур обеих поверхностей 1°. Значения его для различных материалов приводятся в СНиП. Зависит коэффициент теплопроводности от многих факторов, основным из которых является объемный вес в кг/м3 [объемная масса, или плотноть, р в кг/м3]. Чем меньше объемный вес материала [объемная масса], то есть чем больше его пористость, тем меньшей теплопроводностью он обладает и тем ниже его коэффициент теплопроводности и наоборот.

Так, например, кладка на «тяжелом» растворе из кирпича глиняного обыкновенного (у = 1800 кг/м3) имеет коэффициент теплопроводности Х =0,6 ккал/м; из железобетона (у = 2500) — 1,2 [1,396]; шлакобетона (у = 1600) — 0,6 [0,698]; ваты минеральной (у = 150) — 0,045 [0,0523] и т. д. На коэффициент теплопроводности значительное влияние оказывают размер, форма, а также характер расположения пор и пустот в материале.

Мелкие замкнутые поры, заполненные воздухом, обладают очень низким коэффициентом теплопроводности. С увеличением размера пор и пустот коэффициент теплопроводности резко возрастает. Так, замкнутые воздушные поры размером до 1 мм имеют Х =0,02; при значительном увеличении ячеек, например до 15 см, значение Х возрастает до 0,62. Меньший коэффициент теплопроводности имеют замкнутые (несообщающиеся) поры и пустоты.

Один и тот же материал или изделие, например пустотелый камень, может иметь различную теплопроводность в зависимости от того, как он будет уложен в конструкцию. Камни со щелевидными пустотами придают лучшие теплотехнические качества ограждению при размещении их щелями поперек теплового потока (вдоль стены), чем параллельно тепловому потоку. При этом разница в показателях коэффициентов теплопроводности может быть значительной.

Например, керамического камня с семью щелевидными пустотами при укладке его тычком на фасад, то есть щелями перпендикулярно к тепловому потоку, равен 0,46 [0,534]; тот же камень, уложенный ложком на фасад, будет иметь Х =0,65 [0,756]. Поэтому при возведении стен эти камни стараются укладывать так, чтобы на фасад стены, по возможности, выходило больше тычковых рядов. Большим

коэффициентом теплопроводности обладает вода: X = 0,5 [0,5811, еще большим лед: X = 2 [2,326 ].

Поэтому увлажнение материалов и тем более замерзание их в увлажненном состоянии ухудшают теплотехнические показатели ограждающих конструкций в связи с увеличением коэффициента теплопроводности материала конструкции. Из формулы определения термического сопротивления однородных ограждающих конструкций вытекает, что для повышения теплоизоляционных свойств ограждений необходимо увеличить их толщину или уменьшить коэффициент теплопроводности.

Более выгодным по экономическим соображениям является применение материалов с малым коэффициентом теплопроводности, а также эффективных (слоистых, с воздушным прослойком) конструкций при обеспечении необходимой прочности ограничения. Последнее в большинстве случаев удается легко достигнуть в стеновых ограждениях зданий малой этажности, а также каркасных, так как здесь толщина стен обычно определяется условиями теплоизоляции, а не прочности.

При оценке теплотехнических качеств наружных ограждений важно знать не только их сопротивление теплопередаче, но и теплоустойчивость. Недостаточная теплоустойчивость ограждения в помещениях, предназначенных для длительного пребывания людей, является по санитарно-гигиеническим требованиям совершенно недопустимой. Под теплоустойчивостью помещений и ограждений понимают способность их сохранять в допустимых пределах постоянство температуры на поверхности, обращенной в помещение, при периодических изменениях температуры наружного воздуха или неравномерной подаче тепла от нагревательных приборов.

Чем меньше при одной и той же величине колебания теплового потока будет понижение температуры на внутренней поверхности ограждения, тем более оно теплоустойчиво и, наоборот, чем больше понижение температуры на внутренней поверхности ограждения, тем оно менее теплоустойчиво. Теплоустойчивость ограждающих конструкций характеризуется коэффициентом теплоусвоения материала S, который показывает способность ограждения площадью 1 мг усваивать теплоту за единицу времени при температурном перепаде 1°. Этот коэффициент зависит от продолжительности периода работы отопления и физических свойств материала.

Принимается он по таблицам СНиП или по формулам. например, для кирпичной кладки с =0,21 [0,21  4186,8 = 879,23], для дерева и изделий из него — 0,6 [2512,1] и т. д. Повышенной теплоемкостью обычно обладают тяжелые материалы, что необходимо учитывать при проектировании ограждений. Например, в многослойных стенах более тяжелые материалы желательно располагать у внутренней поверхности стены, а легкие теплоизоляционные материалы и воздушные прослойки — ближе к наружной поверхности.

Однако это практически не всегда осуществляется, так как теплоизоляционные материалы при расположении их с наружной части стены должны быть защищены от атмосферных воздействий, что достигается чаще всего устройством наружного слоя из тяжелых атмосферостойких материалов. В соответствии со СНиП колебания температуры внутреннего воздуха в помещениях жилых и общественных зданий

(больниц, поликлиник, детских яслей, садов и школ) в зимнее время не должны превышать при наличии центрального отопления±1,5° и при печном отоплении ±3° в течение суток.

Величину коэффициента теплоустойчивости наружных ограждающих конструкций жилых зданий, а также больниц, поликлиник, школ, детских яслей-садов при температуре наиболее холодной пятидневки —10° С [263° К] принимают равным 3,5; при -30° С [243° К] — 5,5 и т. д. Коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждений Гв определяется с учетом характеристики тепловой инерции D по формулам строительной теплотехники, приведенным в СНиП. Так, если первый со стороны помещения слой ограждения имеет 1, то Гв ==S1 (где S1 — коэффициент теплоусвоения материала первого слоя) и т. д. Значения коэффициента неравномерности отдачи тепла отопительным прибором т принимаются в зависимости от типа отопительного прибора.

При центральном отоплении он берется равным 0,1, при печном — по формулам. Теплоустойчивость помещений может быть достигнута применением отопительных устройств с малым коэффициентом неравномерности их теплоотдачи, повышением сопротивления теплопередаче ограждающих помещение конструкций, а также при использовании для отделки внутренних поверх¬ностей помещения материалов с большим коэффициентом теплоусвоения.

В холодное время года в помещении всегда бывает теплее, чем на улице. Чем лучше теплозащитные качества дома, тем уютнее человек чувствует себя в нем. Температура тела человека выше температуры окружающего воздуха и предметов (за исключением отопительных приборов и т.п.). Поэтому находящийся в комнате человек постоянно теряет какое-то количество тепла в процессе теплообмена. При нормальной температуре теряется около 116 Вт, причем больше половины путем излучения, около 20% - испарением через кожу и легкие, остальное в результате конвекции и теплопроводности. Считается, что такие условия для человеческого организма наиболее благоприятны. Если температура воздуха поднимается выше нормальной, то организм охлаждает себя благодаря интенсивному испарению воды, т.е. выделяя пот. А при температуре ниже нормальной потери человеком тепла увеличиваются за счет излучения. Чем ниже температура, тем интенсивнее человек выделяет тепло.

В жилом доме теплообмен человека с окружающими его строительными конструкциями происходит, в первую очередь, со стенами и окнами, граничащими с холодным наружным воздухом. Чем холоднее их поверхность, тем лучше она поглощает тепло, излучаемое человеком. Такое интенсивное излучение может привести к переохлаждению организма. Во избежание этого наружные ограждающие конструкции должны быть спроектированы таким образом и обладать такими теплозащитными качествами, чтобы температура на их поверхности не опускались ниже определенно нормируемой, и не приводила к переохлаждению.

Кроме того, следует иметь в виду, что в воздухе всегда содержится некоторое количество влаги, которое выделяется человеком и цветами, а также при бытовых процессах — стирке, приготовлении пищи и др. В воздухе влага содержится в виде пара. Чем теплее воздух, тем больше в нем влаги. При охлаждении воздуха

избыточная влага выпадает из него в виде мелких капель. Наиболее благоприятной для человека является относительная влажность внутреннего воздуха, равная 50-60%. При ее повышении испарение влаги с поверхности тела человека затрудняется и он начинает испытывать дискомфорт. Слишком сухой воздух в помещении также нежелателен, так как он вызывает пересыхание слизистой оболочки горла, носа и т.д. При нормативной влажности внутреннего воздуха жилых домов 55% наружные стены должны обладать такими теплозащитными характеристиками, чтобы влага, находящаяся в воздухе, не выпадала на внутренней поверхности стен в виде конденсата, а человек, находящийся в помещении, не переохлаждался в результате теплообмена с холодными наружными стенами. Исходя из этого, нормируются теплозащитные характеристики стены. Оптимальным считается такое сопротивление теплопередаче, при котором температура внутренней поверхности стены отличается от температуры внутреннего воздуха не более чем на 6°С. Эта величина называется нормативным температурным перепадом. Если в помещении температура воздуха составляет 18°С, то на поверхности стены температура должна быть не ниже 12°С

Учитывая, что топливо стоит достаточно дорого и цены на него постоянно растут, ограждающие конструкции дома должны быть сделаны таким образом, чтобы в нем сохранялось максимальное количество тепла, и лишь незначительная часть уходила наружу. Во избежание запотевания окон и для обеспечения комфортных условий в помещении температура на внутренней поверхности остекления должна отличаться от температуры внутреннего воздуха не более чем на 9°С.

В основу *теплозащитных требований к перекрытиям верхнего этажа* (помимо традиционных ограничений теплопотерь и уменьшения количества тепла, отдаваемого телом человека), легло требование отсутствия конденсации водяных паров на поверхности потолка. Оно вызвано тем, что внутренний теплый воздух, содержащий водяные пары, соприкасаясь с поверхностью перекрытия, имеющего температуру ниже точки росы, может конденсироваться, а образовавшиеся капли будут стекать на пол или стены, вызывая их отсыревание. Также следует иметь в виду, что теплый, а следовательно, легкий воздух поднимается вверх к потолку. Из-за более высокой температуры внутреннего воздуха под потолком потеря тепла верхними перекрытиями происходит более интенсивно. Поэтому верхние перекрытия должны быть утеплены так, чтобы температура на поверхности потолка отличалась от температуры внутреннего воздуха не более чем на 4°С. Благодаря более высокой температуре на поверхности потолка (по сравнению со стенами, окнами, полом) температура воздуха в комнате распределяется равномернее в результате излучения тепла от потолка на пол и наружные стены.

Находясь в помещении, человек почти постоянно соприкасается с поверхностью пола, температура которого хотя и близка к температуре внутреннего воздуха, но всегда значительно ниже температуры стопы человека. Поэтому при постоянном контакте стоп с более холодной поверхностью пола может произойти переохлаждение ног. Если количество тепла, отдаваемого ступней человека, меньше количества тепла, вырабатываемого терморегулирующей системой организма, то

ноги остаются теплыми и переохлаждения не наступает. Если через стопу теряется больше тепла, то стопы переохлаждаются. Поскольку на ступне человека находится очень много нервных рецепторов, то именно переохлаждение ног приводит к различным простудным заболеваниям, радикулиту и др.

При наступании на пол босой ногой в течение первой минуты температура поверхности пола в месте соприкосновения резко возрастает у всех типов полов. В дальнейшем температура пола не повышается, или повышается незначительно. При этом потери тепла через стопы компенсируются системой терморегуляции человека, и ноги не переохлаждаются.

Полы, на которых не проходит переохлаждения ног, называются теплыми. К ним относятся деревянные (дощатые, паркетные) полы, а также полы с покрытием линолеумом на теплозвукоизоляционной основе. Если после быстрого повышения температуры пола в месте соприкосновения с ногой температура ноги снижается, это свидетельствует о том, что теплопотери через ступню больше количества тепла, которое организм человека может компенсировать. Такие полы называют холодными. К холодным относятся бетонные, каменные, земляные полы, а также полы из керамических плиток.

Температура поверхности полов должна быть ниже температуры внутреннего воздуха помещения не более чем на 2°С. Кроме того, поверхность полов должна плохо усваивать тепло, передающееся от ноги человека. Этим требованиям отвечают деревянные полы, полы с покрытием ворсолином, линолеумами на теплозвукоизоляционной основе, а также полы с использованием этих материалов по утепленным перекрытиям первого этажа.

*Воздухонепроницаемость ограждений*

Из-за разности давления холодного и теплого воздуха - образуется воздушный поток (инфильтрация), то есть перемешение холодного наружного воздуха через ограждение в сторону помещения. Сопротивление воздухопроницанию наружных ограждений является также одним из свойств, характеризующих их теплотехнические качества.

Воздухопроницаемость конструкций не должна превышать предельных значений, выше которых воздухообмен будет вызывать у людей, находящихся вблизи ограждений, ощущение дутья, а зимой— охлаждение помещения. Воздухопроницаемость материалов характеризуется коэффициентом воздухопроницаемости i, который определяет количество газа или воздуха (в кг), проходящего через материал площадью 1 л*2 и толщиной 1 м в течение 1 ч при разности давлений с обеих сторон 1 мм вод. ст. (9,8 н/м2).

Требуемые величины сопротивления воздухопроницанию наружных ограждений вычисляют по формулам, приведенным в СНиП. Если воздухопроницаемость большая, ее можно уменьшить расшивкой швов кладки, наружной штукатуркой, прокладкой под наружным слоем ограждения материалов, хорошо сопротивляющихся инфильтрации, например картона, строительной бумаги и т. п. Ниже приводятся для сравнения расчетные величины сопротивления воздухопроницанию некоторых материалов в м2 мм вод. cm ч/кг [кн сек/кг]: сплошная кирпичная стена на тяжелом растворе толщиной слоя более 250 мм — 1,8

[1,8 35,3 = 63,5]; плиты минеральные жесткие толщиной 50 мм—0,2 толщиной 1,5 мм — 50 рубероид толщиной 1,5 мм и пеностекло сплошное (без швов) толщиной 12 мм воздухонепроницаемы.

В зависимости от относительной влажности воздуха они подразделяются на четыре группы: режим ограждения сухим режимом — относительная влажность до 50%, с нормальным — 50—60% , с влажным — 61—75% и с мокрым — более 75%. Сухой влажностныи режим обычно имеют жилые комнаты, классы, административные помещения; нормальный — кухни, вестибюли; влажный — душевые и ванные комнаты, раздевальные в банях; мокрый — прачечные, бани и др.

В связи с разностью упругости водяного пара внутреннего и наружного воздуха происходит движение пара через ограждение из помещения наружу, так как внутренний воздух обычно содержит больше влаги, чем наружный. При этом в случае неблагоприятных условий в ограждении будет конденсироваться влага, которая ухудшает его теплотехнические качества и санитарно-гигиенические условия в помещении.

Для оценки влажностного состояния ограждений и определения условий, при которых возникает необходимость в принятии конструктивных мер, обеспечивающих нормальный влажностный режим, производится расчет ограждений на паропроницаемость. Степень паропроницаемости материалов характеризуется коэффициентом паропроницаемости, который определяет количество водяного пара (в г), проходящего через материал площадью 1 м2 и толщиной 1 м в течение 1 ч при разности упрутостей водяного пара с обеих сторон 1 мм рт. ст.

Коэффициент паропроницаемости материала и, принимается по СНиП. Требуемые величины сопротивления паропроницанию наружных ограждений вычисляют по формулам, приведенным в СНиП. Ниже приводятся величины сопротивления паропроницанию некоторых материалов, применяемых и в качестве пароизоляционных слоев, в м2 мм рт. ст. ч/г [Гн сек/кг]: картон толщиной 1мм — 0,12 [0,12 •0,48 = = 0,057], рубероид толщиной 1,5 мм — 8,3 [3,98], толь толщиной 1,9 мм — 1,7 [0,82], окраска горячим битумом за один раз—2 [0,96], покрытие поливинилхлоридным лаком за два раза — 29 [13,92].

**Контрольные вопросы**

1. Чем определяется теплопроводность строительного материала? Приведите примеры.
2. Какие два способа помогут увеличить теплоизоляционные свойства ограждений?
3. Поясните физический смысл величины «нормативный температурный перепад».
4. Назовите теплозащитные требования к перекрытиям верхнего этажа.
5. В чем физическая суть различий между холодным и теплым полом?

## Лекция 12 Основы строительной светотехники

**План**

1. Светоцветовая среда – основа восприятия архитектуры и интерьеров. Свет, зрение, строительство. Физическая природа света. Основные законы геометрической оптики.
2. Основные фотометрические величины и единицы их измерения (световой поток, сила света, светимость, яркость, освещенность).
3. Прохождение света через атмосферу. Спектр видимого излучения. Яркость неба. Взаимодействие света с веществом. Оптические иллюзии.

**Тезисы**

Одним из главных элементов функциональности квартиры, дома является его *освещенность*. Помещения квартиры, дома освещаются естественным и искусственным светом. Жилые комнаты в дневное время обязательно должны освещаться естественным светом, так как человек испытывает физиологическую потребность в нем.

*Зрение* – чрезвычайно сложный процесс. Это необходимо учитывать проектировщику, архитектору, определяющим образ здания.

*Физическая природа излучения* – электромагнитные колебания. Излучение характеризуется спектральным составом, который определяется длиной волны излучения. Светотехника изучает только незначительную область излучения, вызывающую только ощущение света – видимое излучение. Излучения, имеющие разную длину волны, вызывают ощущение цвета, от фиолетового до красного.

*Научное обоснование* света прошло несколько этапов:

Исаак Ньютон (1643 – 1727 гг.) – английский математик, механик, астроном и физик. Открыл дисперсию света, развил корпускулярную теорию света, в работе «Оптика» (1704 г.) сформулировал гипотезу о разложении света.

Жюстин Жан Френель (1788 – 1827 гг.) – французский физик. Создал в 1818 г. теорию дифракции (преломления) света, доказал в 1821 г. поперечность световых волн, объяснил поляризацию света.

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

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

Раздел оптики, в котором законы распространения света рассматриваются на основе представления о световых лучах, называется геометрической оптикой. Под световыми лучами понимаются нормальные к волновым поверхностям линии, вдоль которых распространяется поток световой энергии. Геометрическая оптика, оставаясь приближенным методом построения изображений в оптических системах, позволяет разобрать основные явления, связанные с прохождением через них света, и является поэтому основой теории оптических приборов.

*Закон прямолинейного распространения света*: свет в оптически однородной среде распространяется прямолинейно.

*Закон независимости световых пучков*: эффект, производимый отдельным пучком, не зависит от того, действуют ли одновременно остальные пучки или они устранены. Если свет падает на границу раздела двух сред (двух прозрачных веществ), то падающий луч *1* (рис. 229) разделяется на два — отраженный II и преломленный III, направления которых задаются законами отражения и преломления.

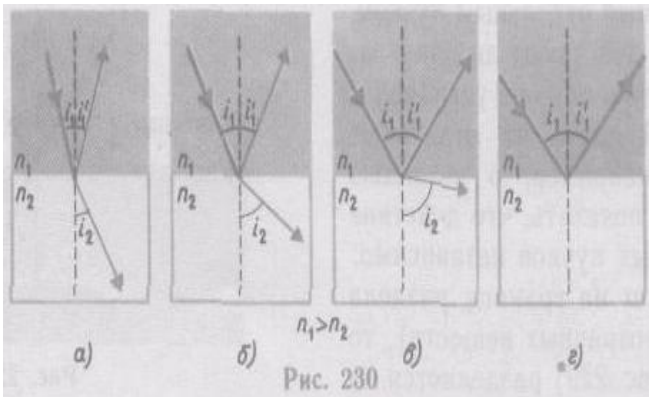


Рис. 230

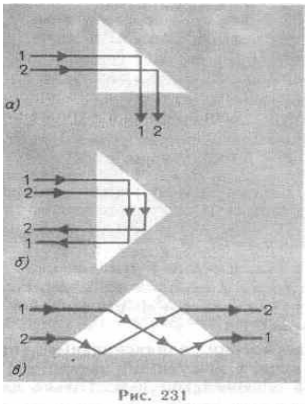


Рис. 231

*Закон отражения света*: отраженный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведенным к границе раздела двух сред в точке падения; угол $i'_1$ отражения равен углу $i_1$ падения:

*Закон преломления света*: луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный к границе раздела в точке падения, лежат в одной плоскости; отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных сред $\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{21}$, где $n_{21}$ — относительный показатель преломления второй среды относительно первой. Относительный показатель преломления двух сред равен отношению их абсолютных показателей преломления $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$. Абсолютным показателем преломления среды называется величина *n,* равная отношению скорости *c* электромагнитных волн в вакууме к их фазовой скорости *v* в среде: $n = \frac{c}{\upsilon}$ или $n = \sqrt{\varepsilon\mu}$, где ε и μ —электрическая и магнитная проницаемости среды.

*Основные фотометрические величины и их единицы*

Фотометрия — раздел оптики, занимающийся вопросами измерения интенсивности света и его источников. В фотометрии используются следующие величины:

1) энергетические — характеризуют энергетические параметры оптического излучения безотносительно к его действию на приемники излучения;

2) световые — характеризуют физиологические действия света и оцениваются по воздействию на глаз (исходят из так называемой средней чувствительности глаза) или другие приемники излучения.

*Световые величины*. При оптических измерениях используются различные приемники излучения (например, глаз, фотоэлементы, фотоумножители), которые не обладают одинаковой чувствительностью к энергии различных длин волн, являясь, таким образом, селективными (избирательными). Каждый приемник излучения характеризуется своей кривой чувствительности к свету различных длин волн. Поэтому световые измерения, являясь субъективными, отличаются от объективных, энергетических и для них вводятся световые единицы, используемые только для видимого света. Основной световой единицей в СИ является единица силы света — кандела (кд).

*Световой поток* Ф определяется как мощность оптического излучения по вызываемому им световому ощущению (по его действию на селективный приемник света с заданной спектральной чувствительностью). Единица светового потока — люмен (лм): 1 лм — световой поток, испускаемый точечным источником силой света в 1 кд внутри телесного угла в 1 ср (при равномерности поля излучения внутри телесного угла) (1 лм= 1 кд•ср).

*Светимость* R определяется соотношением R=Ф/S. Единица светимости — люмен на метр в квадрате (лм/м$^2$).

*Яркость* $B_\varphi$ светящейся поверхности в некотором направлении φ есть величина, равная отношению силы света I в этом направлении к площади S проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению: $B_\varphi=I/(S\cos\varphi)$. Единица яркости — кандела на метр в квадрате (кд/м$^2$).

*Освещенность* E — величина, равная отношению светового потока Ф, падающего на поверхность, к площади S этой поверхности: E=Ф/S. Единица освещенности — люкс (лк): 1 лк — освещенность поверхности, на 1 м$^2$ которой падает световой поток в 1 лм (1 лк= 1 лм/м$^2$).

*Прохождение света через атмосферу*

Естественное освещение земной поверхности создается лучистой энергией солнца. Земной поверхности достигает лишь часть энергии, излучаемой солнцем. На границе атмосферы Земли освещенность плоскости, перпендикулярной солнечным лучам, составляет примерно 135 – 137 тыс. лк и называется световая солнечная постоянная С.

Яркость отдельных точек небосвода изменяется в значительных пределах и зависит от положения солнца на небосводе, степени прозрачности атмосферы, облачности и других причин. Поэтому установить значение естественной освещенности в помещении в абсолютных единицах невозможно. Используется относительная величина, так называемый коэффициент естественной освещенности e, сокращенно КЕО: $e=\frac{E_M}{E_П}\times 100\%$ , где $E_M$ – естественная освещенность, создаваемая светом неба в некоторой точке М внутри помещения; $E_H$ – одновременное значение наружной горизонтальной освещенности под открытым небосводом. Для определения освещенности в помещении здание как бы располагается под полусферой естественной освещенности.

Небосвод имеет неравномерную яркость даже при сплошной облачности. Для упрощения принято, что небосвод полностью закрыт облаками, т.е. имеет

равномерную яркость, а неравномерность яркости неба учитывается коэффициентом q: $q = \frac{3}{7} \times (1 + 2\sin\Theta)$, где $\Theta$ – угловая высота середины светопроема над рабочей поверхностью.

*Спектральный состав* светового потока существенно влияет на цветность и цветопередачу. При этом цвет – одна из главных характеристик световой среды, определяющая эмоциональное воздействие среды на человека. Видимый свет в результате взаимодействия с материальной средой воздействует на органы зрения. Более 80 % информации об окружающем предметном мире человеку обеспечивают информативные функции света, характеризующиеся возникновением зрительных образов.

*Взаимодействие света с веществом*

При падении светового потока Ф на освещаемое тело часть потока $\Phi_i$ проходит сквозь тело, часть потока отражается $\Phi_\rho$, часть потока $\Phi_\alpha$ поглощается телом. На основании закона сохранения энергии: $\Phi = \Phi_\rho + \Phi_\tau + \Phi_\alpha$. Разделив обе части этого равенства на Ф, получим: $1 = \rho + \tau + \alpha$, где ρ – коэффициент отражения тела, τ – коэффициент пропускания тела, α – коэффициент поглощения. В таблице приведены коэффициенты ρ, τ, и α для различных материалов.

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

Каждое тело имеет коэффициенты ρ, τ, и α, которые характеризуются отношением соответствующей части светового потока к падающему световому потоку Ф. Для проектировщика наибольший интерес представляют явления пропускания света (в ограждающих конструкциях окон, фонарей, витражей и т.п.) и отражения (обуславливают интенсивность освещенности в помещении).

Коэффициент поглощения α влияет: на повышение температуры тела; на фотоэффект (фотоэлемент в сети); на фотохимические процессы (люминесценция); на фотобиологические процессы (например, зрительные реакции).

С учетом оптических свойств глаза человека важно знать о зрительных *иллюзиях* и искажениях – увеличение или уменьшение глубины пространства, искажение масштаба, пропорций и архитектоники интерьеров зданий и сооружений. К иллюзиям, зависящим от физиологии глаза, относятся явления иррадиации (светлые предметы кажутся большими по сравнению с равными им, но темными предметами), и дифракции (проявляется в отклонении световых лучей от прямолинейного распространения при встрече с преградой). Законы зрительного восприятия умело использовали древние архитекторы.

**Контрольные вопросы**

1. В чем физическая природа света?
2. Покажите, что светоцветовая среда является основой восприятия архитектуры и интерьеров.
3. Перечислите основные законы геометрической оптики.
4. В чем сходство и в чем различие энергетических и световых фотометрических величин?
5. С какой целью и как используются в строительстве, дизайне, архитектуре оптические иллюзии? Приведите примеры.

## Лекция 13 Освещение помещений и его измерение

**План**

1. Освещение зданий и помещений. Естественное освещение помещений и его значение для определённых функциональных процессов. Оценка освещенности. Нормы и требования естественного освещения. Особенности естественного освещения.
2. Измерение естественной освещенности помещений. Коэффициент естественной освещенности. Понятие о расчете освещенности. Источники искусственного света и осветительные приборы. Нормирование и проектирование искусственного освещения. Совмещённое освещение помещений.

**Тезисы**

Дневной свет требуется всем нам в достаточных количествах. Как смена времен года, так и различные времена суток привносят необходимые изменения в наше восприятие окружающей обстановки, тем самым укрепляя наше физическое и психическое здоровье.

Позитивное влияние дневного света на самочувствие и работоспособность человека было основательно изучено, начиная с 1990-х годов, из-за чего в зданиях более ранней постройки значение дневного света не принималось во внимание, или недооценивалось.

Однако сейчас уже различными исследованиями доказано, что люди, не получающие достаточно дневного света на своем рабочем месте, зачастую жалуются на расстройства душевного состояния. Кроме того, у детей, которые ежедневно учатся и пребывают в искусственно освещаемых классных комнатах, нередко наблюдаются задержки в психомоторном развитии.

Освещение помещений естественным светом осуществляется через окна (световые проемы) в наружных стенах (боковое освещение), через световые фонари и проемы в покрытии, в том числе и в местах перепадов высот смежных пролетов зданий (верхнее освещение), а также одновременно через окна, световые фонари и проемы (комбинированное освещение).

Дневной свет управляет многочисленными биологическими, физиологическими и психическими процессами в организме человека. Мы имеем право на здоровье, активный образ жизни и хорошее настроение. Дневной свет – важный аспект при планировании

С энергетической точки зрения оптимальное использование дневного света в зданиях также необходимо. Оно экономит электроэнергию и доступно каждому пользователю - с разной интенсивностью в зависимости от времени года - совершенно бесплатно.

Помещения, в которых человек проводит незначительное время своего суточного жизненного цикла, могут быть освещены только искусственным светом. Кроме функции обеспечения внешней жизнедеятельности человека, освещение влияет и на состояние его здоровья. Самым благоприятным для здоровья является естественное освещение при условии, конечно, что оно достаточно интенсивное. Согласованное с потребностями использование дневного света хорошо влияет на самочувствие, повышает работоспособность и неизменно сокращает расходы на электроэнергию.

В офисных помещениях искусственный свет является одним из двух основных факторов потребления электричества, наряду с кондиционированием воздуха. Благодаря разумному использованию дневного света удается сэкономить от 50 % до 80 % затрат на электроэнергию для освещения - что соответствующим образом сказывается на сроке службы осветительных приборов, а также снижает расходы на их техобслуживание.

В отличие от искусственной освещенность помещения естественным светом изменяется в зависимости от времени дня и года, метеорологических условий, а также отражающих свойств земной поверхности, прилегающей к зданию.

Освещенность не одинакова в различных географических широтах (в южных районах небесный свод ярче, чем в северных), в различных частях небесного свода в зависимости от высоты солнцестояния, а следовательно, в направлении различных стран света.

Непостоянство природных условий естественного освещения под открытым небосводом делает невозможным установить нормативную освещенность в абсолютных единицах (например, в люксах) внутри помещения.

Поэтому естественное освещение гражданских и промышленных зданий в строительной светотехнике характеризуется относительной величиной — коэффициентом естественной освещенности (к. е. о.), представляющим собой выраженное в процентах отношение освещенности в данной точке внутри помещения Ев, освещаемой светом видимого через проем участка небосвода, к одновременной освещенности наружной горизонтальной плоскости Ен, освещаемой рассеянным (диффузным) светом всего небосвода при неравномерной яркости неба.

Определяют его одновременными измерениями люксметрами и секундомерами в заданной точке и снаружи здания. *Коэффициент естественной освещенности* является величиной постоянной для данной точки в данном здании, то есть не зависящей от внешних факторов — метеорологических условий, времени дня и года,— и поэтому может служить критерием освещенности ее независимо от абсолютного значения величин Ев и Ев. Поэтому при измерении освещенности снаружи здания в случае яркого солнечного освещения для равномерности рассеянного света фотоэлемент люксметра рекомендуется защищать экраном от прямых солнечных лучей.

Зависит коэффициент естественной освещенности от размеров световых проемов, расположения их относительно рабочей поверхности, площади оконного заполнения, загрязнения стекол и других преград, препятствующих проникании света в помещение, а также от отражающей способности внутренних поверхностей ограждений.

Для определения освещенности помещения или отдельных его участков устанавливают в разных их точках, взятых в пересечении двух плоскостей: вертикальной, которую проводят в месте характерного разреза помещения (обычно посредине помещения по оси светового проема или между проемами), и горизонтальной, за которую принимают рабочую плоскость помещения.

Необходимая естественная освещенность в основных помещениях жилых, общественных, производственных и сельскохозяйственных зданий регламентируется СНиП. Нормированные значения коэффициентов естественной освещенности принимаются раздельно для бокового, а также верхнего и комбинированного света.

В помещениях, освещаемых только боковым светом, нормируется минимальное значение коэффициента естественной освещенности, то есть для наиболее удаленных от окон точек помещения, а при верхнем и комбинированном освещении — среднее значение коэффициента естественной освещенности, определяемое для ряда точек по характерному разрезу помещения.

Нормированные значения приводятся в СНиП. Согласно им, все производственные помещения разбиты на шесть разрядов в зависимости от вида проводимых в них работ и степени точности, определяемой размерами объектов различения.

Под объектом различения понимают отдельную часть рассматриваемого предмета (например, нить ткани, линия, царапина, пятно и т. п.), которую требуется различать при работе, а под размером объекта различения — его минимальный размер (например, толщина нити, ширина царапины и т. д.).

К I разряду относятся особенно точные работы (объект различения 0,1 мм и менее), ко II—работы высокой точности (0,1—0,3 мм), к III — точные работы (0,3—1 мм), к IV—работы малой точности (1—10 мм), V—грубые работы (более 10 мм) и к VI— работы, требующие общего наблюдения за ходом производственного процесса без выделения отдельных деталей.

Нормированные значения коэффициентов естественной освещенности (в проц.) при верхнем и комбинированном освещении и при боковом освещении для помещений производственных зданий по СНиП составляют для I разряда работ 10 и 3,5; для II разряда соответственно 7 и 2; для III- 5 и 1,5; для IV- 3 и 1; для V- 2 и 0,5; для VI- 1 и 0,25. Эти значения к. е. о. корректируются умножением на коэффициент 0,75 при расположении зданий южнее 45° северной широты, 0,8— южнее 50° северной широты и 1,2— севернее 60° северной широты.

Равномерность естественного освещения (отношение минимального к. е. о. к максимальному в пределах характерного разреза помещения) в производственных помещениях I — IV разрядов работ с верхним и комбинированным освещением рекомендуется не менее 0,3, а I и II разрядов — не менее 0,5.

Коэффициент естественной освещенности для основных помещений жилых и общественных зданий при боковом освещении в СНиП регламентируется следующими значениями (на уровне пола или на отметке 80 см от пола в зависимости от назначения помещения): жилые комнаты в жилых домах, общежитиях, гостиницах— 0,5; классы, аудитории, лаборатории и учебные кабинеты, актовые, спортивные, физкультурные залы, читальные залы в публичных библиотеках — 1,5; чертежные и рисовальные залы и кабинеты, операционные блоки лечебных учреждений — 2; залы живописи, ателье художников — 3,5; гардеробные, туалетные, душевые, умывальные — 0,25 и т. д. В случае устройства верхнего и комбинированного освещения к. е. о. еср повышается.

Например, в актовых, спортивных и физкультурных залах, в читальных залах публичных библиотек он принимается равным 5, в чертежных и рисовальных залах и кабинетах, операционных блоках лечебных учреждений — 7 и т. д.

В жилых и общественных зданиях в к. е. о. также вводятся коэффициенты, учитывающие особенности естественного освещения помещений зданий, располагаемых в различных климатических подрайонах.

Расчетный коэффициент естественной освещенности е может быть представлен как сумма к. е. о., создаваемых прямым диффузным светом участка неба, видимого из данной точки через проемы, с учетом светопотерь при прохождении светового потока через остекленный проем; отраженным светом от внутренних поверхностей помещений — потолка, стен и пола; отраженным светом от противостоящих зданий; в помещении со светлой окраской потолка светом, отраженным от поверхности прилегающей к зданию территории (грунта, асфальта, травяного покрова и т. д.).

Коэффициенты определяются по формулам, графикам и таблицам, приведенным в СНиП. Наиболее распространенным методом определения расчетного коэффициента естественной освещенности (он рекомендуется также СНиП) является графический. По этому методу полусфера небосвода разбивается 100 меридианами и 100 параллелями на 10 000 равновеликих по площади, а следовательно, и по световой активности, горизонтальных проекций участков. Соединяя точки пересечения линий меридианов и параллелей с центром полусферы образуют 10 000 световых пучков.

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

1)Для оценки условий освещения требуется учитывать *необходимый уровень освещенности на рабочей поверхности* – КЕО. Естественное освещение помещений различают: боковое – через окна в наружных стенах; верхнее – через световые фонари и проемы в покрытии и комбинированное – когда к боковому освещению добавляют верхнее. Значение КЕО в любой точке помещения определяется по формуле: $e_р = e_р^{б} + e_р^{в}$, При проектировании световой среды учитывается не только архитектурный образ здания, но и его назначения. Значение КЕО для различных помещений нормировано.

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

3)*Контрастность освещения*. Контраст определяется разностью яркостей между предметом и фоном: $К = \frac{L_п - L_ф}{L_п}$, где $L_п$, $L_ф$ – яркости, соответственно предмета и фона. По величине К различают: большой К > 0,5; средний К = 0,2–0,5; малый К ≤ 0,2; нюанс К < 0,2. Благоприятные условия работы в помещении обеспечиваются при соотношениях яркости потолка, стен и пола, аналогичных природным.

4)*Наличие зеркальных поверхностей*. При наличии в помещении полированных каменных или металлических, стеклянных, то есть зеркально отражающих поверхностей возможно неприятное ощущение, дискомфорт от бликов на окружающих поверхностях (отраженная блескость). Критерием оценки отраженной блескости служит показатель дискомфорта М, а слепящего действия – показатель ослепленности Р. Для устранения или ограничения отраженной блескости возможно определить направление света, при котором зеркально отражаемые лучи не попадали в глаза человека; увеличить размеры светящей поверхности с уменьшением ее яркости; изменить расположение бликующей поверхности.

*Требования к естественному освещению помещений*

К естественному освещению предъявляют четыре основные группы требований: функциональные, технические, архитектурно - художественные и экономические. Функциональные требования предъявляются для обеспечения комфортных условий с учетом точности выполняемых работ в помещении при сохранении требуемых защитных свойств светопрозрачного ограждения. Комфортные условия обеспечить удается не всегда. В расчетах предлагается обеспечение требуемых условий для зрительной работы, которые включают: обеспечение требуемого уровня освещенности рабочей поверхности; создание соответствующей насыщенности помещений светом; исключение слепящего действия солнечных лучей; проникающих в светопроемы помещения; обеспечение допустимой неравномерности уровней освещенности рабочей поверхности.

Теплопотери через светопроемы могут составлять половину всех теплопотерь здания через ограждение. Одна из ряда причин – высокая теплопроводность единицы площади светопроема по отношению к теплопроводности глухого ограждения. Технические требования можно определить вопросом: из чего возможно выполнить светопрозрачные ограждения прочными, долговечными, огнестойкими, удобными в эксплуатации и так далее.

К архитектурно-художественным требованиям возможен вопрос: Каким образом можно создать красивое здание, учитывая функциональные и технические требования к зданию и освещению. Окна – «глаза здания». Их количество, размеры, форма, размещение, ориентация, вид светопрозрачного материала, цвет определяют

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

К экономическим требованиям может быть поставлен вопрос: Какой ценой обеспечить функциональные, технические и эстетические требования. Желательно – минимальным затратами. При проектировании естественного освещения нужно иметь в виду, что стоимость заполнения световых проемов, как правило, больше стоимости самого ограждения. Излишнее остекление увеличивает эксплуатационные расходы, в частности, на отопление зданий. Поэтому нельзя допускать чрезмерных площадей остекления и без нужды применять светопрозрачные ограждения.

Этот комплекс требований к системам освещения может быть дополнен влиянием светового режима на производительность труда, качество выпускаемой продукции, повышение культуры производства, снижение травматизма, сохранение зрения и здоровья людей. Таким образом, проектирование естественного освещения – сложная задача, решить которую механическим переносом приемов светотехнического расчета из одного проекта в другой невозможно.

*Источники искусственного света и осветительные приборы*

Искусственные источники света - технические устройства различной конструкции и с различными способами преобразования энергии, основным назначением которых является получение светового излучения (как видимого, так и с различной длиной волны, например, инфракрасного). В источниках света используется в основном электроэнергия, но также иногда применяется химическая энергия и другие способы генерации света.

Сегодня распространены 4 основных вида искусственных источников света: обычные лампы накаливания, галогенные лампы, люминесцентные и газоразрядные лампы. Исторически сложилось так, что первыми были лампы накаливания, честь изобретения которых до сих пор оспаривают ученые многих стран. В создании источников электрического света приняли участие многие исследователи, но только Эдисон в 1879 г. сумел запатентовать изобретение лампы накаливания, и с тех пор она называется его именем.

*Лампы накаливания.* За время, прошедшее со дня их изобретения, последовательно улучшалась конструкция этих ламп, разрабатывались новые принципы получения света, использовались все новые и новые материалы. Если первые лампы Эдисона с угольными нитями накала имели световую отдачу всего лишь 1,7 лм/Вт, то сегодня даже стандартные лампы накаливания по этому показателю превосходят их почти в 10 раз.

*Галогенные лампы.* Источники галогенного света с каждым годом становятся все популярнее. В первую очередь это объясняется их мощным светом. Другими словами, по своей яркости они значительно превосходят обычные лампы накаливания. В свете галогенных ламп человеческий глаз отчетливо воспринимает окружающие цвета. Галогенные лампы, в отличие от традиционных ламп накаливания, дают свет с более высокой цветовой температурой (около 3000 К). Это делает цвета различных предметов более интенсивными и живыми. Изделия из стекла, хрусталя, хрома и серебра приобретают дополнительный блеск, что придает

им привлекательный вид. Небольшие размеры и возможность регулирования яркости светового излучения обеспечивают огромное разнообразие конструкций галогенных ламп. Галогенный свет - от широкого рассеянного, мягкого, не дающего тени до резко ограниченного узкого пучка - открывает перед дизайнерами новые возможности при подборе вариантов освещения. Из-за наличия галогена в газе-наполнителе колба у галогенных ламп всегда остается прозрачной. Галоген препятствует осаждению испаряющегося с нити накаливания вольфрама на внутренних стенках колбы. В так называемом вольфрамо-галогенном цикле галоген соединяется с вольфрамом, после чего это газообразное соединение возвращается к спирали, на которой происходит осаждение вольфрама. Высвободившийся галоген возвращается обратно в цикл. Свет галогенных ламп не теряет свою яркость на протяжении всего срока службы. Они горят ярче и служат дольше, чем обычные лампы накаливания. Колбы из кварцевого стекла, содержащие специальные абсорбирующие добавки, полностью удерживают интенсивные и вредные ультрафиолетовые составляющие в излучаемом свете.

*Люминесцентные лампы.* Эти лампы значительно меньше расходуют электроэнергию, чем лампы накаливания или даже галогенные лампы, а служат намного дольше. Принцип их действия основан на свечении люминофора, нанесенного на стенки колбы. Электрическое поле между электродами лампы заставляет пары ртути выделять невидимое ультрафиолетовое излучение, а люминофор преобразует это излучение в видимый свет. Подбирая сорт люминофора, можно изменять цветовую окраску испускаемого света. Сегодня существует много типов люминесцентных ламп, различающихся по конструкции и эксплуатационным характеристикам.

*Газоразрядные лампы.* В газоразрядных лампах высокого давления электрические разряды между электродами вызывают свечение наполнителя в разрядной трубке, то есть излучаемый ими свет - это следствие происходящих в них дуговых разрядов. Эти лампы - рекордсмены по светоотдаче и применяются в осветительных установках, требующих компактных источников света большой мощности с высокими световыми потоками и сроками службы.

*Лампы с ртутными парами высокого давления* используются, главным образом, для уличного освещения. Другая большая группа разрядных ламп представлена металлогалогенными лампами высокого давления. Использование специальных добавок к наполнителю, таких как йодиды металлов или йодиды редкоземельных элементов, позволило значительно улучшить цветопередачу и световую отдачу этих ламп. Самой высокой световой отдачей среди всех газоразрядных ламп обладают натриевые лампы - до 150 лм/Вт. При этом у них очень большой срок службы. Это самые экономичные источники света, которые позволяют видеть все естественные цвета освещаемого объекта. Лампы находят широкое применение в уличном, спортивном и прожекторном освещении. Применение прогрессивных технологий позволило довести срок эксплуатации этих ламп до 4 лет. Это стало возможным благодаря специальной конструкции горелки, использованию высококачественной керамики и антивибратора, а также внедрению в производство технологии лазерной сварки.

*Каким должно быть искусственное освещение*

Искусственное освещение отличается от дневного длинами волн своего спектра и не может по некоторым световым характеристикам в полной мере заменить естественное. В отличие от дневного света, цвет которого в чистом виде нейтрален, искусственному свету — будь то излучение раскаленных нитей электрических ламп, светящегося газа люминесцентных ламп или горящего фитиля свечи — всегда присуща та или иная цветовая окраска. Неправильно используемое искусственное освещение в большей степени, чем естественное, негативно отражается на нашем зрении. Недостаточное освещение рассеивает внимание и вызывает усталость, избыточное — утомляет глаза. К недостаткам освещения особенно чувствительны дети» пожилые люди и люди со слабым или дефектным зрением (страдающие болезнями глаз). Постоянное недостаточное освещение квартиры, дома способствует развитию близорукости у детей и ее прогрессированию у взрослых, ухудшает адаптационные свойства зрения. Слишком яркое и обильное освещение действует чрезмерно возбуждающе, может вызывать раздражительность, головные боли, а у людей со слабым зрением — резь в глазах, слезотечение.

*Совмещённое освещение помещений.* Применяются различные подходы к решению совмещенного освещения, но по существу они подобны. Помещения делятся на три зоны. Первая зона с естественным освещением (зона 1), вторая – с совмещенным освещением (зона 11), и третья – с искусственным освещением (зона 111). Ширину зоны, где КЕО равен норме ($e_1 = e_н$) и до точки, где КЕО равен одной десятой нормы ($e_2 = e_н / 10$), необходимо создавать совмещенное освещение. За значением освещенности равной $e_2$, начинается зона с искусственным освещением.

**Контрольные вопросы**

1. В чем отличие искусственной и естественной освещенности помещения?
2. Перечислите требования к естественному освещению и его особенности.
3. Как измерить естественную освещенность в помещении?
4. Как учитывать в проектировании зданий и помещений искусственное освещение?

## Лекция 14-15 Инсоляция. Обобщение.

**План**

1. Учёт солнца при проектировании. Природа солнечного излучения: ультрафиолет, видимый свет, инфракрасное излучение. Понятие инсоляции. Санирующее, бактерицидное и психологическое воздействие инсоляции. Норма инсоляции жилых квартир. Сектор недопускаемой ориентации односторонних квартир.
2. Тепловое воздействие солнечного излучения. Виды радиации. Характер её поступления на ограждения различной ориентации. Парниковый эффект остекления. Принципы солнечного отопления. Обобщение.

**Тезисы**

Инсоляция (от лат. insolare – выставлять на солнце) – совокупность воздействий на человека и окружающую среду солнечной радиации, проявляющихся в

различных формах, например, в нагреве поверхности земли, воды, воздуха, отдельных зданий, а так же психологическом воздействии на человека, активном влиянии на биосферу земли и т.п. Под термином инсоляции следует понимать суммарное солнечное облучение, то есть облучение прямыми солнечными лучами, рассеянным светом неба и отраженным светом от различных формирований.

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

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

Для архитектора понимание существа инсоляции является необходимым условием. Это особо актуально в настоящее время в связи с энергетическими и экологическими проблемами, а так же с тем, что качество архитектуры 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.

Одним из наиболее сложных вопросов является нормирование инсоляции, где необходимо учесть не только природно-географические условия местности, но и психофизиологические аспекты проживающих на этой территории людей, их культуру, уровень знаний, традиции и тому подобное. Идея о нормировании инсоляции возникла еще в XIX веке. Но и до настоящего времени еще есть ряд спорных вопросов и проблем при ее нормировании, расчете и оценке. 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 второстепенным фактором. Необходимо учитывать не только положительные ее воздействия, но и отрицательные. Некоторые из положительных и отрицательных воздействий инсоляции приведены в таблице.

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.

*Таблица* – Единство положительных и отрицательных воздействий инсоляции в архитектуре

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

*Природа 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 $149{,}5\times10^6$ км (астрономическая единица). Температура поверхности Солнца составляет около 6000 °С, оно излучает в окружающее пространство огромное количество энергии, уменьшаясь при этом ежесекундно на 1 млн. тонн. В стратосферу Земли попадает 1 двухмиллиардная часть – выброшенной Солнцем энергии, но и она составляет примерно 180 биллионов киловатт. К поверхности земли прорывается примерно половина попавшей в стратосферу энергии солнца. Именно эта часть прошедших через атмосферу лучей и создает инсоляцию. Рассмотрим основные закономерности попадания солнечных лучей на поверхность земли, зависящие от взаимного расположения Земли и Солнца.

Искусственное освещение не может полностью заменить потребность человека в естественном свете. Важным фактором для хорошего «здоровья» квартиры, дома является степень его *инсоляции*, т. е. времени, в течение которого оно может освещаться прямым солнечным светом. Современные квартиры, дома проектируются таким образом, чтобы хотя бы одно из его жилых помещений не менее трех часов в сутки могло быть освещено солнечным светом.

Часто при общей характеристике помещения мы отмечаем в первую очередь степень его естественной освещенности: «хорошая комната» — это светлая, т. е.

хорошо освещенная, и наоборот: «плохая» - это комната недостаточно освещенная дневным светом. Почти всегда в случае положительной характеристики к эпитету «светлая» добавляется еще и «солнечная». Подобные оценки основаны на *психологическом воздействии* дневного света на человека. Обилие естественного солнечного света в помещении как бы раздвигает его границы, приближает его к естеству природы, поднимает наш тонус, а недостаток его, понятно, действует на нас противоположным образом.

Помещения, ориентированные окнами на юг, считаются лучшими только в средних и северных широтах, в южных и близких к экватору широтах солнечные комнаты могут превратиться в пекло, если не принять мер по их защите от солнечных лучей.

Кроме того, не все любят яркий свет в помещении, в том числе дневной и солнечный. Как правило, яркий свет предпочитают люди с недостаточной остротой зрения или менее чувствительные к повышенным температурам воздуха. Зимой, как известно, естественного света в природе меньше, а следовательно, и освещенность квартиры, дома зимой, особенно в северных широтах, меньше. С другой стороны, добиться большей освещенности квартиры, дома в таких краях путем увеличения площади наружного остекления помещений сложно, так как чревато большими потерями тепла, которые порой невозможно предотвратить даже самой надежной теплоизоляцией окон. Поэтому в крестьянских домах старого типа, например, окна были небольшими.

На степень и характер естественной освещенности помещений влияет их положение (точнее - положение их окон) относительно сторон света и относительно уровня земли. Самыми темными являются комнаты, выходящие окнами на север, или, как их часто называют, — северные, самыми светлыми - юго-западные. Самое равномерное (рассеянное) освещение достигается в северных комнатах, а неравномерное и контрастное - в восточных и западных. Чем выше от земли находится помещение, тем оно светлее, а свет в нем - контрастнее. От степени и характера освещенности зависят функциональные возможности помещений. Работать удобнее в комнате, где нет солнечного света, а если и есть - то только утренний, бодрящий и контрастный. Просыпаться и засыпать приятнее при мягком свете, присутствие утром и вечером солнечных лучей в спальне нежелательно. Тем не менее, для создания здорового микроклимата ее следует достаточно долго инсолировать в течение дня. Дети физиологически гораздо более взрослых нуждаются в дневном свете, и поэтому детские комнаты должны тяготеть окнами к югу. Отдыхать приятнее в комнатах, ориентированных на запад, - вечернее солнце умиротворяет. Добавим к сказанному, что тяготеющие к северу и востоку комнаты холоднее, чем южные и западные, и поэтому более пригодны для активного образа жизни, а также для вспомогательных помещений.

Для активного образа жизни более подходящи светлые помещения, для отдыха - темные. Для людей с менее жизнестойким организмом (детей, больных и престарелых) предпочтительнее светлые и солнечные комнаты.

Освещенность влияет на зрительное восприятие объема помещения. Светлая комната кажется просторнее, нежели темная. Поэтому при оформлении ее интерьера

оправдано использование темных и матовых тонов для мебели и отделочных материалов стен, пола и потолка, которые позволят уравновесить интенсивность естественного освещения.

Лак для паркетного пола в такой комнате можно выбрать потемнее, выигрышнее будут выглядеть темные обои с рисунком. Окна желательно полностью «приглушить» занавесями из легкой полупрозрачной ткани, которая сделает освещение более мягким и рассеянным. Элементы декора интерьера (рисунок обоев, лепнина на потолках, фактура покрытия пола и мебели) выглядят в хорошо освещенной комнате более рельефно.

Характер естественного освещения имеет еще одну особенность: свет из окон всегда падает под определенным углом сверху вниз, и поэтому помещение всегда освещено дневным светом неравномерно. Нижние части стен и пол принимают большую долю света, нежели верхние и потолок. Особенно ощутимо это на нижних этажах здания. Поэтому при любой степени освещенности комнаты дневным светом потолок должен быть светлее пола.

В слабо и неравномерно освещенных комнатах отрицательный эффект игры света и теней усиливается, объем пространства сжимается и искривляется. Частично исправить это положение можно путем умелого оформления интерьера. Отражающая способность стен, потолков и мебели в таких помещениях должна быть выше, чем в светлых. Ковры ни на стенах, ни на полу не рекомендуются, потолок должен быть идеально белым, стены - только светлые и однотонные, желательно без декора, а если и с декором, то мелким и совпадающим по тону рисунка с их фоном, мебель - тоже светлая и лучше - блестящая. Обилие стекла и зеркал - в пределах разумного

Очевидно, что искусственному освещению необходимо уделять должное внимание при обустройстве квартиры, дома. Основные принципы, которыми следует руководствоваться при этом, заключены в следующих положениях: яркость света должна быть достаточной; свет должен быть равномерно распределен по освещаемому объекту (комнате, функциональной зоне); источник света не должен слепить глаза; освещение должно быть рассеянным и не создавать глубоких теней; свет не должен быть «дрожащим».

Достаточность освещения можно проверить простым образом - возможностью без напряжения зрения читать при нем книгу, сидя на стуле или в низком кресле. Если возникнет желание пододвинуть книгу поближе к источнику света - освещение недостаточное.

Избыточную яркость можно определить с помощью обычного белого листа бумаги, на котором необходимо начертить белым мелом круг. Если круг будет хорошо различим, но при этом не будет блестеть - освещение достаточное, если будет блестеть – нужно уменьшить мощность источника света.

Можно воспользоваться и теоретическими сведениями. Чтобы источники света (лампы) не слепили глаза, необходимо: подбирать их мощность, учитывая защитные свойства плафонов светильников: плафоны, пропускающие свет, должны «приглушать» его и рассеивать световой поток; подбирать их размеры в соответствии с размерами плафонов светильников: лампы не должны выступать за

края плафонов; размещать их так, чтобы прямой свет от них не попадал в глаза: светильники для чтения, например, должны находиться сбоку в сзади от читающего или над его головой, лампы в плафонах светильников не должны быть видны с высоты человеческого роста и ниже (в положении сидя или лежа в зоне отдыха, например).

Чтобы не создавались глубокие тени, необходимо размещать светильник по возможности дальше от освещаемых предметов, а при нецелесообразности этого, лучше использовать два светильника вместо одного или один с двумя лампами. Недопустимо использовать для освещения (особенно рабочих мест) дефектные лампы, излучающие «дрожащий» или мигающий свет. Такой свет очень утомителен для зрения. Иногда «дрожательный» эффект возникает, например, в недостаточно устойчивых настольных светильниках, вследствие восприятия ими незаметных колебаний стола при работе на нем, или в легких подвесных светильниках с длинным подвесом, в результате колебательных движений теплых и холодных потоков воздуха.

По типу выполняемых функций искусственное освещение может быть общим, локальным и декоративным. Общее освещение производится, как правило, одним источником света, находящимся в центре помещения и как можно выше над уровнем пола.

Для общего освещения используются потолочные и подвесные светильники, разновидностью которых являются люстры; в отдельных случаях - настенные светильники рефлекторного типа или несколько светильников, рассредоточенных в разных местах комнаты. Одним из главных недостатков общего освещения является чрезмерная рассеянность света и неизменяемое направление основного светового потока.

Локальное освещение предназначено для освещения определенного участка помещения или какого-либо предмета, элемента интерьера. Преимущество локального освещения перед общим состоит в том, что оно позволяет приспособить световой поток для осуществления человеком функций в удобном для этого месте помещения. Продолжением данного достоинства является основной недостаток локального освещения: контрастность и значительное тенеобразование.

Спектр типов осветительных приборов, применяемых для локального освещения жилых помещений, охватывает практически полную номенклатуру изделий, выпускаемых для этой цели индустрией. Основная цель декоративного освещения - создание специальных световых эффектов или придание интерьеру особой цветовой тональности. Такое освещение используется в основном как дополнение к общему, но может и полностью брать на себя его функции.

Светильники для декоративного освещения весьма специфичны по конструкции и форме. Простейшие из них представляют собой источники света определенного цвета — лампы с цветными колбами, например, или светильники с цветными плафонами. Функционально декоративное освещение особенно оправдано при использовании его в качестве ночного.

При выборе типа освещения нужно исходить из его функционального назначения. Кроме трех функций, носящих практический характер, искусственное

освещение имеет еще одну, которую всегда надо иметь в виду при его формировании: оно создает определенную психологическую атмосферу в помещении. Важно не только правильно осветить помещение, но и создать в нем правильную атмосферу - такую, которая благотворно влияет на настроение, благоприятствует отдыху, любимым занятиям и работе, словом, соответствует физическому и психологическому состоянию человека в определенный момент и в определенном месте дома.

| Группа помещений и участков территории | Требования к инсоляции | Требования к солнцезащите | Допустимые ориентации светопроемов |
|---|---|---|---|
| Жилые комнаты, палаты больниц, санаториев; спортивные площадки, школы и ВУЗы | Обязательна | в жаркий период | 55-305° в I, II и III климатических зонах; 40-320° в IV и V климатических зонах; |
| Вестибюли; рекреации и рабочие помещения 5-8 разрядов зрительных работ | нет | в жаркий период | 360° во всех климатических зонах |
| Лаборатории, читальные залы и рабочие помещения 1-4 разряда зрительных работ | нет | в рабочее время | 360° |
| Демонстрационные залы и павильоны, книгохранилища и операционные | нет | – | – |

Непросто охарактеризовать, что такое правильная атмосфера освещения, - она чувствуется на подсознательном уровне индивидуума и каждым из них по-разному. В общих чертах, правильная атмосфера освещения - это атмосфера, которая дает ощущение *комфортности освещения* в определенной ситуации. Например, неторопливая и свободная беседа течет непринужденнее при теплом полумраке комнаты, созданном светильником с темным плафоном. Яркий свет люстры заставит собравшихся в комнате гостей быть общительнее и веселее. Свет люминесцентной лампы, висящей высоко на одной из стен комнаты, навеет скуку и ощущение дискомфорта, а глубокие тени, создаваемые светом низкого напольного светильника, вызовут ощущение беспокойства. Свет от красного плафона будет согревать, от зеленого - успокаивать, а при синем свете станет прохладнее душным летним вечером. Умелое и рациональное использование различных видов освещения - непременное условие современного дома.

Нормами проектирования жилых зданий не допускается такая ориентация квартир, в которых все комнаты выходили бы на одну сторону дома. Это вызвано тем, что северные фасады домов в холодную погоду совсем не облучаются солнцем, а летом получают немного утренних и вечерних «скользящих» лучей, почти не проникающих в помещения.

При недостаточных расстояниях между домами и ориентации их на северо-запад и северо-восток продолжительность инсоляции в период равноденствия меньше

трех часов (март-сентябрь). Однако такие случаи ориентации бывают обусловлены сложившейся сеткой улиц городов, повернутой к сторонам горизонта на 45°. Основой расчета является нормированный параметр инсоляции помещений и территорий внутриквартальных пространств, который определяется суммарным вектором инсоляции СИ (рис.).

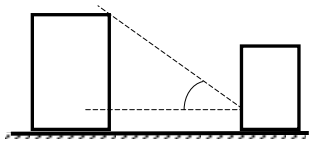
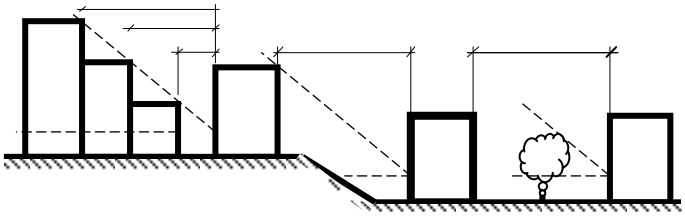


Схема к сектору инсоляции

СИ измеряется по плоскости, проходящей через расчетную точку и наклонной к югу под углом φ к плоскости горизонта. Угол φ определяется из зависимости: $\varphi = 10°(1 + \cos Ш)$, где Ш – географическая широта в градусах. Некоторые значения угла φ приведены в таблице.

| 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 спальных домов отдыха, санаториев и пансионатов, в учебных помещениях школ, на детских игровых площадках, плескательных бассейнов, в некоторых гостиницах и комнатах общежитий (не менее 60 % помещений). | 45 |
| В палатах больниц и роддомов, игровых комнатах детских садов и яслей | 50 |

Построив сектор инсоляции, архитектор может свободно варьировать расстояние между зданиями, используя рельеф, зелень и т.п. (рис).



Определение расстояния между зданиями по сектору инсоляции

**Контрольные вопросы**

1. Каковы принципы учета солнца при проектировании?
2. Что такое инсоляция? Каково ее значение в строительстве? Каковы нормы инсоляции жилых помещений?
3. Назовите виды радиации и опишите характер её поступления на ограждения различной ориентации.
4. В чем физическая сущность парникового эффекта остекления?
5. Можно ли использовать солнце для отопления жилых помещений? Приведите примеры.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тезисы лекций разработаны в соответствии с действующей программой курса «Основы строительной физики» для будущих инженеров, специалистов-строителей. Небольшой объем лекционного материала достигнут с помощью тщательного отбора и лаконичного изложения. Систематическое изложение разделов строительной физики – основ строительной климатологии, ветрозащиты, основ строительной акустики, защиты от звука и шума, основ строительной теплотехники, явлений переноса и их учета в строительстве, основ строительной светотехники, и т.д. - существенно облегчит самостоятельную подготовку студента к занятиям, выполнению заданий рубежного и итогового контроля. В пособии нет громоздких выкладок, математический аппарат понятен и лаконичен. Приведены контрольные вопросы, которые помогут студенту выявить уровень владения тем или иным разделом курса строительной физики.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Вавилин В.Ф., Коротаев С.А., Кузнецов Н.М. Строительная физика: учеб. пос. – Саранск: ИМУ, 2006. – 180 с.
2. Лицкевич В.К., Макриненко Л.И., Мигалина И.В. Архитектурная физика: учеб. для вузов / под ред. Н.В. Оболенского. Изд-е 4-е. - М.: Мир, 2007. – 448 с.
1. Ковригин С.Д., Крышов С.И. Архитектурно-строительная акустика. - М.: Высшая школа, 1986. – 256 с.
2. Гусев С.Д. Основы строительной физики. - М.: Стройиздат, 1975. – 345 с.
3. Губернский Ю.Д., Лицкевич В.К. Жилище для человека - М.: Стройиздат, 1991. – 234 с.
4. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений /под ред. И.Е. Рогожина. - М.: Стройиздат, 1985. – 176 с.

Елена Валерьевна Пономаренко

Сборник тезисов лекций по дисциплине «Основы строительной физики» для студентов специальности 5В073000 - Производство строительных материалов, изделий и конструкций

Подписано в печать _____
(число.месяц.год)
Формат бумаги $X^{x}Y$ 1/16

Бумага типографская. Печать офсетная. Объем 4,5 п.л.
Тираж _____экз. Заказ №_____*

© Издание Южно-Казахстанского государственного университета им. М.Ауэзова

Издательский центр ЮКГУ им. М.Ауэзова, г. Шымкент, пр. Тауке хана, 5