

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

О.Л. Викторова

СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

КУРС ЛЕКЦИЙ

Рекомендовано Редсоветом университета
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по направлению подготовки
08.03.01 «Строительство»

Пенза 2016

УДК 53: 69 (075.8)

ББК 38.113 я 73

В43

Рецензент – доктор технических наук, профессор
А.М. Береговой (ПГУАС)

Викторова О.Л.

В43 Строительная физика: курс лекций: учеб. пособие по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» / О.Л. Викторова. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 88 с.

Представлен лекционный курс, соответствующий действующему учебному плану и требованиям ФГОС ВО. Изложен теоретический материал по трем разделам дисциплины «Строительная физика»: строительные теплотехника, акустика, светотехника, предусмотрены вопросы для самоконтроля студентов.

Курс лекций по дисциплине «Строительная физика» подготовлен на кафедре «Городское строительство и архитектура» и предназначен для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство».

© Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, 2016

© Викторова О.Л., 2016

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс лекций написан в соответствии с требованиями нового Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по обучению студентов по направлению «Строительство» (квалификация бакалавр), согласно которому все виды учебных занятий должны быть подкреплены учебно-методическим материалом по изучаемой дисциплине. При изучении дисциплины «Строительная физика» студенты согласно действующему учебному плану должны прослушать курс лекций. Для более плодотворной работы студентов и успешного восприятия рассматриваемого материала подготовлено данное учебное пособие.

Согласно действующему учебному плану на лекционный курс по дисциплине «Строительная физика» отводится 18 часов, что соответствует девяти лекциям. Лекционный курс представлен тремя разделами: «Строительная теплотехника», «Архитектурно-строительная акустика» и «Строительная светотехника». Процесс изучения дисциплины «Строительная физика» направлен на формирование следующих общепрофессиональных и профессиональных компетенций:

- способности использовать основные законы естественно-научных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального исследования;
- способности выявить естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат;
- знания научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по профилю деятельности;
- владения математическим (компьютерным) моделированием на базе универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и автоматизированных систем проектирования, стандартных пакетов автоматизации исследований, методами постановки и проведения экспериментов по заданным методикам;
- способности составлять отчеты по выполненным работам, участвовать во внедрении результатов исследований и практических разработок.

В разделе «Строительная теплотехника» рассматриваются темы по оценке микроклимата помещений и тепловлажностного состояния наружных ограждающих конструкций.

Раздел «Архитектурно-строительная акустика» посвящен темам по архитектурной и строительной акустике; здесь студенты учатся оценивать не только акустическое восприятие в рассматриваемом помещении, но и звукоизолирующую способность ограждающих конструкций помещения согласно его назначению от проникновения воздушного и ударного шумов.

В разделе «Строительная светотехника» рассмотрены вопросы естественного освещения помещений, его нормирования согласно нормативным требованиям.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать: основные законы, формирующие физико-технические основы проектирования зданий, и зарубежный опыт исследования;

уметь: выявлять естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; выполнять необходимые эксперименты и физико-технические расчеты по обеспечению нормального микроклимата в помещении для находящихся там людей и использовать полученные знания при проектировании зданий и сооружений; составлять отчеты по проведенным исследованиям;

владеть: нормами и методами проектирования ограждающих конструкций с учетом их теплотехнических и звукоизоляционных свойств.

Раздел 1. СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

Лекция 1. МИКРОКЛИМАТ ПОМЕЩЕНИЙ

1.1. Факторы, влияющие на самочувствие человека в помещении

К важнейшим факторам, которые оказывают большое влияние на находящихся в помещении людей, относятся: **температура и влажность воздуха** и их изменения в зависимости от периодов года и особенностей технологических процессов; распределение в пространстве аэродинамических давлений и связанный с этим естественный воздухообмен и аэрация помещений; воздействие солнечной радиации (через окна, покрытия, стены).

В производственных помещениях, кроме перечисленных факторов, большое значение имеют тепловыделения, которые, как правило, в 2–3 раза превышают потери тепла через ограждения.

По способу перемещения воздуха различают системы естественной и механической вентиляции. Система вентиляции, перемещение воздушных масс в которой осуществляется благодаря возникающей разности давлений снаружи и внутри здания, называется естественной *вентиляцией*. Для постоянного воздухообмена, требуемого по условиям поддержания чистоты воздуха в помещении, необходима организованная вентиляция, или аэрация.

Аэрацией называется организованная естественная общеобменная вентиляция помещений в результате поступления и удаления воздуха через открывающиеся фрамуги окон и дверей. Воздухообмен в помещении регулируют различной степенью открывания фрамуг (в зависимости от температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра). Основным достоинством естественной вентиляции является возможность осуществлять большие воздухообмены без затрат механической энергии.

Естественная вентиляция как средство поддержания параметров микроклимата и оздоровления воздушной среды в помещении применяется для непромышленных помещений – бытовых (квартир) и помещений, в которых в результате работы человека не выделяется вредных веществ, избыточной влаги или тепла. Вентиляция, с помощью которой воздух подаётся в помещения или удаляется из них по системам вентиляционных каналов с использованием специальных механических побудителей, называется *механической вентиляцией*.

Гигиеническими нормами для гражданских зданий установлены пределы естественной вентиляции в виде минимальной кратности воздухообмена n . Под кратностью воздухообмена имеют в виду отношение объёма воз-

духа, поступающего в помещение в течение одного часа, к кубатуре помещения V_0 , т.е.

$$n = \frac{V}{V_0}, \quad \frac{1}{\text{ч}}. \quad (1.1)$$

С помощью анемометра определяют скорость воздушного потока в проёмах.

Количество воздуха, поступающего через «живое сечение» открытого проёма F , м^2 , при скорости воздушного потока V , м/с , определяется по формуле

$$V = V \cdot F; \quad (1.2)$$

тогда кратность воздухообмена за один час будет равна

$$n = \frac{3600 \cdot V}{V_0}. \quad (1.3)$$

В летний период кратность воздухообмена значительно повышается. При этом для притока свежего воздуха необходимы проёмы в нижней зоне помещения, а для удаления загрязненного воздуха – в верхней.

1.2. Влажность воздуха

В атмосферном воздухе всегда содержится некоторое количество водяного пара. Различают абсолютную и относительную влажности воздуха.

Абсолютная влажность характеризуется количеством влаги в граммах, содержащейся в одном кубометре воздуха. Обозначается абсолютная влажность буквой f , единицей измерения является г/м^3 .

Для расчётов диффузии (проникновения) водяного пара через ограждающие конструкции используют показатель не абсолютной влажности, а парциального давления (e в мм рт. ст. или Па), называемого иногда упругостью водяного пара E . Это просто другая единица измерения количества водяного пара в воздухе.

Парциальное давление возрастает по мере увеличения количества пара в воздухе, но его содержание в воздухе помещения с определённой температурой и барометрическим давлением ограничено. Предельное значение парциального давления E , мм рт. ст. , соответствует полному насыщению воздуха водяным паром. С повышением температуры происходит повышение парциального давления. При барометрическом давлении 755 мм рт.ст. существует определенная зависимость между максимальной упругостью водяного пара и температурой воздуха внутри помещения. Эта зависимость представлена в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Значения максимального парциального давления водяного пара, мм рт.ст., для различных температур

°C	<i>E</i>	°C	<i>E</i>	°C	<i>E</i>	°C	<i>E</i>	°C	<i>E</i>
0	4,58	-8	2,32	-16	1,13	-24	0,52	-32	0,23
-1	4,22	-9	2,13	-17	1,00	-25	0,47	-33	0,21
-2	3,88	-10	1,95	-18	0,94	-26	0,42	-34	0,19
-3	3,57	-11	1,78	-19	0,85	-27	0,38	-35	0,17
-4	3,28	-12	1,63	-20	0,77	-28	0,34	-36	0,15
-5	3,01	-13	1,49	-21	0,70	-29	0,31	-37	0,13
-6	2,76	-14	1,36	-22	0,64	-30	0,28	-38	0,12
-7	2,53	-15	1,24	-23	0,58	-31	0,25	-39	0,11
0	4,58	8	8,05	16	13,63	24	22,38	32	35,66
1	4,93	9	8,61	17	14,53	25	23,76	33	37,73
2	5,29	10	9,21	18	15,48	26	25,21	34	39,90
3	5,69	11	9,84	19	16,48	27	26,74	35	42,18
4	6,10	12	10,52	20	17,54	28	28,35	36	44,56
5	6,54	13	11,23	21	18,65	29	30,04	37	47,07
6	7,01	14	11,99	22	19,83	30	31,82	38	49,69
7	7,51	15	12,79	23	21,07	31	33,70	39	52,44

Степень насыщения воздуха водяным паром определяет его **относительная влажность** φ , которая представляет собой отношение парциального давления водяного пара e в рассматриваемой воздушной среде к максимальной упругости водяного пара E , соответствующей температуре этой среды, и выражается в %:

$$\varphi = \frac{e}{E} \cdot 100 \% . \quad (1.4)$$

Относительная влажность имеет большое значение как в гигиеническом, так и техническом отношении:

– величина относительной влажности ограничивает интенсивность испарения влаги с любых увлажнённых поверхностей, в том числе и с кожи человека;

– величина относительной влажности определяет процесс поглощения влаги пористыми материалами из воздушной среды.

Если воздух с определённым влагосодержанием подвергнуть нагреванию, то относительная влажность φ понизится, поскольку парциальное давление e остаётся постоянной величиной, а максимальная упругость водяного пара E увеличится с повышением температуры воздуха. При охлаждении воздуха относительная влажность будет увеличиваться из-за уменьшения максимальной упругости водяного пара E .

При некоторой температуре воздуха максимальная упругость водяного пара E окажется равной величине парциального давления e , а относительная влажность φ будет равна 100 %. Тогда наступает состояние полного насыщения охлаждённого воздуха водяным паром.

Температура, при которой наступает полное насыщение воздуха водяным паром, называется **температурой точки росы**. При дальнейшем понижении температуры количество влаги будет конденсироваться, т.е. переходить в жидкое состояние.

В холодный период года температура на внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций всегда ниже температуры внутреннего воздуха. Тонкий воздушный слой, прилегающий к поверхности конструкций, охлаждается до температуры самой поверхности и может достигнуть температуры точки росы. Поэтому необходимо обеспечить на поверхности ограждающих конструкций такую температуру, при которой не смогла бы происходить конденсация влаги.

Для определения физического состояния микроклимата помещения по параметрам температуры внутреннего воздуха t_{int} и относительной влажности φ служат психрометры Августа и Ассмана.

Психрометр Ассмана состоит из двух термометров: один из них обычный, применяемый для измерения температуры, а нижняя часть другого обёрнута тканью, которая увлажняется водой.

На поверхности шарика увлажнённого термометра происходит процесс испарения влаги, охлаждающий его и понижающий температуру на термометре. Чем меньше относительная влажность воздуха, тем быстрее идёт процесс испарения и, следовательно, больше разность в показаниях сухого и влажного термометров.

На основе закономерной зависимости между разностью показаний термометра и абсолютной влажностью воздуха составлена психрометрическая таблица, по которой определяется относительная влажность воздуха.

1.3. Определение температурно-влажностного режима в помещении

Большинство гражданских зданий (административные, учебные, жилые) относятся к категории помещений с незначительными выделениями тепла, требующими отопления в холодный период года.

Влажностный режим помещений зданий и сооружений в зимний период в зависимости от относительной влажности и температуры внутреннего воздуха устанавливают по табл. 1.2.

Т а б л и ц а 1.2

Влажностный режим помещений зданий

Режим в помещении	Влажность внутреннего воздуха, %, при температуре, °С		
	до 12	св. 12 до 24	св. 24
– сухой	до 60	до 50	до 40
– нормальный	св. 60 до 75	св. 50 до 60	св. 40 до 50
– влажный	св. 75	св. 60 до 75	св. 50 до 60
– мокрый	– –	св. 75	св. 60

Таким образом, на самочувствие человека и состояние ограждающих конструкций большое влияние оказывают:

1. Средняя температура воздуха в помещении и её изменение в течение суток.

2. Влажность воздуха в помещении.

3. Скорость движения воздуха в помещении, которая приобретает решающее значение в летний период в помещениях без искусственного охлаждения. Движение воздушных потоков влияет на просушивание поверхностей ограждающих конструкций в закрытых помещениях.

1.4. Определение условий эксплуатации ограждающей конструкции

В зависимости от природно-климатических условий территория России разделена на три зоны влажности: влажную; нормальную; сухую. В [1, прил. В] приведена карта деления территории России на зоны влажности, по которой можно определить соответствующую зону для конкретного города. Так, город Пенза находится в третьем климатическом районе строительства, что соответствует сухой зоне влажности эксплуатации конструкций здания.

В зависимости от влажностного режима помещений и зон влажности района строительства устанавливают условие эксплуатации ограждающих конструкций (А или Б) по табл. 1.3.

Т а б л и ц а 1.3

Условия эксплуатации ограждающих конструкций

Влажностный режим помещений зданий	Условия эксплуатации (А или Б) в зоне влажности		
	сухой	нормальной	влажной
Сухой	А	А	Б
Нормальный	А	Б	Б
Влажный или мокрый	Б	Б	Б

От условия эксплуатации ограждающей конструкции зависит правильный выбор расчетных теплотехнических показателей материалов наружных ограждений.

Вопросы для самоконтроля по теме «Микроклимат помещений»

1. Факторы, определяющие микроклимат помещений.
2. Чем характеризуются абсолютная и относительная влажности воздуха?
3. В какой зависимости между собой находятся величины: относительная влажность воздуха, максимальная упругость водяного пара воздуха и температура воздуха в помещении?
4. На основании какой зависимости составлена психрометрическая таблица?
5. Условие образования конденсата на внутренней поверхности ограждающей конструкции.
6. Что такое температура точки росы?
7. Принцип действия прибора, с помощью которого определяют относительную влажность воздуха.
8. Факторы, влияющие на выбор условия эксплуатации ограждающей конструкции.

Лекция 2. ПРОЦЕССЫ ТЕПЛООБМЕНА В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ

2.1. Задачи строительной теплотехники

Теплозащитные и санитарно-гигиенические качества наружных ограждающих конструкций зданий, а также степень их долговечности зависят в первую очередь от таких факторов, как температура наружного воздуха, его влажность, количество и характер выпадающих осадков, скорость и направление ветра, а также от взаимного сочетания суточных и сезонных изменений этих факторов.

Например, в некоторых районах нашей страны возможно сочетание сильного мороза с сильным ветром, большого числа оттепелей в течение холодного периода года с колебаниями температуры.

Климатический район учитывается при определении теплофизических свойств ограждающих конструкций.

Основная задача строительной теплофизики – обоснование наиболее целесообразных в эксплуатации решений зданий и ограждающих конст-

рукций, удовлетворяющих требованиям обеспечения в помещениях благоприятного микроклимата для деятельности или отдыха человека.

Методы строительной теплофизики основаны на общей теории теплообменных и массообменных процессов в материальных системах.

Рационально запроектированные наружные ограждения конструкции должны удовлетворять следующим теплотехническим требованиям:

1) обладать достаточными теплотехническими свойствами, предохраняя помещение от холодов в зимнее время и осенью, и защищать их от перегрева солнцем в летнее время;

2) при эксплуатации не иметь на внутренней поверхности слишком низкой температуры во избежание образования на ней конденсата;

3) воздухопроницаемость их не должна превосходить допустимого предела, выше которого воздухообмен будет охлаждать помещение;

4) сохранять нормальный влажностный режим, учитывая, что увлажнённые ограждения ухудшают его теплозащитные свойства и недолговечны.

В соответствии с указанными требованиями к ограждающим конструкциям в строительной теплотехнике рассматривают следующие основные вопросы:

- теплопередачу в ограждениях;
- воздухопроницаемость;
- влажностное состояние ограждений.

2.2. Виды теплообмена

Теплообмен представляет собой совокупность явлений, связанных с распространением тепловой энергии от более нагретых тел к другим.

Различают три вида теплообмена:

- 1) теплопроводность (кондукция);
- 2) конвекция;
- 3) излучение (радиация).

Теплопроводностью называют теплообмен между частицами тела, находящимися в соприкосновении друг с другом. Передача энергии в газах происходит в результате столкновения молекул; в твёрдых диэлектриках – при колебаниях соседних молекул, а в металлах – благодаря тепловому движению электронов.

Конвекция представляет собой процесс распространения тепла в результате механического перемещения частицы вещества газообразной или жидкой среды из одной части пространства в другую.

Передача тепла **излучением** (радиацией) происходит между телами через воздушное пространство.

Теплообмен конвекцией и излучением происходит через воздушные прослойки ограждений, а также у их внутренних и наружных поверхностей.

Включающий все виды теплообмена перенос тепла от одной нагретой газообразной среды к другой через разделяющую их стенку называют **теплопередачей**.

Процесс теплообмена между твёрдой стенкой и обтекающей ее газообразной или жидкой средой называют теплоотдачей.

2.3. Показатели теплотехнических свойств ограждающей конструкции

В простейшем виде ограждающая конструкция здания по своей расчётной схеме представляет плоскую конструкцию (стенку), ограниченную параллельными поверхностями. Она разделяет воздушные среды с разными температурами.

Через плоскую ограждающую конструкцию поток тепла проходит перпендикулярно к её поверхности (рис. 2.1).

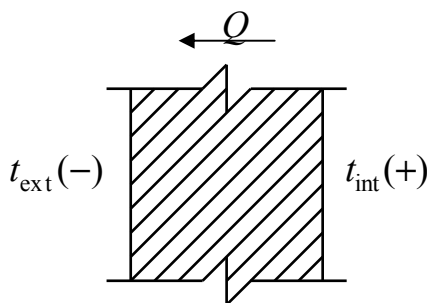


Рис. 2.1. Перенос теплового потока через ограждающую конструкцию

Количество тепла Q , ккал, проходящего через плоскую стенку, ограниченную двумя параллельными плоскостями, определяют по формуле

$$Q = K(t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})FZ, \quad (2.1)$$

где F – площадь ограждения, м^2 ;

Z – время передачи тепла, ч (с);

K – коэффициент, зависящий от теплотехнических свойств ограждения;

t_{int} – расчётная температура внутреннего воздуха, принимается по санитарно-гигиеническим нормам по ГОСТ 30494 в зависимости от назначения помещения;

t_{ext} – зимняя температура наружного воздуха, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 (определяется по [3, табл. 1]).

$$K = \frac{Q}{(t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})FZ}, \text{ или } K = \delta. \quad (2.2)$$

В случае, когда вместо температуры воздуха с одной и другой стороны ограждения известна температура на поверхности ограждения, на основании закона Фурье

$$Q = (\tau_{\text{int}} - \tau_{\text{ext}})FZ \frac{\lambda}{\delta}, \quad (2.3)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м °С;

δ – толщина ограждения, м;

τ_{int} и τ_{ext} – температуры на внутренней и наружной поверхностях ограждения, °С.

Когда тепловой поток, проходящий через ограждающую конструкцию, не изменяется во времени (по величине и направлению), то в этом случае тепловой режим называют **стационарным**.

Коэффициент теплопроводности λ характеризует способности ограждения проводить тепло в условиях стационарного теплового режима, т.е.

$$\lambda = \frac{Q\delta}{(\tau_{\text{int}} - \tau_{\text{ext}})FZ} \left[\frac{\text{ккал} \cdot \text{м}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°С}} \right], \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°С}}. \quad (2.4)$$

Величина коэффициента теплопроводности в основном зависит от объёмного веса, влажности и природы материала. Чем меньше объёмная масса материала, тем больше в нём пор, заполненных воздухом, являющимся плохим проводником тепла, и тем меньше его коэффициент теплопроводности. На величину коэффициента теплопроводности влияет также структура материала и его природа.

Заметно влияет на величину коэффициента теплопроводности и влажность материала ограждения. Это объясняется тем, что вода, заполняющая поры материала, имеет коэффициент теплопроводности в 25 раз больший, чем неподвижный воздух.

Ограждающая конструкция называется однородной, если выполнена из одного материала, и слоистой, если состоит из нескольких материалов, слои которых расположены параллельно внешним поверхностям ограждения.

При расчётах теплозащитных свойств ограждений удобно пользоваться величиной термического сопротивления, выражаемого через разность температур на одной и на другой поверхности ограждения, при которой тепловой поток Q одного метра квадратного ограждения равен 1 ккал/ч, тогда термическое сопротивление однородного слоя определяется по формуле

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}. \quad (2.5)$$

В целях экономии материалов выгоднее применять те, у которых $\lambda <$ (меньше), при этом должны быть соблюдены условия необходимой прочности ограждения.

Термическое сопротивление слоистой конструкции равно сумме термических сопротивлений всех слоёв, т.е.

$$\sum R_i = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} \quad \text{или} \quad \sum R_i = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}. \quad (2.6)$$

При передаче тепла через ограждающую конструкцию происходит падение температуры от t_{int} до t_{ext} . При этом общий температурный перепад ($t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}$) состоит из суммы трёх частных температурных периодов (рис. 2.2).

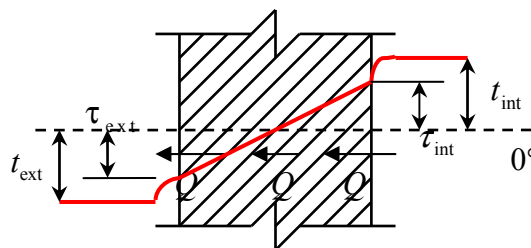


Рис. 2.2. Распределение температур в однородной конструкции при постоянном тепловом потоке

Температура внутренней поверхности τ_{int} ограждающей конструкции в холодный период всегда меньше, чем температура воздуха помещения, т.е. имеет место температурный период $t_{\text{int}} - \tau_{\text{int}}$. В пределах толщины ограждающей конструкции температурный перепад составит $(\tau_{\text{int}} - \tau_{\text{ext}})$. Температура наружной поверхности конструкции несколько выше температуры наружного воздуха и перепад у этой поверхности составляет $(\tau_{\text{ext}} - t_{\text{ext}})$.

Каждый из этих температурных перепадов вызван конкретным сопротивлением переносу тепла:

- перепад $(t_{\text{int}} - \tau_{\text{int}})$ – сопротивлением тепловосприятию или теплоотдаче внутренней поверхности конструкции R_{si} ;
- перепад $(\tau_{\text{ext}} - t_{\text{ext}})$ – сопротивлением теплоотдаче наружной поверхности конструкции R_{se} .

Сопротивления тепловосприятию и теплоотдаче иногда называют сопротивлениями теплообмену, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$.

Таким образом, сопротивление потоку тепла может быть выражено перепадом температур (в °C), при котором через каждый квадратный метр в единицу времени проходит поток тепла, равный единицы.

Общее сопротивление ограждающей конструкции теплопередаче R_0 равно сумме всех отдельных сопротивлений, т.е.

$$R_0 = R_{si} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_{se}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}. \quad (2.7)$$

Сопротивление тепловосприятию R_{si} зависит от размеров помещения, фактуры поверхности ограждения, скорости конвекционных потоков воздуха у поверхности, а также от величины перепада ($t_{\text{int}} - \tau_{\text{int}}$).

Величина, обратная сопротивлению тепловосприятия, т.е. $\frac{1}{R_{si}} = \alpha_{\text{int}}$, называется **коэффициентом тепловосприятия** или коэффициентом теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции.

Сопротивление теплоотдачи R_{se} зависит от высоты и этажности зданий, скорости ветра и условий лучистого теплообмена.

Величина, обратная сопротивлению теплоотдачи, т.е. $\frac{1}{R_{se}} = \alpha_{\text{ext}}$, называется **коэффициентом теплоотдачи**.

Для наружных ограждающих поверхностей стен, полов, потолков коэффициенты определяются по [2, табл. 4 и 6]. Например, внутренняя поверхность стен, полов, гладких потолков имеет коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{int}} = 8,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$, а $\alpha_{\text{ext}} = 23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ коэффициент теплоотдачи для зимних условий наружной поверхности стен, покрытий, перекрытий над проездами.

При установившемся (стационарном) потоке тепла как входящий в ограждающую конструкцию поток тепла, так и проходящий через нее, равны одной и той же величине Q . Поток тепла, проходящий через внутреннюю поверхность ограждения, может быть выражен как $\frac{t_{\text{int}} - \tau_{\text{int}}}{R_{si}}$, тогда

$$\frac{t_{\text{int}} - \tau_{\text{int}}}{R_{si}} = \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0}; \quad (2.8)$$

$$R_0 = \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{t_{\text{int}} - \tau_{\text{int}}} R_{si}. \quad (2.9)$$

Выражение (2.10) используется для определения необходимых теплозащитных качеств ограждающих конструкций и называется требуемым сопротивлением теплопередаче R_{red} . В качестве основного нормируемого параметра принимается температурный перепад ($t_{\text{int}} - \tau_{\text{int}}$). Его величина зависит от назначения помещения и вида ограждающей конструкции. Чем

меньше нормируемая величина перепада ($t_{\text{int}} - \tau_{\text{int}}$), тем более высоким сопротивлением теплопередаче должна обладать ограждающая конструкция.

$$R_{\text{red}} = \frac{n(t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})}{\Delta t_n} R_{\text{si}}, \quad (2.10)$$

где n – коэффициент, учитывающий расположение ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху и для наружных стен равный единице.

Тогда расчетный температурный перепад между температурой воздуха внутри помещения и температурой на внутренней поверхности ограждающей конструкции можно определить по формуле

$$\Delta t_0 = \frac{n(t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})}{\alpha_{\text{int}}} \frac{1}{R_0}. \quad (2.11)$$

Сопротивление теплопередаче проектируемой ограждающей конструкции для производственных зданий с избытком теплоты и зданий, предназначенных для сезонной эксплуатации, а также зданий с расчетной температурой внутреннего воздуха 12°C следует принимать не менее значений, требуемых по санитарно-гигиеническим нормам R_{red} и рассчитываемых по формуле (2.10), или равным этой величине, т.е.

$$R_0 \geq R_{\text{red}}.$$

2.4. Расчёт температур в толще ограждающей конструкции

При установившемся потоке тепла распределение температур внутри ограждающей конструкции подчиняется определённым закономерностям, и значение температуры может быть легко вычислено для каждого сечения или слоя конструкции с помощью равенства

$$\frac{t_{\text{int}} - \tau_{\text{int}}}{R_{\text{int}}} = \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0}. \quad (2.12)$$

Получим значение температуры, $^\circ\text{C}$, на внутренней поверхности ограждающей конструкции:

$$\tau_{\text{int}} = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} R_{\text{int}}. \quad (2.13)$$

Аналогично из равенства потоков тепла, проходящих через произвольный слой,

$$\frac{t_{\text{int}} - \tau_X}{R_i - R_X} = \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0}$$

получим
$$\tau_X = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} (R_{\text{int}} + \sum R_X), \quad (2.14)$$

где $\sum R_X$ – сумма термических сопротивлений слоев, граничащих с помещением.

По рассчитанным значениям температур в рассматриваемых сечениях строят график их распределения (рис. 2.3).

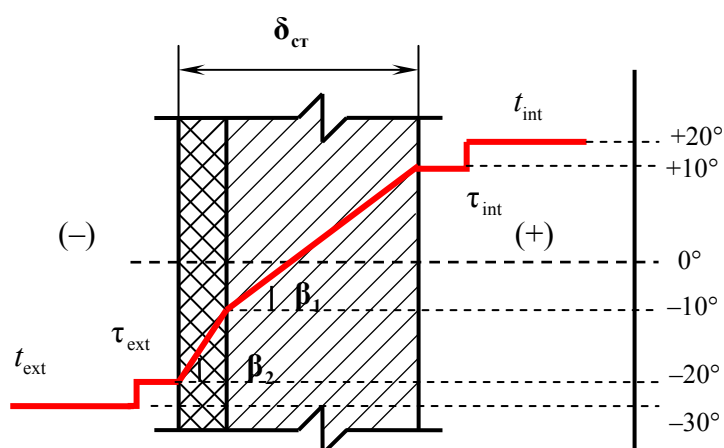


Рис. 2.3. График распределения температур в ограждении

В пределах каждого конструктивного слоя падение температуры происходит по линейному закону, но с различным наклоном линии падения температуры к горизонту β .

Угол наклона линии распределения температур к горизонту будет зависеть от величины коэффициента теплопроводности материала. Если конструктивный слой выполнен из материала с малой теплопроводностью, то линия падения температуры будет иметь больший угол наклона к горизонту β , если материал с большой теплопроводностью, то угол β уменьшается.

2.5. Проектирование стен с воздушными прослойками

При проектировании часто применяются ограждающие конструкции с воздушными прослойками, обладающими некоторым термическим сопротивлением и повышающими общее сопротивление теплопередаче ограждения. Несмотря на то, что воздух в неподвижном состоянии имеет весьма малый коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,021 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$, термическое

сопротивление воздушных прослоек в ограждённых конструкциях оказывается небольшим и мало зависящим от своей толщины.

Объясняется это тем, что передача тепла через воздушные прослойки происходит путём конвекции и излучения. В ограждающих конструкциях зданий воздушные прослойки не всегда могут считаться замкнутыми, поскольку строительные материалы пористы, а элементы конструкций имеют неплотности и в прослойку проникает холодный воздух, снижая её термическое сопротивление. При проектировании стен с вентилируемой воздушной прослойкой (стены с вентилируемым фасадом) следует руководствоваться следующими рекомендациями:

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

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

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

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

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

Вопросы для самоконтроля по теме

«Процессы теплообмена в ограждающих конструкциях зданий»

1. Теплотехнические требования, предъявляемые к ограждающим конструкциям.

2. Виды теплообмена.

3. Как направлен тепловой поток через наружную ограждающую конструкцию в зимнее время?

4. Что характеризует коэффициент теплопроводности материала и от чего зависит его величина?

5. Физический смысл термического сопротивления конструктивного слоя материала.

6. Какая зависимость существует между термическим сопротивлением материала какого-либо конструктивного слоя ограждающей конструкции и коэффициентом теплопроводности материала слоя и толщиной конструктивного слоя?

7. Из каких сопротивлений теплопередаче складывается общее сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции?

8. Какое условие должно выполняться при теплотехническом расчете ограждающей конструкции?

9. По какому закону изменяется температура в толще наружной стены?

Лекция 3. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОДНОРОДНЫХ И НЕОДНОРОДНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

3.1. Теплотехнический расчёт однородных ограждающих конструкций

Цель теплотехнического расчёта ограждающих конструкций – определение необходимой ее толщины, исходя из теплотехнических требований, предъявляемых к ограждающим конструкциям.

Строительными нормами установлены три показателя тепловой защиты здания:

а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций зданий;

б) санитарно-гигиенический, включающий температурный перепад между температурами внутреннего воздуха и на поверхности ограждающих конструкций;

в) удельный расход тепловой энергии на отопление здания.

Требования тепловой защиты здания будут выполнены, если в жилых, общественных зданиях и промышленных зданиях будут выполнены требования показателей «а» и «б».

Согласно требованиям норм проектирования [2] сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций следует принимать в соответствии с расчётом, но не менее нормируемых значений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, определяемых исходя из условий энергосбережения R_{reg} , т.е.

$$R_0 \geq R_{reg}.$$

А согласно санитарно-гигиеническим требованиям температурный перепад между температурой воздуха в помещении и температурой на внутренней поверхности ограждающей конструкции не должен превышать нормативного температурного перепада; т.е. должно выполняться условие:

$$\Delta t_0 \leq \Delta t.$$

Нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой на внутренней поверхности ограждающей конструкции определяется по [2, табл. 5] в зависимости от вида здания и

ограждающей конструкции. Расчетный температурный перепад рассчитывается по формуле (2.12).

Нормируемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций зданий R_{reg} определяют по табл. 3.1 в зависимости от назначения здания, вида ограждающих конструкций и величины градусо-суток отопительного периода D_d , °C сут.

Значения R_{reg} для величин D_d отличающихся от табличных, следует определять по формуле

$$R_{reg} = a D_d + b. \quad (3.1)$$

где a , b – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы для соответствующих групп зданий и вида ограждающей конструкции.

Т а б л и ц а 3 . 1

Нормируемые значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Здания и помещения, коэффициенты a и b	Градусо-сутки отопительного периода D_d , °C сут	Нормируемые значения сопротивления теплопередаче R_{reg} , $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$				
		Стен	Покрытий и перекрытий над проездом	Перекрытий чердачных и над подвалами	Окон, дверей, витрин и витражей	Фонарей
1	2	3	4	5	6	7
1. Жилые, лечебно-профилактические, детские учреждения, школы, интернаты, гостиницы и общежития	2000	2,1	3,2	2,8	0,3	0,3
	4000	2,8	4,2	3,7	0,45	0,35
	6000	3,5	5,2	4,6	0,6	0,4
	8000	4,2	6,2	5,5	0,7	0,45
	10000	4,9	7,2	6,4	0,75	0,5
	12000	5,6	8,2	7,3	0,8	0,55
a	–	0,00035	0,0005	0,00045	–	0,000025
b	–	1,4	2,2	1,9	–	0,25
2. Общественные, кроме указанных выше, административные и бытовые, производственные и другие здания с влажным или мокрым режимом	2000	1,8	2,4	2,0	0,3	0,3
	4000	2,4	3,2	2,7	0,4	0,35
	6000	3,0	4,0	3,4	0,6	0,4
	8000	3,6	4,8	4,1	0,7	0,45
	10000	4,2	5,6	4,8	0,7	0,5
	12000	4,8	6,4	5,5	0,8	0,55
a	–	0,0003	0,0004	0,00035	0,0005	0,000025
b	–	1,2	1,6	1,3	0,2	0,25

1	2	3	4	5	6	7
3. Производственные с сухим и нормальным режимами	2000	1,4	2,0	1,4	0,25	0,2
	4000	1,8	2,5	1,8	0,3	0,25
	6000	2,2	3,0	2,2	0,35	0,3
	8000	2,6	3,5	2,6	0,4	0,35
	10000	3,0	4,0	3,0	0,45	0,4
	12000	3,4	4,5	3,4	0,5	0,45
<i>a</i>	-	0,0002	0,00025	0,0002	0,000025	0,000025
<i>b</i>	-	1,0	1,5	1,0	0,2	0,15

Градусо-сутки отопительного периода D_d следует определять по формуле

$$D_d = (t_{\text{int}} - t_{ht})Z_{ht}, \quad (3.2)$$

где t_{ht} , Z_{ht} – средняя температура, °С, и продолжительность отопительного периода в сутках со средней температурой воздуха ≤ 8°С, принимаемые по [1, табл. 1].

3.2. Особенности изменения значений сопротивления теплопередаче углового простенка

При установившихся условиях теплопередачи через однородную ограждающую конструкцию температура в ней изменяется только в одном направлении.

Реальные конструкции часто неоднородны в теплофизическом отношении, поскольку имеют углы, проёмы и стыки различных элементов. Распределение температур на неоднородных участках более сложно, т.к. возможна передача тепла от одного сечения к другому. Тепло распределяется в двух направлениях – X и Y , т.е. температура в углу ниже температуры поверхности участка стены от угла. Такое понижение температуры может вызывать отсырание стен в углах. Предупредить это явление можно путём дополнительного утепления угла (стояк отопления).

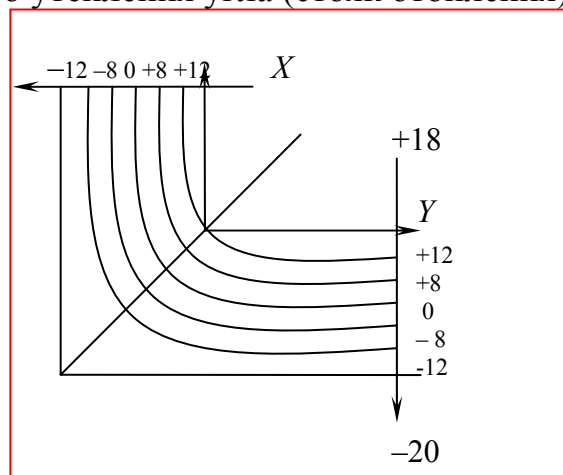


Рис. 3.1. Изолинии сопротивлений теплопередаче в угловом простенке

Причиной понижения температуры на внутренней поверхности наружных углов является:

1) неравенство площадей тепловосприятия и теплоотдачи, вытекающее из геометрической формы угла;

2) понижение температуры на внутренней поверхности имеет место на участках, выполненных из более теплопроводных материалов. Оно допускается в помещениях с нормальной влажностью во избежание конденсации влаги на переохлажденных участках ограждения.

3.3. Приближенный метод расчета неоднородных ограждающих конструкций

ТТР состоит в определении средней величины температурного сопротивления по значениям температурных сопротивлений отдельных участков ограждения.

Поскольку в неоднородной конструкции основное направление теплового потока искривляемое (из-за различной теплопроводности отдельных элементов), приходится определять сопротивление теплопередаче в двух направлениях: 1) в направлении, параллельном основному потоку; 2) в направлении, перпендикулярном этому потоку.

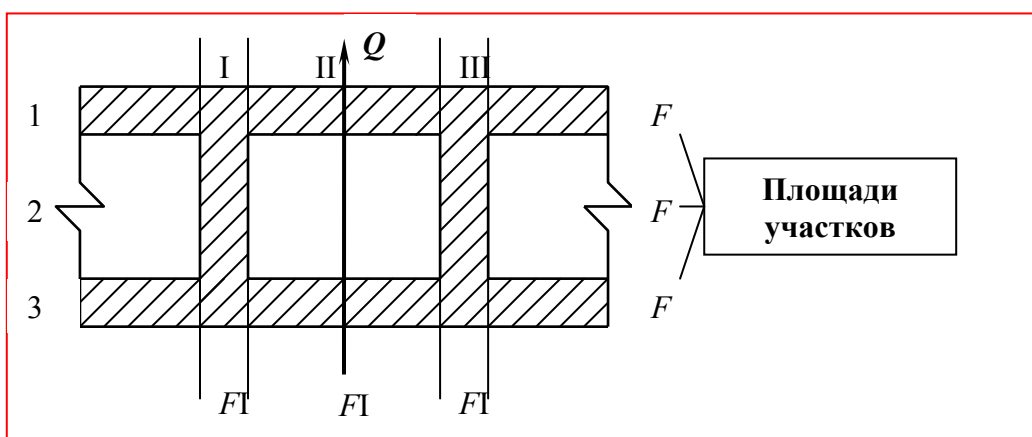


Рис. 3.2. Расчётная схема неоднородной конструкции

Среднее значение термического сопротивления по первоначальному расчёту, т.е. в направлении, параллельном потоку тепла, составит:

$$R_{II} = \frac{F_I + F_{II} + F_{III}}{\frac{F_I}{R_I} + \frac{F_{II}}{R_{II}} + \frac{F_{III}}{R_{III}}}, \quad (3.3)$$

где F_{i-e} – площади участков по поверхности ограждения.

Для второго расчёта ограждающая конструкция плоскостями, перпендикулярными к потоку тепла, «разрезается» на отдельные слои. R_i одно-

родных слоёв равно $R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}$; а для неоднородных слоёв предварительно определяется λ_{cp} по формуле

$$\lambda_{cp} = \frac{\lambda_1 F_1 + \lambda_2 F_2 + \lambda_3 F_3}{F_1 + F_2 + F_3}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ \text{С}}, \quad (3.4)$$

тогда

$$R_{расч} = \frac{R_{II} + R_{\perp}}{2}; \quad (3.5)$$

$$R_0 = R_{si} + R_{расч} + R_{se} > R_{req}.$$

Для ограждений, в которых материал неоднороден как в параллельном, так и в перпендикулярном направлении к тепловому потоку, термическое сопротивление определяет как среднее значение.

Для этого ограждения разделяют сначала плоскостями, параллельными тепловому потоку, и определяют по формуле (3.3):

$$R_{II} = \frac{F_I + F_{II} + F_{III} + \dots}{\frac{F_I}{R_I} + \frac{F_{II}}{R_{II}} + \frac{F_{III}}{R_{III}} + \dots};$$

где $R_{I, II, III}$ – термическое сопротивление слоев;

$F_{I, II, III}$ – площади участков.

Затем плоскостями, перпендикулярными к направлению теплового потока, ограждения разделяют на характерные слои.

$$\text{Действительное } R_0 = \frac{R_{II} + 2R_{\perp}}{3}.$$

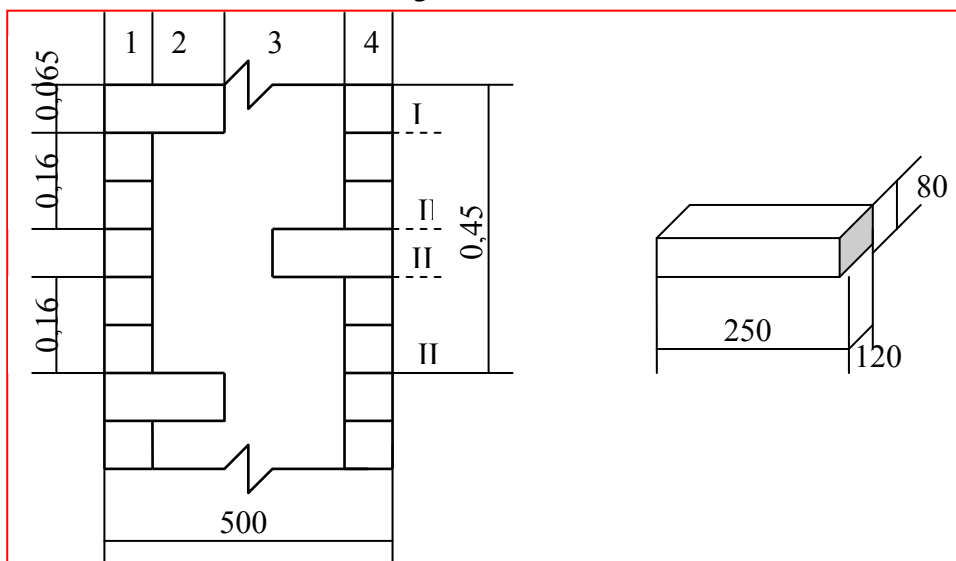


Рис. 3.4. Расчетное поперечное сечение конструкции стены

Описанный метод расчёта неоднородных конструкций достаточен в том случае, если понижение температуры на поверхности более теплопроводных участков конструкции не вызовет конденсации влаги, которая приведёт к увлажнению конструкции и потере необходимых теплозащитных качеств.

3.4. Теплоустойчивость ограждений

При ТТР предполагалось, что тепловой поток, проходящий через ограждение, является стационарным, т.е. его влияние не меняется во времени.

В действительности как наружная, так и внутренняя температуры испытывают колебания в течение суток.

Вследствие таких изменений температуры воздуха к ограждениям необходимо предъявлять дополнительные теплотехнические требования. Эти требования сводятся к тому, чтобы обеспечить минимум колебания температуры на внутренней поверхности ограждения во избежание образования конденсата.

Ограждения, которые обеспечивают меньшее колебание температуры на внутренней поверхности, называют более теплоустойчивыми.

Под теплоустойчивостью понимают свойство материала обеспечивать относительное постоянство температуры на внутренней поверхности при колебании величины теплового потока, проходящего через ограждение.

При проектировании наружных ограждений, возводимых в южных районах, необходимо делать расчёт для летних условий с целью защиты помещения от перегрева. Особенно неблагоприятными в этом отношении являются здания с легкими ограждениями конструкциями, обладающими малой теплоустойчивостью.

Вопросы для самоконтроля по теме «Теплотехнический расчет однородных и неоднородных ограждающих конструкций»

1. Цель выполнения теплотехнического расчета наружной ограждающей конструкции.
2. Условия тепловой защиты здания.
3. От каких параметров зависит величина нормируемого сопротивления теплопередаче наружной ограждающей конструкции?
4. Как определить нормируемое значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, отличное от табличного?
5. Причина понижения температуры на внутренней поверхности наружных углов ограждающей конструкции.
6. Какие мероприятия необходимо предусмотреть во избежание отсырения стен в углах?

7. В чем состоит особенность теплотехнического расчета неоднородных ограждающих конструкций?

8. Что такое теплоустойчивость ограждающих конструкций?

Лекция 4. ОЦЕНКА ВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

4.1. Определение возможности образования конденсата на внутренней поверхности стены

Влажностное состояние ограждающих конструкций влияет на их теплозащитные свойства, поскольку теплопроводность увлажнённых материалов больше, а сопротивление теплопередаче конструкции меньше. От влагосодержания материала зависит долговечность конструкции. Увлажнённая конструкция быстро разрушается от мороза, коррозии, биологических процессов.

Повышенное влагосодержание конструкции в первый период её службы может быть вызвано присутствием «строительной» влаги, а в дальнейшем – увлажнением влагой внутреннего воздуха или атмосферной влагой.

При проектировании конструкции важно правильно оценить её влажностный режим в условиях эксплуатации здания.

В холодный период года температура поверхности наружных ограждающих конструкций, обращенных в отапливаемое помещение, всегда ниже температуры его воздуха. Поэтому необходимо обеспечить на поверхности ограждающих конструкций такую температуру, при которой не будет происходить конденсация влаги.

Температура в наружных углах помещения и на поверхности теплопроводных включений в неоднородных конструкциях ниже, чем на остальных участках ограждений; отсутствие конденсата следует проверять прежде всего на этих наиболее охлажденных элементах конструкций. Расчётами температурных полей установлено, что температура в наружных

углах при R_i стены от 2 до 0,9, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$, понижается на 4–6 °С.

Относительная влажность воздуха в помещении с нормальным влажностным режимом при проверке на конденсацию влаги принимается для гражданских зданий около 50 %.

Если предельно возможная расчетная относительная влажность в помещении будет меньше 50 %, то на поверхности наружной стены возможно образование конденсата.

4.2. Паропроницаемость ограждающих конструкций

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

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

$$e_{\text{int(ext)}} = \frac{\varphi_{\text{в(н)}} \cdot E_{\text{int(ext)}}}{100 \%}. \quad (4.1)$$

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

Способность материала пропускать определенное количество влаги через свою толщину за определенный промежуток времени при единичной разности парциальных давлений на противоположных поверхностях ограждения характеризует коэффициент паропроницаемости.

Коэффициент паропроницаемости μ – это количество влаги в граммах, которое проходит в единицу времени через слой материала площадью 1 м^2 и $\delta = 1 \text{ м}$ при единичной разности парциальных давлений противоположных поверхностей слоя.

Примеры коэффициентов паропроницаемости некоторых материалов:

$$\mu_{\text{руб}} = 0,00018 \text{ г}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{мм рт. ст.})$$

$$\mu_{\text{ут}} = 0,065(0,055) \text{ г}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{мм рт. ст.})$$

$$\mu_{\text{кирп}} = 0,014 \text{ г}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{мм рт. ст.})$$

$$\mu_{\text{раст}} = 0,012 \text{ г}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{мм рт. ст.})$$

При проницании водяного пара через конструкцию слой материала оказывает сопротивление паропроницанию R_n .

$$R_n = \frac{\delta_{i-e}}{\mu_{i-e}}, \quad \frac{\text{мм. рт. ст.} \cdot \text{ч} \cdot \text{м}^2}{\text{г}}. \quad (4.2)$$

Сопротивление паропроницанию конструктивного слоя выражает разность парциальных давлений (в мм рт.ст.) на противоположных поверхностях конструктивного слоя, при которых через 1 м^2 в единицу времени проходит поток пара в один грамм.

Общее сопротивление паропроницанию слоистой ограждающей конструкции равно сумме трех сопротивлений: сопротивления паропроницанию внутренней, наружной поверхностей и сумме сопротивлений паропроницанию конструктивных слоев и определяется по формуле

$$R_{\text{оп}} = R_{\text{вп}} + \sum \frac{\delta_{i-e}}{\mu_{i-e}} + R_{\text{нп}}. \quad (4.3)$$

Величины сопротивлений влагообмену на поверхностях ограждающей конструкции, выполненной из смачиваемых материалов, зависят от относительной влажности воздуха, соприкасающегося с рассматриваемой поверхностью, и устанавливаются по формулам

$$R_{\text{вп}} = k \left(1 - \frac{\varphi_{\text{в}}}{100} \right), \frac{\text{мм рт. ст.} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{ч}}{\Gamma} = \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\Gamma}; \quad (4.4)$$

$$R_{\text{нп}} = k \left(1 - \frac{\varphi_{\text{н}}}{100} \right), \frac{\text{мм рт. ст.} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{ч}}{\Gamma} = \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\Gamma}, \quad (4.5)$$

где k – коэффициент, учитывающий размерность $R_{\text{вп}}$; при размерности (Па·с/Г) $k = 0,134$; при размерности (мм рт.ст.·м²·ч/Г) $k=1$;

$\varphi_{\text{в}}$ – относительная влажность воздуха внутри помещения, зависящая от функционального назначения помещения;

$\varphi_{\text{н}}$ – относительная влажность наружного воздуха, зависящая от района строительства и принимаемая по [1, табл. 1].

4.3. Определение парциального давления помещения в толще ограждений

При диффузии через ограждающую конструкцию парциальное давление водяного пара понижается от парциального давления внутри помещения ℓ_{int} до парциального значения наружного воздуха ℓ_{ext} за счёт общего сопротивления конструкции паропроницанию.

Величины парциальных давлений внутреннего и наружного воздуха определяем по формуле (4.1).

Величина парциального давления ℓ_X в произвольном сечении ограждающей конструкции (на границах слоёв) определяется по формуле

$$\ell_X = \ell_{\text{int}} - \frac{\ell_{\text{int}} - \ell_{\text{ext}}}{R_{\text{оп}}} \left(\sum_{n-1} R_n + R_{\text{вп}} \right), \quad (4.6)$$

где $R_{\text{оп}}$ – сопротивление паропроницанию конструкции в целом;

$R_{\text{вп}}$ – сопротивление влагообмену на внутренней поверхности;

R_n – сопротивление паропроницанию предыдущего конструктивного слоя.

Температура и влажность внутреннего воздуха принимаются при расчётах влажностного состояния конструкций в соответствии с величинами $t_{\text{int}} = 18^{\circ} \text{C}$; $\varphi = 45 - 55 \%$, расчётная температура наружного воздуха $t_{\text{н}}$ принимается равной средней температуре холодного периода в данной местности.

Формула для определения парциальных давлений внутри ограждающей конструкции предполагает отсутствие конденсации внутри ограждений.

Возможность конденсации влаги внутри ограждающей конструкции проверяется следующим графическим методом:

1. Внутри ограждающей конструкции строится линия распределения температур τ . При этом конструкция делится на отдельные слои $\delta_1, \delta_2, \delta_3 \dots$

2. В соответствии со значениями вычисленных температур строится линия величин насыщенного парциального давления водяного пара E или, по-другому, максимальной упругости водяного пара (по табличной зависимости).

3. Вычисляются значения парциальных давлений e_x в характерных сечениях по формуле, и строится линия, выражающая постепенное падение этих давлений водяного пара.

Если внутри конструкции не происходит пересечения линий максимальной упругости E и парциального давления e , то это указывает на невозможность конденсации влаги внутри ограждающей конструкции, поскольку в любой плоскости последней парциальное давление водяного пара ниже насыщенного, при котором возникает процесс конденсации. И, наоборот, при пересечении линий парциальных давлений и максимальной упругости водяного пара внутри ограждающей конструкции возможна конденсация влаги. Зона возможной конденсации располагается между точками E_1 и E_2 пересечения линии максимальной упругости касательными, проведёнными из точек l_{int} и l_{ext} на поверхностях конструкции.

В этом случае, для того чтобы исключить возможность конденсации влаги, необходимо устройство у внутренней поверхности конструкции теплоизоляции, например в виде отделочного слоя из плотных материалов с большим сопротивлением паропроницанию.

При диффузии через однородные ограждения конструкции обычно не происходит конденсации водяного пара. Конденсация влаги в таких конструкциях возможна лишь при повышении влажности воздуха в помещении при очень плотном наружном слое, препятствующем диффузии пара из ограждения в атмосферу.

В слоистых ограждающих конструкциях порядок расположения слоёв из плотных и пористых материалов имеет большое значение для предупреждения конденсации влаги внутри конструкции. Если часть конструкции, обращенная в отапливаемое помещение, выполнена из пористого ма-

териала, а наружная часть – из плотного, то у границы этих материалов может возникать конденсация влаги, особенно при значительной влажности воздуха в помещении. Наоборот, выполнение внутренней части конструкции из плотного материала, обладающего малой паропроницаемостью, а наружной части – из материала более пористого гарантирует ограждение конструкции от конденсации влаги.

Описанный метод расчёта позволяет определить влажностное состояние конструкции в установившейся стадии процесса увлажнения, но не рассматривает течение этого процесса во времени. В умеренном климате в ограждающих конструкциях отапливаемых зданий диффузия возможна только зимой, летом происходит процесс естественной сушки конструкции.

Вопросы для самоконтроля по теме «Оценка влажностного состояния ограждающих конструкций»

1. Для чего необходимо оценивать влажностное состояние ограждающих конструкций?
2. Правила определения конденсата на внутренней поверхности ограждающей конструкции.
3. Почему возникает поток водяного пара через наружную ограждающую конструкцию в зимнее время?
4. Физический смысл коэффициента паропроницаемости материала конструкции.
5. Как вычисляется полное сопротивление паропроницанию слоистой ограждающей конструкции?
6. От чего зависит сопротивление влагообмену внутренней поверхности наружной стены?
7. Как проверить возможность конденсации влаги внутри наружной ограждающей конструкции?
8. Порядок расположения слоев из плотных и пористых материалов наружной стены во избежание конденсации влаги внутри конструкции.

Раздел 2. АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНАЯ АКУСТИКА

Лекция 5. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВУКОВОГО ВОСПРИЯТИЯ В ПОМЕЩЕНИЯХ. АКУСТИКА ПОМЕЩЕНИЙ

5.1. Основные определения, характеристики звука

В жизни мы встречаемся с различными видами колебательных и волновых движений: движение волн на поверхности воды, колебания струны в музыкальном инструменте, распространение радиоволн и т.д.

Звук – разновидность колебательных движений (волн) в воздухе, воде, твердых телах.

Воздух обладает свойством объемной упругости, т.е. сопротивляется сжатию; на свойстве объемной упругости работают автомобильные и велосипедные шины, смягчающие удары при движении.

Подобно всякому телу, воздух обладает массой и инерцией. Сочетание свойств упругости и инерции воздуха приводит к образованию упругих волн, которые возникают при внезапном изменении плотности воздуха.

В воздушной упругой волне частицы колеблются в направлении распространения волны; такие колебания называются продольными.

В природе не существует изолированных колебаний одного тела. Колеблющее тело находится в среде (воздух, вода), обладающей упругими свойствами, поэтому в каждой среде вследствие взаимодействия между частицами колебания передаются прилегающим зонам среды. Этот процесс называется волновым.

Основная характеристика волнового движения – длина волны, т.е. расстояние между двумя точками волны, пребывающими в одной фазе. Другая характеристика – амплитуда волны – расстояние, на которое колеблющаяся частица отклоняется от положения равновесия (рис. 5.1).

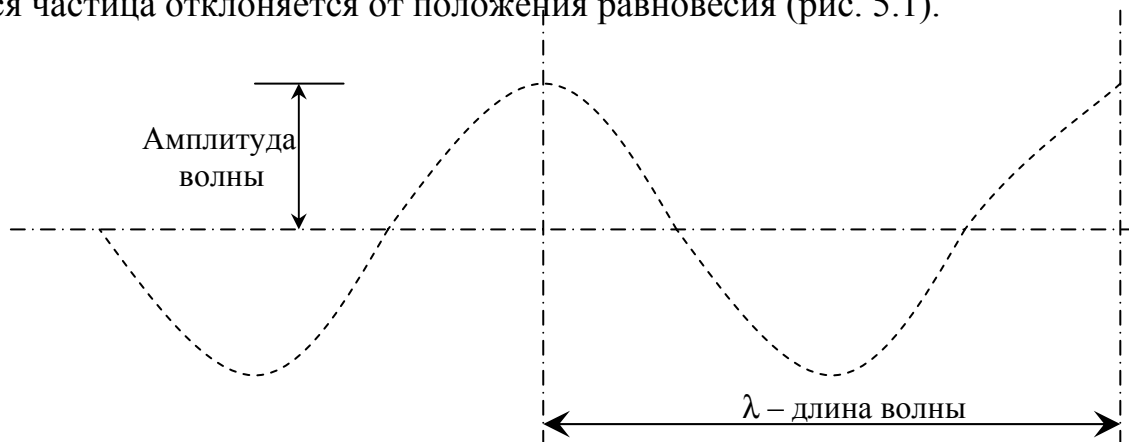


Рис. 5.1. Характеристики волнового движения

Колемблющееся тело (струна музыкального инструмента, голосовые связки певца) непрерывно излучает упругие волны, характеризующиеся последовательными сгущениями и разрежениями воздуха. В результате этих колебаний появляются и распространяются в воздухе, жидкостях и газах, твердых телах звуковые волны. Звуковые волны, подобно всякому волновому движению, характеризуются длиной волны, частотой колебаний и скоростью их распространения. Частота звуковых волн, воспринимаемых нормальным ухом человека, лежит в пределах от 20 до 20000 Гц. Это соответствует длинам волн в воздухе от 17 м до 1,7 см. Звуковые колебания с частотой меньше 20 Гц называют инфразвуком, больше 20000 Гц – ультразвуком.

Звуковые волны распространяются с определенной скоростью. Скорость звука в воздухе определяется по формуле

$$c = \sqrt{1,41 \frac{p}{\rho}}, \quad (5.1);$$

где 1,41 – отношение теплоемкостей воздуха при постоянном давлении c_p и постоянном объеме c_v ;

p – атмосферное давление, Па;

ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Отношение p/ρ зависит от температуры воздуха. Пользуясь значениями p и ρ для воздуха, можно получить зависимость скорости звука от температуры воздуха:

$$c = 20\sqrt{T}, \quad (5.2);$$

где T – абсолютная температура воздуха (при температуре 0 °С $T = 273$).

Пользуясь этой формулой, можно определить, что при $t=0^\circ$ скорость звука равна 331,5 м/с, а при 18°С – 342 м/с.

Надо помнить, что скорость движения отдельных частиц в волне и скорость движения самой волны – понятия разные и их смешивать не стоит.

Для звукового волнового движения существует зависимость

$$\lambda = \frac{c}{f} = cT, \quad (5.3);$$

где λ – длина волны, м;

c – скорость звука, м/с;

f – частота колебаний, Гц;

T – период колебаний.

При наличии в среде нескольких источников звука результирующее колебание в ее любой точке равно сумме колебаний, которые доходят до этой точки.

При наложении звуковых волн в данной точке могут быть два случая:

1) волны приходят в точку в одной фазе. При этом разность хода волн равна целому числу длин волн; в этом случае амплитуда колебания увеличивается;

2) разность хода волн равна нечетному числу полуволен; в этом случае волны уничтожают друг друга.

Явление усиления или уничтожения колебаний в волновом движении называется интерференцией. Она возникает при соблюдении следующих условий:

– при соотношении частот двух источников, равном 1:1; 1:2; 2:3;

– при постоянстве сдвига фаз колебаний.

Такие источники колебаний называют когерентными.

Дифракция звуковых волн характеризуется их способностью при распространении огибать встречающиеся препятствия, заходить в зону тени. Для возникновения явления дифракции размеры встречающихся препятствий должны быть сравнимы с длиной волны или меньше ее.

Звук, подобно свету, оценивается физически (приборами) и физиологически (ощущением).

Физически звук представляет собой волновое колебание упругой среды; физиологически он определяется ощущением, возникающим при воздействии звуковых волн на орган слуха.

Физическое состояние среды в звуковом поле характеризуется звуковым давлением p и колебательной скоростью v .

Звуковое давление – это разность между мгновенным значением полного давления и средним давлением, наблюдаемым в среде при отсутствии звукового поля. Единица измерения звукового давления – Паскаль (Па).

Колебательная скорость частиц среды – мгновенное среднеквадратичное значение скорости движения частиц среды при распространении в ней звуковых волн. Единица измерения – м/с.

Возникшие от источника звуковые волны распространяются от него по всем направлениям со скоростью c , которая зависит от характера среды.

Скорость звука в воздухе при $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$ – 340 м/с. Скорость звука c нельзя смешивать с колебательной скоростью частиц v – переменной величиной, которая зависит от частоты колебания частицы и от величины звукового давления.

Частота колебания частиц связана со скоростью звука c уравнением

$$f = \frac{c}{\lambda}, \quad (5.4)$$

где λ – длина волны.

Зависимость между скоростью распространения волн c и колебательной скоростью v выражается формулой

$$v = \frac{P_{\text{ср}}}{\rho c}, \quad (5.5)$$

где P – среднеквадратичное звуковое давление, Па;

ρ – плотность среды, кг/м³.

Среднеквадратичное звуковое давление в какой-либо точке изменяется во времени, при этом принимаются положительные и отрицательные значения. Поэтому в расчеты вводится среднеквадратичное звуковое давление $P_{\text{ср}}$.

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_{\text{max}}}{\sqrt{2}}. \quad (5.6)$$

Величина звукового давления, сила звука изменяются в очень больших пределах. Учитывая трудности, связанные с использованием абсолютных значений этих величин в технической акустике, принято их оценивать в относительных логарифмических единицах – децибелах.

Уровень звукового давления, выраженный в логарифмической шкале, определяется по формуле

$$L = 20 \lg \frac{P_{\text{ср}}}{P_{0\text{ср}}}, \quad (5.7)$$

где $P_{\text{ср}}$ – измеряемое среднеквадратичное звуковое давление;

$P_{0\text{ср}}$ – среднеквадратичное звуковое давление, принятое за начало отсчета.

Введение уровня звукового давления позволило преобразовать огромный диапазон звукового давления в практически удобный – от 0 до 140 дБ (табл. 5.1).

Т а б л и ц а 5 . 1

Уровни звукового давления, создаваемые разными источниками шума

Источник звука	Уровень звукового давления, дБ	Примечание
Разговор:		
Шепотом	40	На расстоянии 0,3 м 1 м —
Обычный	60	
Громкий	75	
Механический цех	90	
Ткацкий цех	105	
Авиационные двигатели:		
– поршневые	120 – 130	
– реактивные	140 и более	На расстоянии 3м

Излучаемая источником звуковая энергия распределяется по частотам, поэтому при решении акустических задач проектировщику надо знать частотную характеристику звука, показывающую распределение уровней звукового давления по частотам.

Полоса частот характеризуется граничными частотами: f_1 – нижняя и f_2 – верхняя. Полоса, у которой отношение $f_2/f_1 = 2$, называется октавой.

Принятый ряд октавных полос частот составляет в Гц: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000.

5.2. Диффузность звукового поля

Звуковые волны, многократно отражаясь от поверхностей помещения, образуют сложное звуковое поле. Диффузность – равномерность распределения потоков звука.

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

Звуковые волны несут с собой механическую энергию, получаемую ими от источников звука. При встрече с поверхностью звуковые волны частично от нее отражаются, теряя при этом часть энергии. Этот процесс, характеризующийся поглощением поверхностью звуковой энергии, называют звукопоглощением. Способность поверхности поглощать различное количество звуковой энергии зависит от структуры материала и оценивается коэффициентом звукопоглощения α .

Коэффициент звукопоглощения представляет собой отношение энергии, поглощенной поверхностью, к энергии, падающей на нее:

$$\alpha = \frac{E_{\text{погл.}}}{E_{\text{пад}}}. \quad (5.8)$$

Звуковая энергия распределяется по определенной площади поверхности материала с определенным коэффициентом звукопоглощения. Поэтому в помещениях рассчитывают эквивалентную площадь звукопоглощения поверхностями.

Эквивалентной площадью звукопоглощения поверхности A называют произведение площади поверхности S на ее коэффициент звукопоглощения α , т.е.

$$A = \alpha S, \text{ м}^2. \quad (5.9)$$

Звукопоглощение некоторыми из предметов, находящимися в помещениях (стулья, кресла), а также слушателями оценивается непосредственно эквивалентной площадью звукопоглощения A .

5.3. Время реверберации и его расчеты

Область акустики, посвященная изучению звукового поля в помещении и воздействия на его качество архитектурно-строительными методами, называется архитектурной акустикой.

Основной характеристикой акустики при проектировании зрительных залов является реверберационный процесс, количественной оценкой которого служит время реверберации.

После прекращения звучания источника в помещении звук исчезает не мгновенно; звуковые волны, многократно отражаясь от поверхностей стен, потолка, пола и находящихся в помещении предметов, приходят к слушателю. При каждом отражении теряется часть энергии звука; это сопровождается спадом в помещении уровня звукового давления.

Процесс постепенного замирания звука в помещении после прекращения действия источника звучания называют реверберацией.

Количественной оценкой реверберации служит скорость спадания уровня силы звука v_s , дБ/с. Скорость спадания уровня силы звука различна для звуков разной частоты.

Скорость спадания уровня силы звука (ССУСЗ) характеризует гулкость помещения: она бывает большой в помещениях, отделанных материалами с высоким звукопоглощением (заглушенные помещения), и малой – в помещениях, ограниченных поверхностями, обладающими низкими коэффициентами звукопоглощения α .

Вместо ССУСЗ обычно применяют показатель времени реверберации T , т.е. время, в течение которого уровень звукового давления спадает на 60 дБ.

Средний уровень звукового давления в залах составляет 60 дБ. Поэтому удобно ввести понятие стандартного времени реверберации. Время стандартной реверберации можно определить как время, в течение которого уровень звукового давления на частоте 500 Гц уменьшается на 60 дБ.

Полученное У. Сэбиным эмпирическим путем уравнение реверберации имеет вид

$$T = 0,164V/\Sigma\alpha_n S_n, \quad (5.10)$$

где $\Sigma\alpha_n S_n$ – суммарное звукопоглощение (сумма произведений коэффициентов звукопоглощения на соответствующую площадь отделочных материалов, m^2).

Пользование этой формулой дает достаточно точные результаты только в случаях, когда средний коэффициент звукопоглощения

$$\alpha_{cp} = \frac{\sum \alpha_m S_n}{\sum S_n} \leq 0,25 \quad (5.11)$$

и звукопоглощающие материалы равномерно распределяются по поверхностям помещения.

В общем случае расчет времени реверберации T на данной частоте проводится по формуле Эйринга

$$T = 0,163 \frac{V}{S_{\text{общ}} \ln(1 - \alpha_{\text{ср}})}; \quad (5.12)$$

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{A_{\text{общ}}}{S_{\text{общ}}},$$

где $\ln(1 - \alpha_{\text{ср}})$ – функция среднего коэффициента звукопоглощения.

Средний коэффициент звукового поглощения зависит от отделки помещения и α_n материалов, которые обладают способностью различно поглощать звуки разной частоты. Поэтому T зависит от частоты звуковых колебаний.

Расчет T проводится на трех частотах: 125, 500 и 2000 Гц. При расчетах исходят из 70 %-го заполнения от общего числа мест в зале. Эквивалентная площадь звукопоглощения других мест учитывается для пустых кресел.

Сэбин доказал, что для каждого помещения в зависимости от его объема и назначения существует оптимальная средняя скорость затухания звуковых волн, соответствующая времени реверберации.

Для определения $T_{\text{опт}}$ на частоте 500 Гц для помещений разного назначения удобно пользоваться табл. 5.2.

Т а б л и ц а 5 . 2

Оптимальное время реверберации в различных помещениях

	Помещения	$T_{\text{опт}}$ в секундах на частоте 500 Гц, при объемах помещений, м ³										
		1000	2000	3000	4000	5000	6000	8000	10000	12000	14000	15000
1	Концертные залы	1,21	1,33	1,41	1,45	1,49	1,53	1,59	1,64	1,68	1,72	1,74
2	Залы драмтеатров	1,08	1,2	1,27	1,31	1,35	1,38	1,42	1,46	1,5	1,53	1,54
3	Залы кинотеатров	0,86	0,96	1,01	1,05	1,08	1,1	1,14	1,18	1,2	1,22	1,23
4	Конференц-залы и аудитории	0,83	0,86	0,88	0,9	0,92	0,94	0,97	0,99	1,01	1,03	1,04

Рекомендуемые коэффициенты для корректирования оптимального времени реверберации представлены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Частота, Гц	125	250	500	1000	2000
Коэффициент	1,4	1,15	1	1	1

Для расчета времени реверберации зального помещения общую эквивалентную площадь звукопоглощения на частоте определяют по формуле

$$A_{\text{общ}} = \sum \alpha S + \sum A + \alpha_{\text{доб}} S_{\text{общ}}, \quad (5.13)$$

где $\sum A$ – сумма эквивалентного звукопоглощения слушателями и свободными креслами;

$\alpha_{\text{доб}}$ – коэффициент добавочного звукопоглощения; учитывает добавочное звукопоглощение, вызываемое проникновением звуковых волн в различные неплотности. $\alpha_{\text{доб}}$ принимают на частоте 125 Гц – 0,09 (0,04); 500 Гц – 0,05 (0,05); 2000 Гц – 0,05 (0,06).

При проектировании акустики залов рекомендуется применять мягкие и полумягкие кресла. Это уменьшает зависимость времени реверберации в зале от процента заполненных слушателями мест.

Окончательный результат расчета выражается сравнением расчетной кривой реверберации с оптимальной на частотах 125, 500 и 2000 Гц.

Пример: рассчитать время реверберации в зрительном зале размером (20×15×7 м) с числом зрителей $N = 300$ чел.

Эквивалентную площадь звукопоглощения $A_{\text{общ}}$ определяем в табличной форме (табл. 5.4).

Таблица 5.4

Наименование поверхностей и их отделка	Площадь поверхностей S , м ²	Коэффициенты звукопоглощения α на частотах			Эквивалентная площадь звукопоглощения ($\alpha \times S$) на частотах		
		125	500	2000	125	500	2000
1	2	3	4	5	6	7	8
1) стены: две продольные и одна торцевая. Отделка – деревянная обшивка	385	0,1	0,1	0,08	38,5	38,5	30,8
2) сцена							
Экран из ткани с поверхностной массой 0,35 кг/м ²	70	0,04	0,11	0,3	2,8	7,7	21
Занавес плюшевый	35	0,14	0,55	0,7	4,9	19,25	24,5
3) потолок – бетон окрашенный	300	0,01	0,02	0,02	3	6	6

Окончание табл. 5.4

1	2	3	4	5	6	7	8
4) пол в проходах и перед экраном							
а) деревянный	157,5	0,1	0,1	0,06	15,75	15,75	9,45
б) ковер		(0,09)	0,24	0,27			
5) добавочное звукопоглощение	Σ947,5	0,08	0,05	0,06	37,9	47,4	56,8
6) зрители в мягких креслах	210 чел. 70 %	$A_{\text{экв}}$ 0,25	0,4	0,45	52,5	84,0	94,5
7) пустые мягкие кресла	90 шт 30 %	0,15	0,2	0,3	13,5	18	27
$A_{\text{общ}}$				Σ	168,8	236,6	270

Определяем средний коэффициент звукопоглощения на частотах

$$\bar{\alpha}_{\text{ср}}^{125} = \frac{A_{\text{общ}}^{125}}{S_{\text{общ}}} = \frac{168,8}{947,5} = 0,18;$$

$$\bar{\alpha}_{\text{ср}}^{500} = \frac{A_{\text{общ}}^{500}}{S_{\text{общ}}} = \frac{236,6}{947,5} = 0,25;$$

$$\bar{\alpha}_{\text{ср}}^{2000} = \frac{A_{\text{общ}}^{2000}}{S_{\text{общ}}} = \frac{270}{947,5} = 0,28.$$

Рассчитываем время реверберации на частотах:

$$T_{125} = \frac{0,163V}{A_{\text{общ}}} = \frac{0,163 \cdot 2100}{168,8} = 2,03 \text{ с};$$

$$T_{500} = \frac{0,163V}{-\ln(1 - \bar{\alpha}_{\text{ср}}) \cdot S_{\text{общ}}} = 1,25 \text{ с};$$

$$T_{2000} = \frac{0,163 \cdot 2100}{-\ln(1 - 0,28) \cdot 947,5} = 1,1 \text{ с}.$$

По результатам расчета строим график распределения времени реверберации на рассматриваемых частотах и сравниваем с диапазоном нормального звучания. Если расчетная кривая времени реверберации попадет в диапазон нормального звучания, то акустика в данном помещении будет хорошей. Если расчетный график расположится выше оптимального, то звучание слишком громкое, возможно образование эха, что ухудшит звуковое восприятие в данном помещении и, наоборот, при расположении графика ниже диапазона нормального звучания акустика будет в помещении слишком тихой.

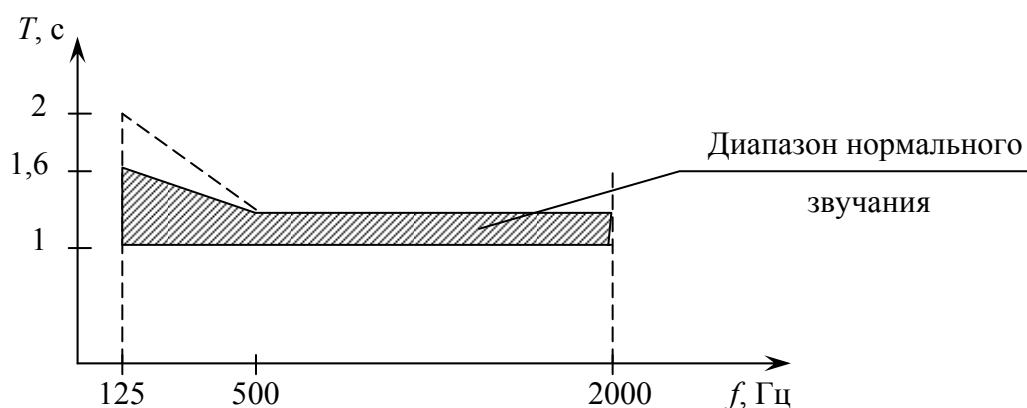


Рис. 5.2. Графики времени реверберации в зрительном зале

Вывод: на частоте 125 Гц звучание в зале звонкое. Для исправления акустических дефектов надо применять материалы с большим коэффициентом звукопоглощения на данной частоте.

5.4. Основы геометрической акустики закрытых помещений

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

По акустическим характеристикам зрительные залы можно разделить на две группы: залы с естественной акустикой и залы, оборудованные электроакустическими системами.

Время реверберации является необходимым, но иногда недостаточным критерием оценки качества звучания. В больших помещениях качество звучания оценивается не только величиной времени реверберации, но и структурой ранних отражений, а это предопределяется формой и пластической отделкой интерьера. Структура ранних отражений оказывает существенное влияние на качество музыки и на разборчивость речи.

Необходимая структура ранних отражений в залах обеспечивается различного вида звукоотражательными экранами, расположенными по пути распространения звуковых волн. От них отраженная звуковая энергия через определенные интервалы времени доходит до зрителя.

Анализ ранних отражений основан на применении способов геометрической акустики. Сущность их связана с понятием фронта звуковой волны и метода звукового луча.

В зале звуковые волны распространяются от источника к ограждающим поверхностям, от которых многократно отражаются. В результате в помещении образуется сложное звуковое поле.

Звуковые лучи отражаются направленно, подобно закону отражения света от зеркальной плоскости, согласно которому: а) угол падения равен углу отражения; б) падающий и отраженный звуковые лучи лежат в одной плоскости, перпендикулярной отражающей поверхности (рис. 5.3).

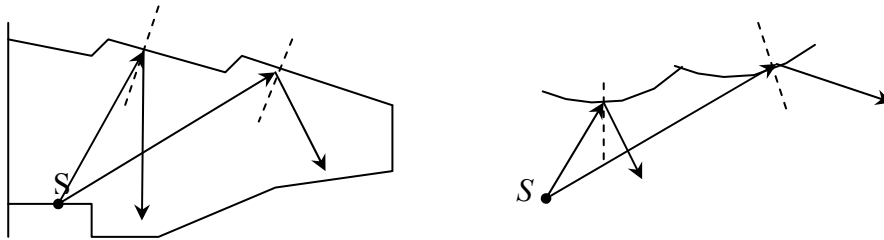


Рис. 5.3. Отражение звуковых лучей от поверхностей потолка

При построении отраженных звуковых лучей от вогнутых поверхностей (сводов, куполов, ниш) отраженные лучи сходятся в точке, образуя так называемый фокус. Устранение этого недостатка при проектировании залов обеспечивается выбором надлежащего радиуса кривизны r , при котором фокус не образуется в зоне расположения мест зрителей.

Место нахождения фокуса при отражателях с разными радиусами кривизны

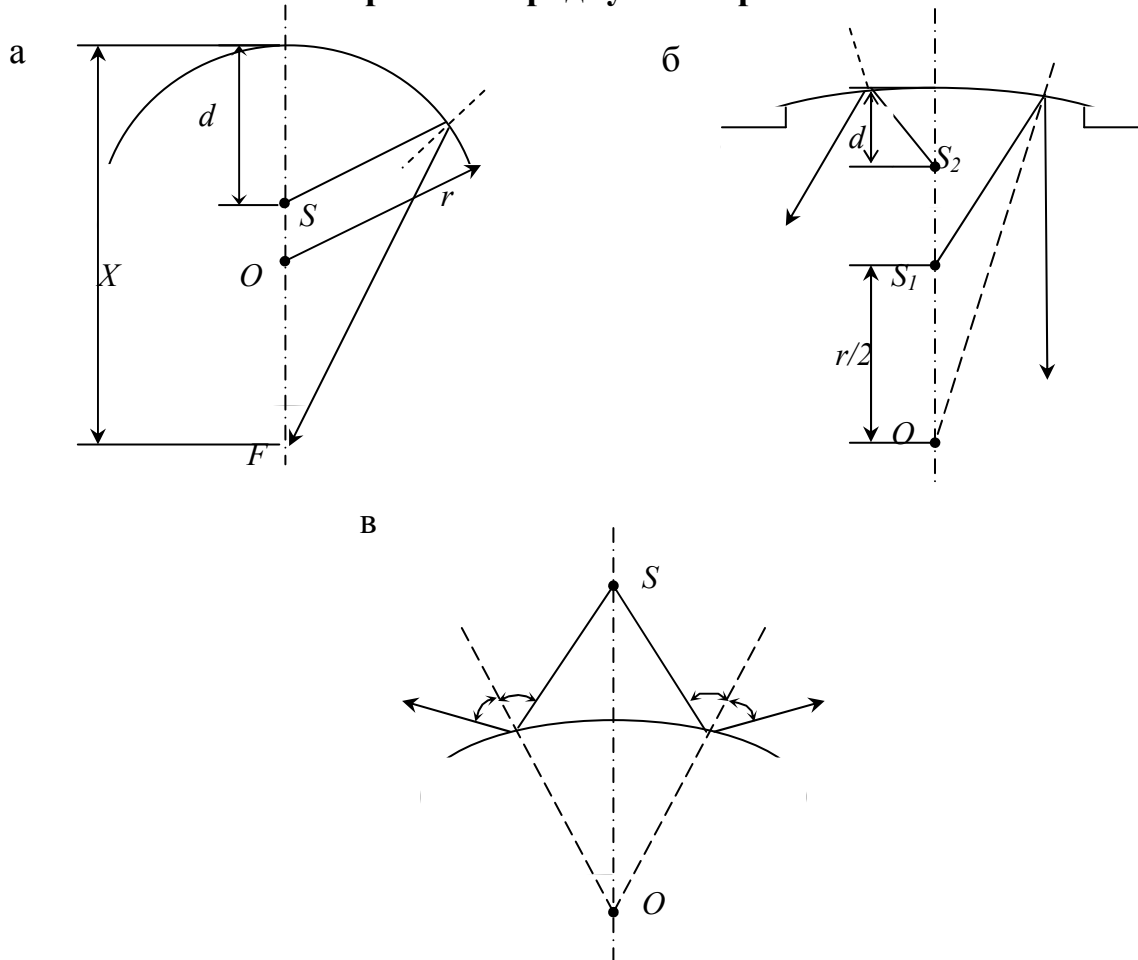


Рис. 5.4. Построение отраженных от различных поверхностей звуковых лучей

а) Источник звука расположен вблизи отражающей поверхности (рис. 5.4, а):

$$X = \frac{dr}{2d - r},$$

где X – расстояние фокуса от вогнутой поверхности;

d – расстояние от источника звука до вогнутой поверхности;

r – радиус кривизны;

б) источник звука S_1 расположен на расстоянии, равном половине радиуса, S_2 – на расстоянии, меньшем половины радиуса (рис. 5.4, б).

Вогнутые поверхности могут служить средством рассеивания звуковых лучей. Это наблюдается при расположении источника звука вблизи отражающей поверхности, а также в случаях (рис. 5.4, в), когда расстояние между отражающей поверхностью и слушателями во много раз превышает радиус кривизны.

Такие условия характерны, например, для старинных соборов. Звукорассеивающий эффект вогнутых поверхностей в виде куполов, сводов наблюдается в случаях, когда их радиус кривизны меньше половины высоты помещения H .

Отражение звуковых лучей от выпуклых криволинейных поверхностей свидетельствует о звукорассеивающих свойствах этого вида отделки стен для помещений, круглых в плане.

Наше ухо может четко различать импульсы прямого и отраженного звуков при интервале по времени их прихода к слушателю. В зависимости от этого интервала звук может усиливаться и улучшается слышимость, или может создаваться эхо и помехи, ухудшающие слышимость.

5.5. Условия возникновения эха в помещении

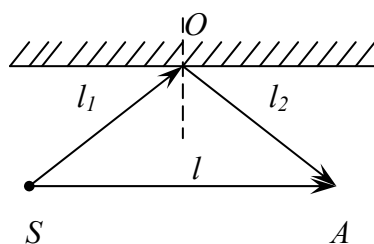


Рис. 5.5. Схема возникновения эха

Зная скорость звука в воздухе (340 м/с), можно определить время запаздывания отраженного луча по сравнению с прямым. Если разница во времени прихода прямого и отраженного звуков составляет 0,05 с и более, то человек различает эти звуки.

Это явление называется эхом. За 0,05 с звук проходит расстояние 17 м.

$$SO + OA \leq D + SA, D = 17 \text{ м (эхо не возникает)}.$$

Для устранения возможности образования эха при проектировании предусматривают следующие меры.

1. Устройство скошенных поверхностей потолка и стен в части зала у эстрады (сцены).

2. Применение подвесных звукоотражающих экранов, расположенных по ходу распространения звуковых волн.

Образование эха от задней стены устраняется в зрительном зале с круто поднимающимся партером и амфитеатром.

Особый вид эха – порхающее эхо – образуется в помещениях с боковыми стенами, отделанными плотными материалами (мрамор).

Равномерное распределение первых отражений звуковых волн наблюдается в залах прямоугольной формы в плане. При ширине зала до 20 м время запаздывания первых отражений обычно составляет 0,05 с.

Для лучшего использования первых отражений целесообразно по бокам эстрады применять скошенные стены, направляющие отражения в средние и заднюю зоны помещений (рис. 5.6).

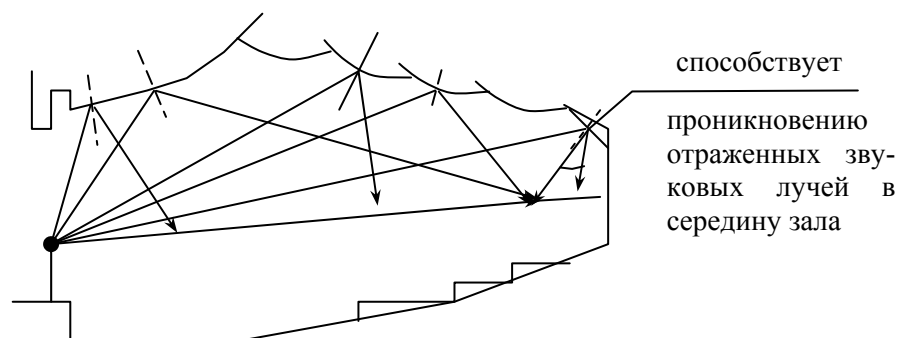


Рис. 5.6. Построение звуковых лучей по профилю зала

Для лучшего рассеивания звуков необходимо, чтобы к слушателю приходило возможно большее число отражений, быстро следующих одно за другим. Применяются архитектурные членения потолка для создания в пространстве зала диффузного звукового поля.

5.6. Разборчивость речи в зале

Критерием акустического качества речи (разборчивости, слышимости) служит слоговая артикуляция.

Процедура испытания состоит в следующем: диктор читает таблицу односложных, не имеющих смысла слогов; слушатели, сидящие в разных точках помещения, записывают слоги так, как слышат и понимают. Про-

цент правильно записанных слушателями слогов определяет слоговую артикуляцию.

Процент слоговой артикуляции удобно определять в зависимости от числа понятных гласных q и согласных M звуков по номограмме. Так, если $q = 0,97$ и $M = 0,91$, то $q \times M = 0,8$.

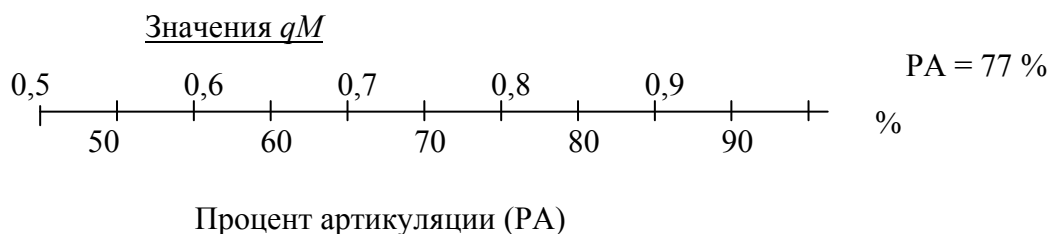


Рис. 5.7. Номограмма слоговой артикуляции

Опытным путем установлена шкала оценки (табл. 5.5).

Т а б л и ц а 5 . 5

Шкала артикуляции

Оценка разборчивости речи	% слоговой артикуляции	% артикуляции слов
Отличная	96 %	
Хорошая	85 %	97
Удовлетворительная	75 %	94
Плохая	65 %	90

Слоговая артикуляция зависит от уровня громкости речи; времени реверберации; уровня шума в окружающем пространстве; формы помещений.

Установлена следующая закономерность качества артикуляции: процент артикуляции речи увеличивается с повышением уровня громкости звука до 70 дБ и значительно уменьшается при нарастании времени реверберации.

Вопросы для самоконтроля по теме «Основные характеристики звукового восприятия в помещениях. Акустика помещений»

1. Что такое звук?
2. Чем характеризуются звуковые волны?
3. Что такое инфразвук и ультразвук?
4. Какая зависимость существует для звукового волнового движения?
5. От чего зависит скорость распространения звука?
6. Какие два случая могут возникать при наложении звуковых волн? Как называется это явление?

7. Что такое уровень звукового давления? Диапазон изменения и единица измерения уровня звукового давления.
8. Что такое частотная характеристика звука? Основной ряд октавных полос.
9. Понятие диффузности звукового поля и звукопоглощения.
10. Из чего складывается общая эквивалентная площадь звукопоглощения?
11. Параметры, определяющие качество акустики залов.
12. Условия образования эха в помещении.
13. Основные приемы геометрической акустики.
14. Как оценить разборчивость речи в помещениях?

Лекция 6. ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ПРОНИКНОВЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ШУМА

6.1. Виды шумов. Уровень шума в помещениях

Многочисленные разновидности шумов, которые воздействуют на человека, находящегося в помещении, можно классифицировать следующим образом:

- а) уличные городские шумы, проявляющиеся обычно в виде монотонного шума, на фоне которого выделяются кратковременные звуки;
- б) бытовые шумы, которые проявляются в виде резких звуков, передающихся по несущим и ограждающим конструкциям здания от всякого рода ударов, громких звуков (радио, музыкальные инструменты, громкая речь);
- в) эксплуатационные шумы – от работающего инженерного оборудования, к которым относятся шумы от машинного отделения лифта, от работы вентилятора, пылесоса, холодильника и другого встроенного инженерного оборудования.

Изоляция от уличных шумов осуществляется главным образом правильной городской планировкой, снижением шумности городского транспорта, усовершенствованием дорожных покрытий, озеленением улиц и только в последнюю очередь звукоизолирующими конструкциями ограждения здания (окна, стены, фундаменты).

Изоляция помещений от внутренних шумов достигается правильной планировкой здания, снижением шумности санитарно-технического и инженерного оборудования, обеспечением нормативной звукоизолирующей способности ограждающих конструкций зданий.

Все вышеперечисленные мероприятия по звукоизоляции должны обеспечить в жилых и служебных помещениях уровень шума, не превышающий допустимого санитарными нормами.

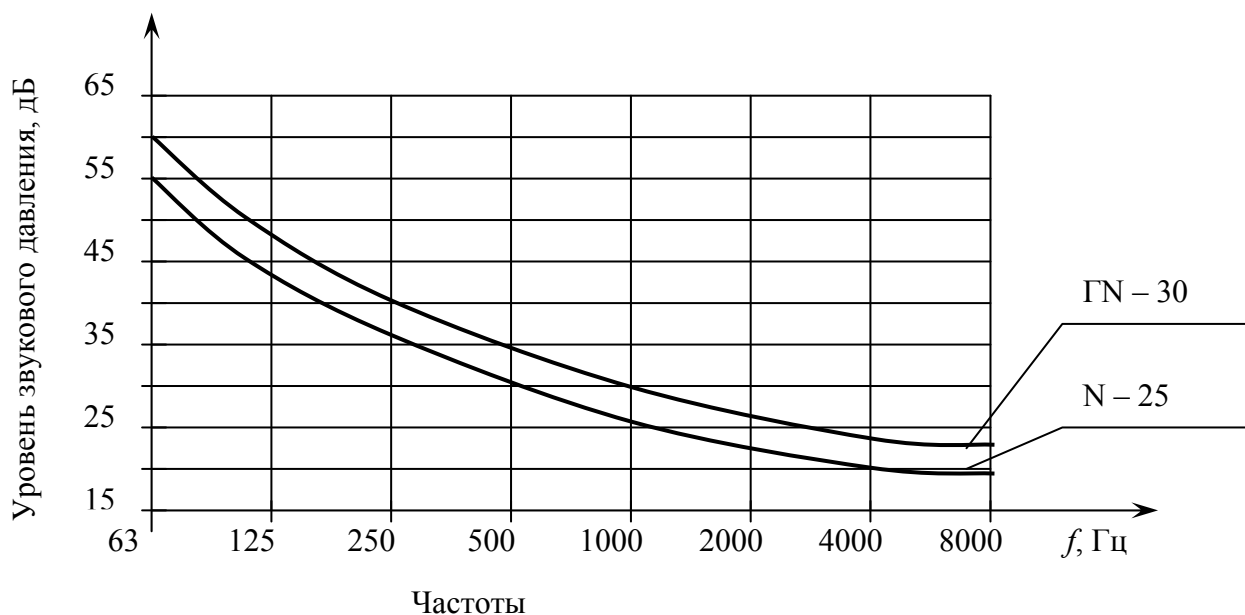


Рис. 6.1. Уровни звукового давления для ночного и дневного времени

В качестве допустимой величины проникающего шума установлены предельные уровни звукового давления в октавных полосах в диапазоне частот от 63 до 8000 Гц, которые характеризуются кривыми “GN”–30 (для дневного времени с 8⁰⁰ до 22⁰⁰) и “N”–25 – для ночного времени (рис. 6.1).

Уровни звукового давления проникающего шума ни в одной октавной полосе не должны превышать предельно допустимые.

Что же такое шум? Это всякий нежелательный звук, вызывающий раздражение. В строительной акустике различают:

1. Воздушный шум – шум, возникающий при излучении звука (человеческого голоса, музыкальных инструментов, машин, радио) в воздушном пространстве, который достигает какого-либо ограждения и вызывает его колебание. Колеблющееся ограждение, в свою очередь, излучает звук в смежное помещение, и таким образом воздушный шум достигает уха человека.

2. Ударный шум – шум, образующийся при падении на пол предметов и при ходьбе человека. Возникающие при этом колебания передаются в воздушный объем нижнего помещения.

3. Структурный шум – шум, возникающий при контакте строительных конструкций с различным вибрирующим оборудованием. Структурный шум распространяется по строительным конструкциям и излучается в помещение на всем пути своего распространения.

Рассмотрим геометрическую модель прохождения звука через ограждение (рис. 6.2).

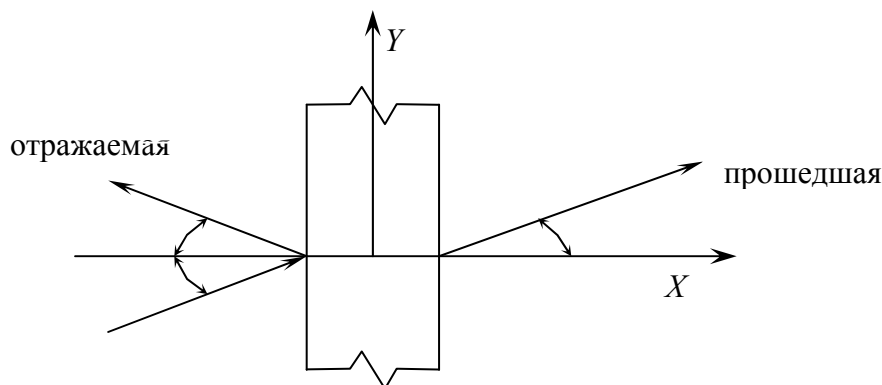


Рис. 6.2. Геометрическая модель прохождения звука через ограждение

Предположим, что на стену падает плоская звуковая волна под произвольным углом Q .

Давление в падающей волне обозначим $P_1(Q)$. Величину давления в отражаемой волне – $P_2(Q)$. Величину давления прошедшей волны – $P_3(Q)$.

Каждая конструкция имеет свой коэффициент звукопроницаемости и собственную звукоизолирующую способность.

Коэффициент звукопроницаемости ограждения при падении на него волны под углом Q есть отношение величины звуковой энергии, прошедшей через ограждение, к величине падающей звуковой энергии:

$$\tau_Q = \left| \frac{P_3(Q)}{P_1(Q)} \right|^2, \quad (6.1)$$

а собственная изоляция составит:

$$R_a = 10 \lg \frac{1}{\tau_Q}, \text{ дБ.} \quad (6.2)$$

Однако на практике на преграду падает не только прямая звуковая волна под определенным углом, но и волны, отражаемые от других поверхностей, т.е. в комнате создается диффузное звуковое поле

$$\tau = \int_0^{90} \tau_Q \sin 2Q dQ. \quad (6.3)$$

Величина собственной изоляции ограждающей конструкции определяется по формуле

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau}, \text{ дБ.} \quad (6.4)$$

При $\tau = 0,01$ $R = 20$ дБ (двери между комнат). Для межквартирных стен $R = 50$ дБ; для $R = 30$ дБ $\tau = 0,001$.

$R = 40$ дБ $\tau = 0,0001$;

$R = 50$ дБ $\tau = 0,00001$.

Поэтому стены, межквартирные перегородки, перекрытия должны обладать нормативной изоляцией от воздушного и ударного шумов.

Т а б л и ц а 6 . 1

Уровни звукового давления некоторых источников шума

Объективная оценка	Наименование источника шума	Уровни звукового давления, дБ
Тихо	Порог слышимости	0–10
	Шелест листвы, шум ветра	10–20
	Шепот на расстоянии 1 см	30–40
	Тихая беседа, музыка	40–50
Шумно	Нормальный разговор	50–60
	Громкий разговор	60–70
Весьма шумно	Громкая музыка	70–80
	Симфонический оркестр	80–90
	Производственные шумы	90–100
Тягостно, дискомфортно	Шум грузового автомобиля ($V = 50$ км/ч) на расстоянии $l = 7$ м.	90–110
	Шум при работе вибраторов	110–120
	Шум от реактивного двигателя	130–140

Звукоизоляция ограждающих конструкций определяется обычно экспериментальным путем с помощью акустического тракта и сравнения полученных данных с нормативными кривыми.

6.2. Методики определения звукоизоляции ограждающих конструкций от проникновения воздушного шума

Мерой оценки изоляции воздушного шума служит показатель изоляции воздушного шума, называемый индексом изоляции воздушного шума R_w , дБ.

Методика по определению индекса изоляции воздушного шума ограждающей конструкции с известной частотной характеристикой

Индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ, ограждающей конструкцией с известной (рассчитанной или измеренной) частотной характеристикой изоляции воздушного шума определяется путем сопоставления этой час-

тотной характеристики с оценочной кривой, установленной стандартом 717 Международной организации по стандартизации (ИСО) (табл. 6.2).

Т а б л и ц а 6 . 2

Средняя частота третьоктавной полосы, Гц	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Изоляция воздушно-го шума R_w , дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56

Для определения индекса изоляции воздушного шума R_w необходимо на график с оценочной кривой нанести известную частотную характеристику изоляции воздушного шума и определить сумму неблагоприятных отклонений нанесенной частотной характеристики от оценочной кривой. Неблагоприятными считаются отклонения вниз от оценочной кривой.

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

Если сумма неблагоприятных отклонений превышает 32 дБ, оценочная кривая смещается вниз на целое число децибел так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений не превышала указанную величину.

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

За величину индекса R_w принимается ордината смещенной (вверх или вниз) оценочной кривой в третьоктавной полосе на частоте 500 Гц.

Методика по определению индекса изоляции воздушного шума однородной массивной ограждающей конструкции с неизвестной частотной характеристикой

Частотную характеристику изоляции воздушного шума акустически однородной (однослойной) плоской ограждающей конструкцией сплошного сечения с поверхностной плотностью от 100 до 1000 кг/м² из бетона, железобетона, кирпича и тому подобных материалов следует определять, изображая ее в виде ломаной линии, аналогичной линии *ABCD* на рис. 6.3.

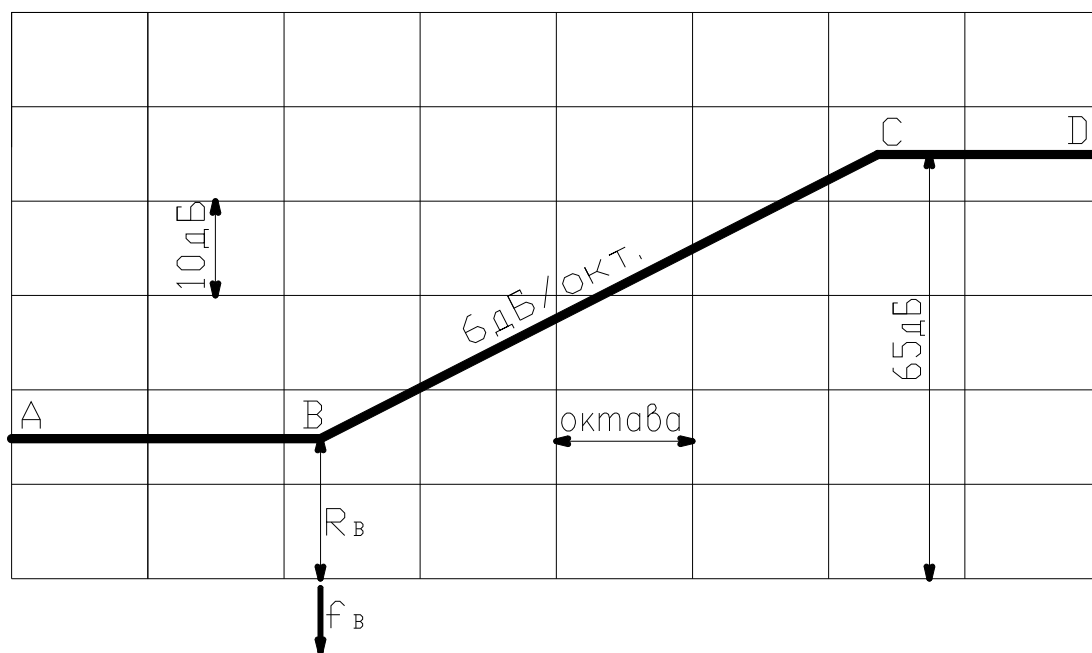


Рис. 6.3. Частотная характеристика изоляции воздушного шума однослойным плоским ограждением

Абсциссу точки $B - f_в$ – следует определять по табл. 6.3 в зависимости от толщины и плотности материала конструкции. Значение $f_в$ следует округлять до среднегеометрической частоты третьоктавной полосы частот, в пределах которой находится $f_в$. Границы третьоктавных полос приведены в табл. 6.4.

Ординату точки $B - R_в$ – следует определять в зависимости от эквивалентной поверхностной плотности m_3 по формуле

$$R_в = 20 \lg m_3 - 12, \text{ дБ}, \quad (6.5)$$

где $m_3 = K \cdot m$.

Здесь m – поверхностная плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^2$;

K – коэффициент, корректирующий жесткость материала по сравнению с железобетоном (значения принимать по табл. 6.5).

Таблица 6.3

Плотность бетона γ , $\text{кг}/\text{м}^3$	$f_в$, Гц
1	2
≥ 1800	$28500/h$
1700	$29500/h$
1600	$30500/h$
1500	$31500/h$
1400	$32500/h$

Окончание табл. 6.3

1	2
1300	33500/ <i>h</i>
1200	34500/ <i>h</i>
1100	35500/ <i>h</i>
1000	36500/ <i>h</i>
800	38500/ <i>h</i>
600	39500/ <i>h</i>

Примечания:

1. *h* – толщина ограждения, мм.
2. Для промежуточных значений плотности бетона частота f_g определяется интерполяцией.

Таблица 6.4

Среднегеометрическая частота 1/3-октавной полосы, Гц	Границы 1/3-октавной полосы, Гц
50	45–56
63	57–70
80	71–80
100	89–111
125	112–140
160	141–176
200	177–222
250	223–280
315	281–353
400	354–445
500	446–561
630	562–707
800	708–890
1000	891–1122
1250	1123–1414
1600	1415–1782
2000	1783–2244
2500	2245–2828
3150	2829–3563
4000	3564–4489
5000	4490–5657

Для сплошных ограждающих конструкций из бетона на легких заполнителях коэффициент *K* определяется по табл. 6.5.

Таблица 6.5

Вид материала	Марка	Плотность	K
1	2	3	4
Керамзитобетон	М-100	1500–1550	1,1
		1300–1450	1,2
		1200	1,3
		1100	1,4
	М150-200	1700–1750	1,1
		1500–1650	1,2
		1350–1450	1,3
		1250	1,4
Перлитобетон	М-100	1300	1,3
		1100–1200	1,4
		950–1000	1,5
Аглопоритобетон	М-100	1550–1650	1,1
		1300–1500	1,3
	М-150	1500–1800	1,2
Шлакопемзобетон	М-100	1600–1700	1,2
	М-150	1700–1800	1,2
Бетон на вулканическом шлаке, пемзе, туфе	М-100	1500–1650	1,2
		1300–1400	1,3
	М-150	1600–1800	1,1
		1500	1,2
	М-200	1700	1,2
Газобетон, пенобетон, газосиликат	М-70	1000	1,5
		800	1,6
		600	1,7
Кладка из кирпича, пустотелых керами- ческих блоков		1500–1600	1,1
		1200–1400	1,2
Гипс, гипс поризованный, гипс с легкими заполнителями	М-80	1200	1,3
	М-100	1000	1,4

Для ограждающих конструкций из легких бетонов с круглыми пустотами коэффициент K вычисляется как произведение коэффициентов, определенных отдельно для сплошных конструкций из легких бетонов и конструкций с круглыми пустотами.

Значение R_g следует округлять до 0,5 дБ.

Построение частотной характеристики производится в следующей последовательности: из точки B влево проводится горизонтальный отрезок BA , а вправо от точки B проводится отрезок BC с наклоном 6 дБ на октаву до точки C с ординатой $R_c = 65$ дБ, из точки C вправо проводится горизонтальный отрезок CD . Если точка C лежит за пределами нормируемого диапазона частот ($f_c > 3150$ Гц), отрезок CD отсутствует.

Построение частотной характеристика изоляции воздушного шума однослойной плоской ограждающей конструкцией

Частотную характеристику изоляции воздушного шума однослойной плоской тонкой ограждающей конструкцией из металла, стекла, асбоцементного листа, гипсокартонных листов (сухой гипсовой штукатурки) и тому подобных материалов следует определять графическим способом, изображая ее в виде ломаной линии, аналогичной линии *ABCD* на рис. 6.4.

Координаты точек *B* и *C* следует определять по табл. 6.6, при этом значения f_b и f_c округляются до ближайшей среднегеометрической частоты 1/3-октавной полосы. Наклон участка *AB* (рис. 6.4) следует принимать 4,5 дБ на октаву, участка *CD* – 7,5 дБ на октаву.

Т а б л и ц а 6 . 6 .

Материалы	Плотность, кг/м ³	f_b , Гц	f_c , Гц	R_b , дБ	R_c , дБ
1. Сталь	7800	6000/ <i>h</i>	12000/ <i>h</i>	40	32
2. Алюминиевые сплавы	2500-2700	6000/ <i>h</i>	12000/ <i>h</i>	32	22
3. Стекло силикатное	2500	6000/ <i>h</i>	12000/ <i>h</i>	35	29
4. Стекло органическое	1200	17000/ <i>h</i>	34000/ <i>h</i>	37	30
5. Асбоцементные листы	2100	9000/ <i>h</i>	18000/ <i>h</i>	35	29
	1800	9000/ <i>h</i>	18000/ <i>h</i>	34	28
	1600	10000/ <i>h</i>	20000/ <i>h</i>	34	28
6. Гипсокартонные листы (сухая гипсовая штукатурка)	1100	19000/ <i>h</i>	38000/ <i>h</i>	36	30
	850	19000/ <i>h</i>	38000/ <i>h</i>	34	28
7. Древесно-стружечная плита (ДСП)	850	13000/ <i>h</i>	26000/ <i>h</i>	32	27
	650	13500/ <i>h</i>	27000/ <i>h</i>	30,5	26
8. Твердая древесно-волоконистая плита (ДВП)	1100	19000/ <i>h</i>	38000/ <i>h</i>	35	29

П р и м е ч а н и е . *h* – толщина в мм.

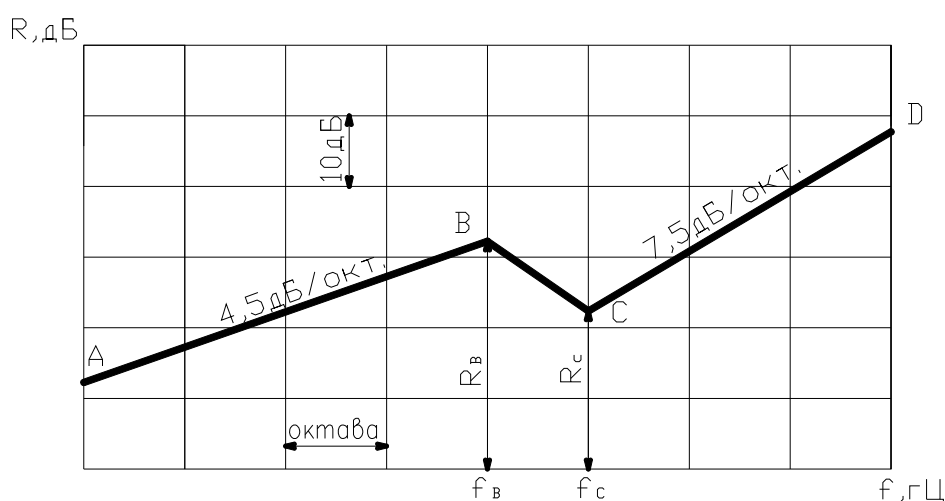


Рис. 6.4. Частотная характеристика изоляции воздушного шума однослойным плоским тонким ограждением

Индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ, междуэтажным перекрытием со звукоизоляционным слоем следует определять по табл. 6.7 в зависимости от величины индекса изоляции воздушного шума несущей плитой перекрытия R_{wo} , определенного по формуле (6.10), и частоты резонанса конструкции f_p , Гц, определяемой по формуле

$$f_p = 0,16 \sqrt{\frac{E_d (m_1 + m_2)}{d m_1 m_2}}, \text{ Гц}, \quad (6.8)$$

где E_d – динамический модуль упругости материала звукоизоляционного слоя, Па, принимаемый по табл. 6.8;

m_1 – поверхностная плотность плиты перекрытия кг/м^2 ;

m_2 – поверхностная плотность конструкции пола выше звукоизоляционного слоя (без звукоизоляционного слоя), кг/м^2 ;

d – толщина звукоизоляционного слоя в обжатом состоянии, м, определяемая по формуле

$$d = d_0(1 - \varepsilon), \quad (6.9)$$

где d_0 – толщина звукоизоляционного слоя в необжатом состоянии, м;

ε – относительное сжатие материала звукоизоляционного слоя под нагрузкой, принимаемое по табл. 6.8.

Для плит из тяжелого бетона с круглыми пустотами

$$R_{wo} = 23 \lg m + 13,3 \lg h/h_{np} - 8, \text{ дБ}, \quad (6.10)$$

где h – толщина плиты, м;

h_{np} – приведенная толщина плиты, м.

Т а б л и ц а 6 . 7

Конструкция пола	f_p , Гц	Индекс изоляции воздушного шума перекрытием R_w , дБ, при индексе изоляции воздушного шума несущей плитой перекрытия R_{wo} , дБ				
		43	46	49	52	55
1	2	3	4	5	6	7
1. Деревянные полы по лагам, уложенным на звукоизоляционный слой в виде ленточных прокладок с $E_d=5 \cdot 10^5 - 12 \cdot 10^5$ Па при расстоянии между полом и несущей плитой 60–70 мм	160	53	54	55	56	57
	200	50	52	53	54	56
	250	49	51	52	53	55
	320	48	49	51	53	55
	400	47	48	50	52	55
	500	46	48	50	52	55
2. Покрытие пола на монолитной стяжке или сборных плитах с $m = 60 \dots 120$ кг/м^2 по ЗИ слою с $E_d=3 \cdot 10^5 - 10 \cdot 10^5$ Па толщиной 20–25 мм в обжатом состоянии*	100	52	53	54	55	56
	125	51	52	53	54	55
	160	50	51	53	54	55
	200	47	49	51	53	55

Окончание табл. 6.7

1	2	3	4	5	6	7
3. То же по ЗИ слою из песка или шлака с $E_d=8 \cdot 10^6-13 \cdot 10^6$ Па толщиной 50–60 мм**	200	52	53	54	55	56
	250	50	52	53	54	55
	320	49	51	52	54	55
	400	48	50	51	53	55
	500	47	49	51	53	55

Примечания:

* При увеличении толщины прокладки до 40 мм (в обжатом состоянии) к величине R прибавлять 1 дБ.

** При увеличении толщины засыпки до 90–100 мм к величине R_w прибавлять 1 дБ.

Таблица 6.8

Материалы	Плотность, кг/м ³	Динамический модуль упругости E_d , Па, и относительное сжатие ϵ_d материала звукоизоляционного слоя при нагрузке на звукоизоляционный слой, Па					
		2000		5000		10000	
		E_d	ϵ_d	E_d	ϵ_d	E_d	ϵ_d
1. Плиты минераловатные на синтетическом связующем полужесткие, жесткие	70–90	$3,6 \cdot 10^5$	0,5	$4,5 \cdot 10^5$	0,55	$5,6 \cdot 10^5$	0,7
	95–100	$4,0 \cdot 10^5$	0,5	$5,0 \cdot 10^5$	0,55	$6,0 \cdot 10^5$	0,65
	110–125	$4,5 \cdot 10^5$	0,5	$5,5 \cdot 10^5$	0,5	$7,0 \cdot 10^5$	0,6
	130–150	$5,0 \cdot 10^5$	0,4	$6,0 \cdot 10^5$	0,45	$8,0 \cdot 10^5$	0,55
2. Маты минераловатные прошивные по ТУ 21-24-51-73	75–125	$4,0 \cdot 10^5$	0,65	$5,0 \cdot 10^5$	0,7	–	–
	126–175	$5,0 \cdot 10^5$	0,5	$6,5 \cdot 10^5$	0,55	–	–
3. Пенополиэтиленовый материал «Вилатерм»		$2,7 \cdot 10^5$	0,03	$3,6 \cdot 10^5$	0,15	$4,2 \cdot 10^5$	0,25
4. Плиты древесноволокнистые мягкие по ГОСТ 4598–74*	250	$10 \cdot 10^5$	0,1	$11 \cdot 10^5$	0,1	$12 \cdot 10^5$	0,15
5. Шлак крупностью до 15 мм	500–800	$80 \cdot 10^5$	0,08	$90 \cdot 10^5$	0,09	–	–
6. Песок прокаленный	1300–1500	$120 \cdot 10^5$	0,03	$130 \cdot 10^5$	0,04	–	–

**Вопросы для самоконтроля по теме
«Звукоизоляция ограждающих конструкций
от проникновения воздушного шума»**

1. Виды шумов, различаемых в строительной физике.
2. Чем характеризуется воздушный шум в помещении?
3. Чем характеризуется ударный шум в помещении?
4. Допустимые уровни шума в помещениях гражданских зданий.
5. Физический смысл коэффициента звукопроницаемости ограждающей конструкции.

6. Как определить величину собственной изоляции ограждающей конструкции от проникновения шума?

7. Мера оценки изоляции воздушного шума ограждающей конструкции.

8. Как определить индекс изоляции воздушного шума ограждающей конструкции с известной частотной характеристикой?

9. Где располагается зона неблагоприятных отклонений изоляции воздушного шума?

10. Как построить частотную характеристику однородной массивной ограждающей конструкции?

11. Как построить частотную характеристику однородной тонкой ограждающей конструкции?

12. Как определить индекс изоляции воздушного шума междуэтажным перекрытием с полами на звукоизоляционном слое?

Лекция 7. ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ПРОНИКНОВЕНИЯ УДАРНОГО ШУМА

7.1. Экспериментальный способ оценки звукоизоляции междуэтажного перекрытия от проникновения ударного шума

Ударный шум возникает от падающих предметов; проникающий уровень шума зависит от конструкции и материалов междуэтажного перекрытия. Конструкции перекрытия бывают однослойными и многослойными. Однослойные не обладают достаточной изоляцией от ударного шума.

Ударный шум под перекрытием характеризуется приведенным уровнем ударного шума.

$$L_{\text{уд.прив}} = L_{\text{уд}} - 10 \lg \frac{A_0}{A}, \text{ дБ}, \quad (7.1)$$

где $L_{\text{уд}}$ – суммарный уровень шума под перекрытием при работе на нем стандартной ударной машинки;

A_0 – стандартная эквивалентная площадь звукопоглощения;

A – эквивалентная площадь звукопоглощения в помещении.

Так как реальные данные определить сложно, то испытания проводят на моделях (рис. 7.1).

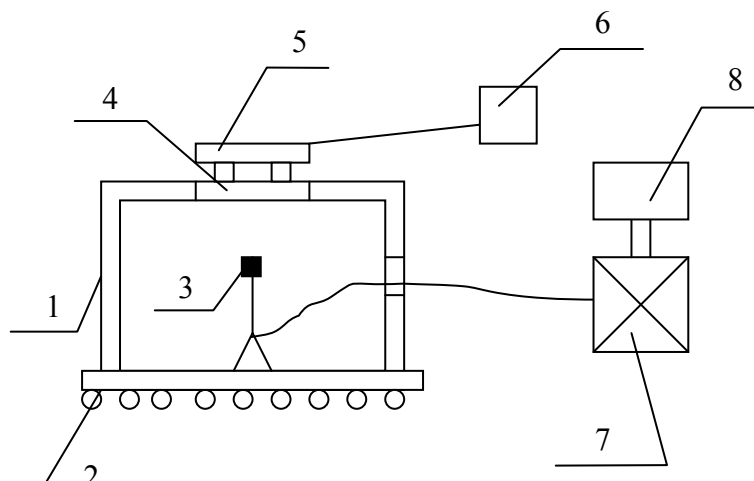


Рис. 7.1. Экспериментальная установка для определения уровня изоляции ударного шума: 1 – камера низкого уровня; 2 – амортизаторы; 3 – микрофон; 4 – плита перекрытия; 5 – топальная машинка; 6 – мотор; 7 – шумомер; 8 – активный анализатор

Стандартная ударная машинка имеет 5 молотков массой 0,5 кг, которые падают с высоты 4 см с частотой 10 ударов в секунду. Полученные данные наносят на нормативную кривую и сравнивают.

При моделировании должны выполняться следующие условия:

- 1) масштаб моделирования 1:5;
- 2) звуковые частоты при испытаниях на моделях в 5 раз больше, чем у оригинала;
- 3) частота собственных колебаний модели в 5 раз больше, чем у оригинала;
- 4) процент армирования, как у оригинала;
- 5) крупность заполнителя бетонной смеси 3;
- 6) толщина модели в 5 раз меньше, чем у оригинала.

7.2. Методика определения звукоизоляции междуэтажных перекрытий от проникновения ударного шума с известной частотной характеристикой

Индекс приведенного уровня ударного шума L_{nw} , дБ, под перекрытием с известной частотной характеристикой приведенного уровня ударного шума определяется путем сопоставления этой частотной характеристики с оценочной кривой, установленной стандартом 717 Международной организации по стандартизации (ИСО) (табл. 7.1).

Для вычисления индекса L_{nw} необходимо на график с оценочной кривой нанести частотную характеристику приведенного уровня ударного шума под перекрытием и определить сумму неблагоприятных отклонений

нанесенной частотной характеристики от оценочной кривой. Неблагоприятными считаются отклонения вверх от оценочной кривой. Если сумма неблагоприятных отклонений максимально приближается к 32 дБ, но не превышает эту величину, величина индекса L_{nw} составляет 60 дБ.

Если сумма неблагоприятных отклонений превышает 32 дБ, оценочная кривая смещается вверх (на целое число децибел) так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений от смещенной кривой не превышала указанную величину.

Т а б л и ц а 7 . 1

Оценочная кривая ударного шума

Средняя частота третьоктавной полосы, Гц	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Приведенный уровень ударного шума L_n , дБ	62	62	62	62	62	62	61	60	59	58	57	54	51	48	45	42

Если сумма неблагоприятных отклонений значительно меньше 32 дБ или неблагоприятные отклонения отсутствуют, оценочная кривая смещается вниз (на целое число децибел) так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений от смещенной кривой максимально приближалась к 32 дБ, но не превышала эту величину.

За величину индекса L_{nw} принимается ордината смещенной (вверх или вниз) оценочной кривой на частоте 500 Гц.

7.3. Определение звукоизоляции перекрытия с полами на упругом основании

Рассмотрим звукоизоляцию перекрытиями с полами на упругом основании и с полами из рулонных материалов. К первому типу перекрытий следует отнести конструкции со сплошным упругим слоем между полом и несущей плитой, а также конструкции с полом на лагах и упругих прокладках.

Расчет сводится к определению индекса приведенного уровня ударного шума. Индекс приведенного уровня ударного шума L_{nw} под междуэтажным перекрытием с полом на звукоизоляционном слое следует определять по

табл. 7.1 в зависимости от величины индекса приведенного уровня ударного шума для плиты перекрытия L_{nwo} , определенной по табл. 7.2, и частоты колебаний пола, лежащего на звукоизоляционном слое f_o , определяемой по формуле

$$f_o = 0,16 \sqrt{\frac{E_d}{dm_2}}, \text{ Гц}, \quad (7.2)$$

где E_d – динамический модуль упругости звукоизоляционного слоя, Па, принимаемый по табл. 6.8;

d – толщина звукоизоляционного слоя в обжатом состоянии, м;

m_2 – поверхностная плотность пола (без звукоизоляционного слоя), кг/м².

Толщина звукоизоляционного слоя в обжатом состоянии h_3 , м, определяется по формуле

$$h_3 = h_0 - (1 - \varepsilon_d);$$

где h_0 – толщина звукоизоляционного слоя в необжатом состоянии, м;

ε_d – относительное сжатие материала звукоизоляционного слоя под нагрузкой, принимаемое по табл. 6.8.

Т а б л и ц а 7. 1

Конструкция пола	f_o , Гц	Индексы приведенного уровня ударного шума под перекрытием L_{nw} при индексе для несущей плиты перекрытия L_{nwo}					
		86	84	82	80	78	76
		3	4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Деревянные полы по лагам, уложенным на ЗИ слой в виде ленточных прокладок с $E_d=5 \cdot 10^5 - 12 \cdot 10^5$ Па при расстоянии между полом и несущей плитой 60–70 мм	160	59	58	56	55	54	54
	200	61	60	58	57	55	54
	250	62	61	59	58	56	55
	315	64	62	60	59	57	56
2. Покрытие пола на монолитной стяжке или сборных плитах с $m=60$ кг/м ² по ЗИ слою с $E_d=3 \cdot 10^5 - 10 \cdot 10^5$ Па	60	61	58	56	54	51	49
	80	62	59	57	56	53	52
	100	63	60	58	57	56	55
	125	66	63	61	59	58	57
	160	68	65	63	61	60	58
3. То же по ЗИ слою из песка или шлака с $E_d=8 \cdot 10^6 - 13 \cdot 10^6$ Па	200	70	68	66	64	62	60
	160	62	60	58	57	55	54
	200	65	63	61	59	58	57
	250	67	65	63	61	60	59
	315	71	69	67	66	64	63

Окончание табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8
4. Покрытие пола на монолитной стяжке или сборных плитах $m=120$ кг/м ² по ЗИ слою с $E_d=3 \cdot 10^5-10 \cdot 10^5$ Па	60	59	56	54	52	50	48
	80	61	58	56	54	52	50
	100	63	60	58	57	55	53
	125	65	62	60	58	56	54
	160	67	64	62	60	58	56
	200	68	65	64	62	60	58
5. То же по ЗИ слою из песка или шлака с $E_d=8 \cdot 10^6-13 \cdot 10^6$ Па	160	61	58	56	55	53	52
	200	63	60	58	57	55	54
	250	65	63	61	59	58	57
	315	69	67	65	64	62	61

Примечание. При значении поверхностной плотности стяжки (сборных плит) от 60 до 120 кг/м² индексы определять по интерполяции, округляя до целого числа дБ.

Таблица 7.2

Перекрытие	Поверхностная плотность плиты перекрытия, кг/м ²	Значения L_{nwo} , дБ
Со сплошными плитами	150	86
	200	84
	250	82
	300	80
	350	78
	450	76

Индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ, междуэтажным перекрытием без звукоизоляционного слоя с полом из рулонных материалов следует определять по изложенной ранее методике, принимая при этом величину m равной поверхностной плотности плиты перекрытий (без рулонного пола).

Если в качестве покрытия чистого пола принят поливинилхлоридный линолеум на волокнистой теплозвукоизоляционной подоснове (ГОСТ 18108–80), то рассчитанную величину индекса изоляции воздушного шума междуэтажным перекрытием следует уменьшать на 1 дБ.

Индекс приведенного уровня ударного шума L_{nw} , дБ, под перекрытием без звукоизоляционного слоя с полом из рулонных материалов следует определять по формуле

$$L_{nw} = L_{nwo} - \Delta L_{nw}, \quad (7.3)$$

где L_{nwo} – индекс приведенного уровня ударного шума для плиты перекрытия, дБ, принимаемый по табл. 7.2;

ΔL_{nw} – индекс снижения приведенного уровня ударного шума, дБ, принимаемый в соответствии с паспортными данными на рулонный материал.

Величины ΔL_{nw} для рулонных материалов покрытий полов принимаются по данным сертификационных испытаний образцов этих материалов или по табл. 7.3.

Таблица 7.3

Покрытие пола	Толщина, мм	ΔL_{nw}
1. Теплоизоляционный поливинилхлоридный линолеум на основе из лубяных волокон	5,5	22
2. То же	3,5	16
3. Поливинилхлоридный линолеум с подосновой из нитрона	3,6	19
4. То же	5,1	25
5. Теплоизоляционный линолеум на иглопробивной основе из вторичных отходов с защитным синтетическим слоем, горячее дублирование	4,5	22
6. Теплоизоляционный линолеум на иглопробивной латексированной основе из лубяных волокон, горячее дублирование	3,8	18
7. Теплоизоляционный линолеум на иглопробивной латексированной основе из поливинилхлоридных волокон, холодное дублирование	3,7	20
8. Дублированный теплоизоляционный линолеум на вязально-прошивной подкладке	3,7	16
9. Двухслойный релин на войлочной подоснове	3,7	16
10. Ворсолин беспетлевой на вязально-прошивной подкладке	4,5	20
11. Ворсолин беспетлевой с рифленой поверхностью	4,2	19

**Вопросы для самоконтроля по теме
«Звукоизоляция ограждающих конструкций
от проникновения ударного шума»**

1. Чем характеризуется ударный шум?
2. Экспериментальный способ оценки звукоизоляции междуэтажного перекрытия на ударный шум.
3. Мера оценки изоляции ударного шума междуэтажного перекрытия.
4. Как определить индекс приведенного уровня ударного шума перекрытий с известной частотной характеристикой?
5. Где находится зона неблагоприятных отклонений изоляции ударного шума?
6. Как определить индекс приведенного уровня ударного шума перекрытий с полами на звукоизоляционном полу?
7. Особенность расчета индекса приведенного уровня ударного шума перекрытий с покрытиями из рулонных материалов.

Раздел 3. СТРОИТЕЛЬНАЯ СВЕТОТЕХНИКА

Лекция 8. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ СВЕТОТЕХНИКИ

8.1. Основные понятия, величины, единицы светотехники

Свет – излучение оптической области спектра, которое вызывает биологические, главным образом зрительные, реакции.

Излучение – понятие, одинаково применимое к различным областям электрических полей (гамма-излучение, рентгеновское, оптическое, радиоизлучение). Электромагнитное излучение представляет собой одну из форм существования материи и состоит из потока элементарных частиц – фотонов. Фотон существует только в непрерывном поступательном движении. Скорость движения фотона равна скорости света в вакууме c_0 . Фотон обладает энергией, массой, скоростью и определёнными волновыми свойствами. Волновые свойства описываются частотой ν и длиной волны λ . Длина волны фотона в вакууме:

$$\lambda = \frac{c_0}{\nu}. \quad (8.1)$$

Лучистая энергия – это энергия излучения оптической области спектра источника света. В системе СИ может измеряться в Дж.

Приёмником лучистой энергии является тело, преобразующее поглощённую энергию в один из видов энергии: электрическую, биологическую, химическую и т.д. Приёмники лучистой энергии делятся на два класса: физические (фотоэлемент, фотографическая эмульсия и др.) и биологические (глаз, зелёный лист растения, кожа человека, животных и др.).

В светотехнике принято пользоваться мощностью оптического излучения, которая называется лучистым потоком. Единицей измерения лучистого потока служит Вт.

Лучистый поток, состоящий из однородных излучений только одной длины волны λ , называется монохроматическим, т.е. одноцветным. Получить его на практике нельзя. Если же в потоке содержатся излучения различных длин волн, такой поток называется сложным. Пример – дневной свет. Спектр лучистого потока может быть сплошным, полосатым, линейчатым.

Длина волны и мощность являются качественной и количественной характеристикой монохроматического лучистого потока.

Оптическая часть электромагнитного спектра лучистой энергии включает в себя области УФ, видимого и инфракрасного излучения.

Сила света I – отношение светового потока Φ к телесному углу ω , в котором он излучается и равномерно распределяется.

$$I = \Phi / \omega. \quad (8.2)$$

Единица измерения – кандела (кд). Кандела – это сила света, излучаемого в перпендикулярном направлении $1/60000$ м² поверхности чёрного тела (полного излучателя). Под чёрным телом понимают тело, поглощающее всю падающую на него энергию.

Телесный угол ω – часть пространства, заключённая внутри конической замкнутой поверхности. Измеряется отношением площади S , вырезаемой им из сферы произвольного радиуса r , к квадрату последнего (рис. 8.1). Единица измерения – стерадиан (ср). За единицу телесного угла стерадиан принят телесный угол, вырезающий участок сферы, площадь которого равна квадрату её радиуса.

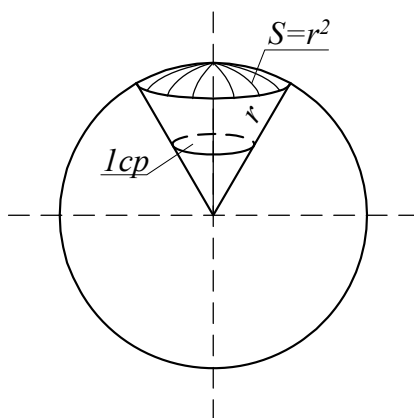


Рис. 8.1. Схема к определению телесного угла

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

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

Яркость – световая величина, которая непосредственно воспринимается глазом. Она представляет собой поверхностную плотность силы света в заданном направлении, которая определяется отношением силы света к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную тому же направлению. Единица измерения – кандела на метр квадратный (кд/м²).

Принята яркость такой плоской поверхности, которая в перпендикулярном направлении излучает силу света в 1 кд с площади в 1 м².

Различают два частных случая определения яркости L .

1) Яркость в точке M поверхности источника в направлении светового луча J равна отношению величины силы света I в данном направлении к

площади проекции светящейся поверхности S на плоскость, перпендикулярную данному направлению, и определяется по формуле

$$L = \frac{I}{S \cos \Theta}, \quad (8.3)$$

где I – сила света;

S – элемент светящей поверхности, содержащий точку M ;

$S \cdot \cos \Theta$ – сила света, приходящаяся на единицу площади проекции.

2) Яркость в точке M поверхности приёмника (глаза или фотоэлемента) в направлении I представляет собой отношение освещённости E , создаваемой в этой точке приёмника в плоскости, перпендикулярной направлению I , к телесному углу ω , в котором заключён световой поток, создающий эту освещённость (нормальная освещённость, приходящаяся на единицу телесного угла) (рис. 8.2).

$$L = E/\omega. \quad (8.4)$$

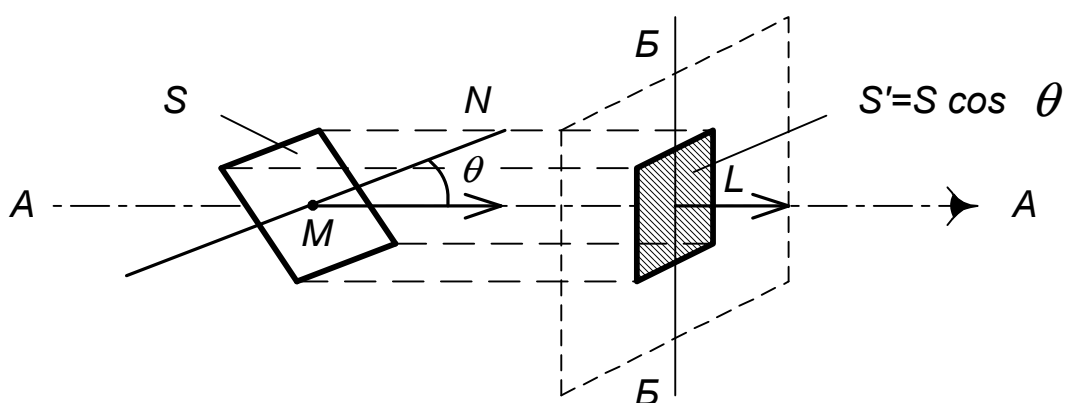


Рис. 8.2. Определение яркости поверхности:
 AA – линия наблюдения; BB – плоскость, перпендикулярная AA;
 S – светящаяся поверхность

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

Для оценки освещения пользуются величиной освещённости. Освещённость поверхности представляет собой плотность светового потока Φ , падающего на элемент поверхности, содержащей данную точку, к площади этого элемента S .

$$E = \Phi/S. \quad (8.5)$$

Есть зависимость между яркостью L и освещенностью E поверхности:

$$L = \frac{E\rho}{\pi}, \quad (8.6)$$

где ρ – коэффициент отражения.

Единица освещенности – люкс (лк). 1 лк равен освещенности, создаваемой световым потоком в 1 лм, равномерно распределенным на поверхности площадью 1 м².

Об освещенности, равной 1 лк, можно судить по следующим примерам: освещенность горизонтальной поверхности в полнолуние 0,2 лк, минимальная освещенность на проезжей части улиц (посередине между фонарями) – 1–0,5 лк.

8.2. Естественное освещение помещений

Естественное освещение – освещение помещений светом неба (прямым или отраженным, проникающим через световые проемы). К естественному освещению предъявляются требования: обеспечение равномерности требуемой освещенности рабочих мест, устранение направленного прямого и отраженного света, слепящего человека, обеспечение необходимой яркости пространства за счет достаточного уровня освещенности и цветовой отделки помещений. Естественными источниками света являются солнце и диффузный (рассеянный) свет небосвода.

Освещение должно выполнять одновременно экологическую, эстетическую и экономическую функции. Оно должно быть экологически совершенным, т.е. комфортным для зрения. Это значит, что освещение должно обеспечивать благоприятные условия видимости и восприятия архитектурных форм, пространства и объектов человеком. Это достигается за счет рационально выбранных количественных и качественных характеристик освещения.

Основными компонентами дневной освещенности на открытой местности являются:

- солнечный свет E_c ;
- рассеянный (диффузный) свет неба E_n ;
- свет, отраженный от земли? E_3 .

Суммарная освещенность в ясный день на открытом месте выражается формулой

$$E_o = E_c + E_n + E_3. \quad (8.7)$$

8.3. Основные законы светотехники

В основу расчёта и моделирования естественного освещения помещения положено два закона.

Закон проекции телесного угла. Он говорит, что *освещённость E_m , в какой-либо точке поверхности помещения, создаваемая равномерно светящейся поверхностью неба, прямо пропорциональна яркости неба L и площади проекции σ телесного угла, в пределах которого из данной точки виден участок неба, на освещаемую рабочую поверхность.* При этом принято три допущения:

- яркость неба во всех точках одинакова;
- не учитывается влияние отражённого света;
- не учитывается остекление светопроёма.

Графически закон иллюстрируется следующим построением. Проведём из точки M полусферу небосвода радиусом, равным единице, и обозначим яркость неба L . Определим освещённость в точке M , создаваемую в помещении через окно малым участком полусферы dS , который можно принять за точечный источник света. Точечным источником излучения (ТИС) считается такой, размеры которого настолько малы по сравнению с расстоянием до приёмника, что ими можно пренебречь при расчётах.

Сила света элементарного участка dS , обладающего яркостью L , определяется по формуле

$$dI = LdS. \quad (8.8)$$

Элементарную освещённость точки M находим по формуле

$$\Delta E = dI \cos \alpha / R^2. \quad (8.9)$$

Если выразить силу света dI через яркость, то при радиусе полусферы, равном единице ($R = 1$), имеем

$$\Delta E = LdS \cos \alpha, \quad (8.10)$$

но $dS \cos \alpha = d\sigma$, т.е. площади проекции dS на освещаемую поверхность. Таким образом,

$$\Delta E = Ld\sigma. \quad (8.11)$$

Интегрируя при равномерном распределении яркости участка небосвода, получим

$$E_m = L\sigma, \quad (8.12)$$

то есть *освещённость в какой-либо точке помещения равна произведению яркости участка неба, видимого из данной точки через светопроём, на проекцию этого участка неба на освещаемую поверхность* (рис. 8.3).

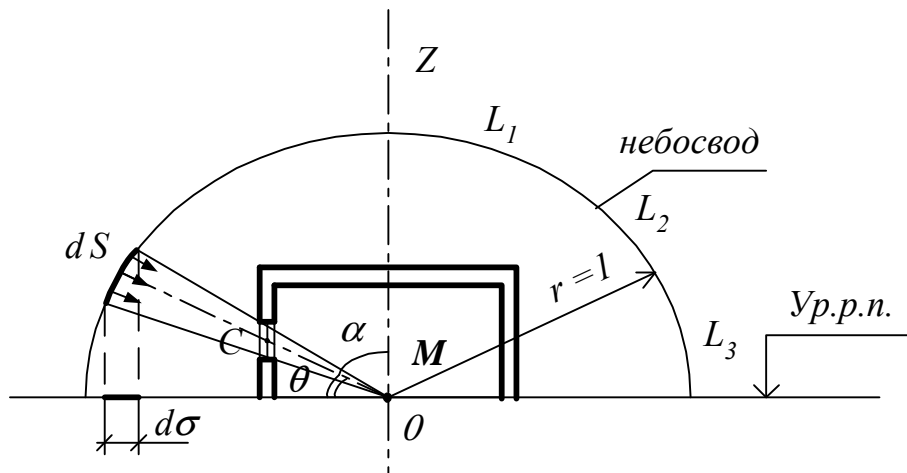


Рис. 8.3. Схема к закону проекции телесного угла:
 O – центр небосвода, совмещённый с исследуемой точкой;
 L – яркость небосвода;
 Θ – угловая высота середины светопроёма с над горизонтом;
 σ – площадь проекции участка неба, освещающего точку M

Практическое значение этого закона очень велико: пользуясь им, можно определить относительную световую активность различных светопроёмов (рис. 8.4) или сравнивать освещённости, создаваемые одним и тем же светопроёмом, расположенным различно относительно рабочей плоскости, а также определять светотеневой рисунок на объёмных объектах и деталях под открытым небосводом в пасмурный день.

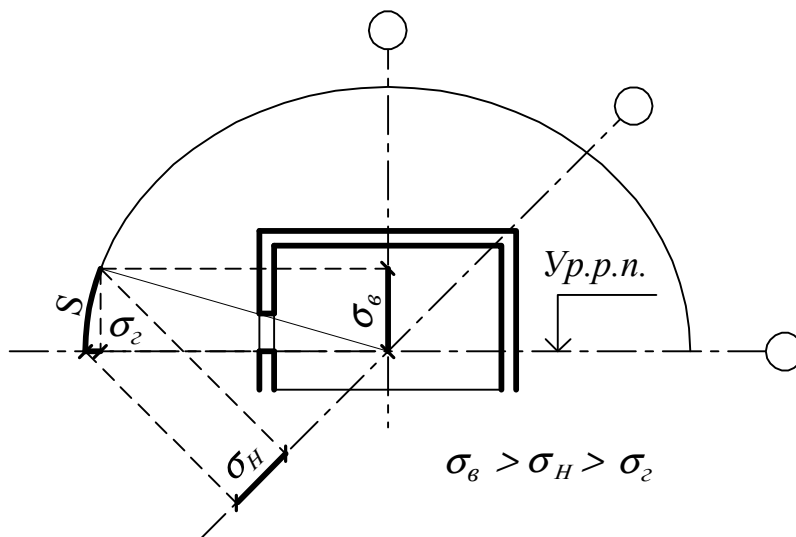


Рис. 8.4. Определение освещенности, создаваемой светопроёмом на различно ориентированных рабочих плоскостях:
 $\sigma_{\text{в}}$ – проекция телесного угла окна на освещаемую вертикальную поверхность;
 $\sigma_{\text{н}}$ – проекция телесного угла окна на освещаемую наклонную поверхность;
 $\sigma_{\text{г}}$ – проекция телесного угла окна на освещаемую горизонтальную поверхность

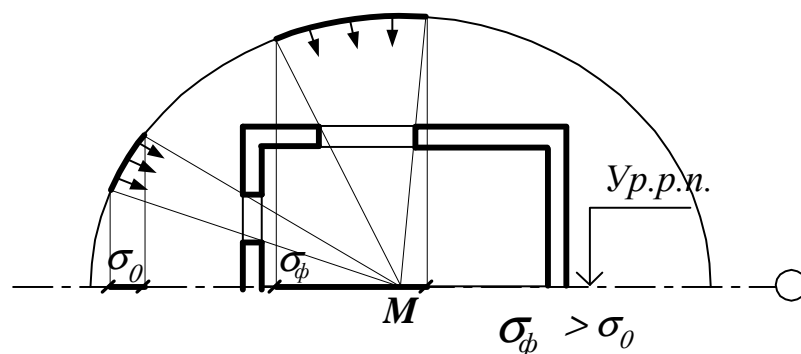


Рис. 8.5. Расчет световой активности светопроемов:
 σ_ϕ – проекция телесного угла светопроема (фонаря)
на освещаемую поверхность;

σ_0 – проекция телесного угла светопроема (окна) на освещаемую поверхность

Так как проекции соответствующих телесных углов $\sigma_\phi > \sigma_0$, $\sigma_b > \sigma_n > \sigma_r$, то и освещенности расчетной точки (плоскости): $E_\phi > E_0$, $E_b > E_n > E_r$,

На основе этого закона разработаны графические способы расчёта естественного освещения (графики А.М. Данилюка), получившие широкое распространение в мировой практике.

Если точка горизонтальной поверхности находится под открытым небосводом и освещается полусферой с равномерно распределённой яркостью, то

$$E_n = L\pi R^2, \quad (8.13)$$

где πR^2 – площадь полусферы, но $R = 1$, следовательно,

$$E_n = L\pi. \quad (8.14)$$

Т.к. $e_m = \frac{E_m}{E_n} \cdot 100 \%$, то имеем

$$e_m = L\sigma/L\pi = \sigma/\pi. \quad (8.15)$$

Это отношение представляет геометрическое выражение коэффициента естественной освещенности.

Закон светотехнического подобия. Пусть освещённость в точке M помещения создаётся через окна, обладающие яркостью L_1 и L_2 . Различная яркость может создаваться, например, применением различных сортов стекла (прозрачного, молочного, контрастного и др.). Однако при различных размерах окон (I и II), но с одинаковым остеклением, освещённость в т. M создаётся одним и тем же телесным углом с вершиной в этой точке (рис. 8.6).

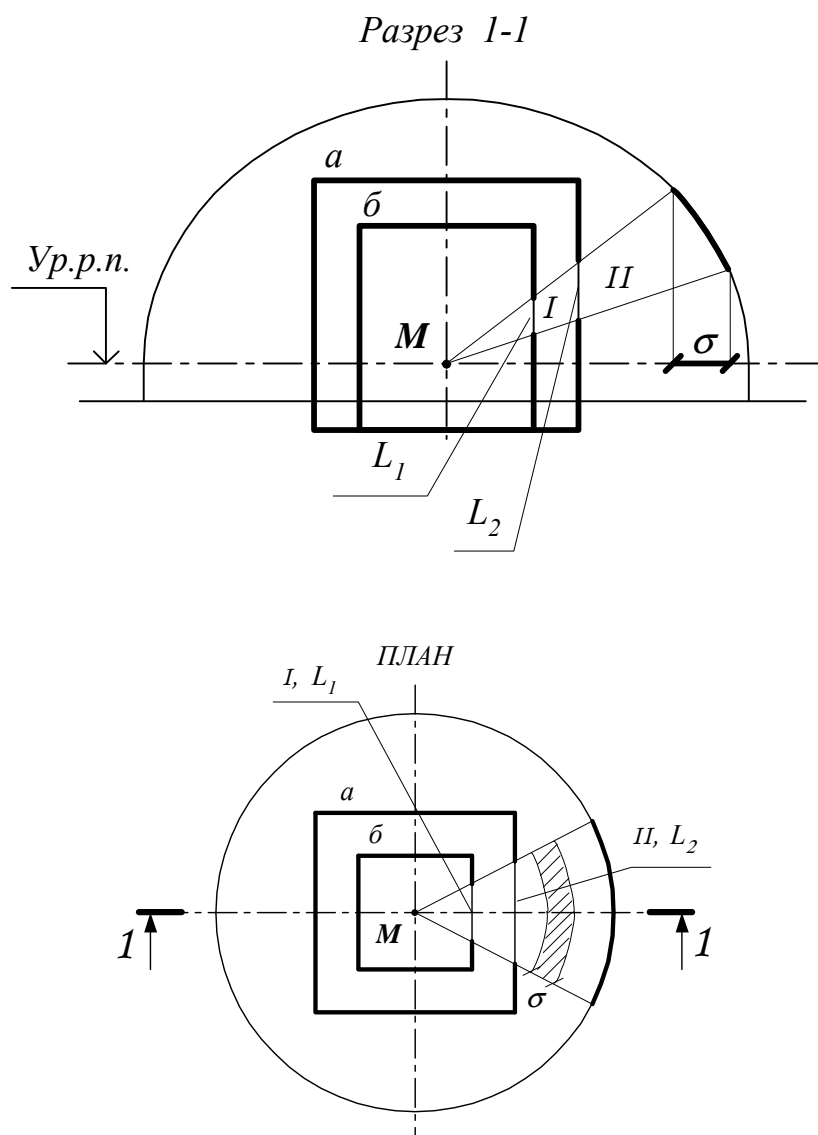


Рис. 8.6. Схема к закону светотехнического подобия

Из закона проекции телесного угла следует, что освещенность в т. M остаётся постоянной при условии, если $L_1 = L_2 = L_n = \text{const}$. Следовательно, *освещённость в какой-либо точке помещения зависит не от абсолютных, а от относительных размеров световых проёмов.*

Большое практическое значение этого закона заключается в том, что он позволяет решать задачи естественного освещения, пользуясь методом моделирования, т.е. оценивать условия освещения помещений на моделях. Для этого изготавливают модели в масштабе на менее чем 1:20. При этом тщательно соблюдаются все геометрические параметры (отделка, пропорции, детали и др.) интерьера.

Вопросы для самоконтроля по теме «Основные законы светотехники»

1. Виды излучения.
2. Какой лучистый поток называется монохроматическим, а какой – сложным? Привести примеры.
3. Из каких излучений состоит оптическая часть электромагнитного спектра лучистой энергии?
4. Дать определение силы света. В каких единицах измеряется?
5. Дать определение телесного угла. В каких единицах измеряется?
6. Дать определение световой среды.
7. Дать определение яркости. В каких единицах измеряется?
8. Дать определение освещенности. В каких единицах измеряется?
9. Пояснить на рисунках характер распределения световых потоков, отраженных или пропущенных телом.
10. Дать определение коэффициентам отражения, пропускания, поглощения.
11. Функции естественного освещения.
12. Источники естественного света.
13. Требования, предъявляемые к естественному освещению.
14. Сформулировать закон проекции телесного угла. Дать пояснения.
15. Сформулировать закон светотехнического подобия. Дать пояснения.

Лекция 9. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СВЕТОВОЙ СРЕДЫ ПОМЕЩЕНИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

9.1. Характеристики естественного света

Качественными характеристиками естественного света являются согласно[14]:

- 1) распределение яркости и светлот на внутренних поверхностях помещения (интерьера);
- 2) распределение световых потоков в помещении;
- 3) неравномерность освещения;
- 4) контрастность освещения.

Первая характеристика

Для того чтобы обеспечить в помещении комфортную световую среду, соотношение яркости потолка, стен и пола должно приниматься близким к

природному, т.е. к соотношению яркости небосвода в зените, небосвода у горизонта и яркости земного покрова.

Наблюдениями установлены эти соотношения:

- для южных районов – 10:3:1,
- для остальных – 5:3:1.

Вторая характеристика

Направление световых потоков помещения зависит от расположения световых проёмов. Неправильное расположение их, неравномерное распределение яркостей в поле зрения приводит к зрительному дискомфорту, т.е. к неудобству или переутомлению работающих при попадании прямых или отражённых солнечных лучей в поле зрения. Дискомфортную среду в помещении принято оценивать показателем дискомфорта. В общественных зданиях

$$M = \frac{L_c \cdot \omega^{0,5}}{\varphi(\Theta) \cdot L_{ад}^{0,5}}, \quad (9.1)$$

где L_c – яркость блеского источника, кд/м²;

ω – угловой размер блеского источника, ср;

$L_{ад}$ – яркость адаптации;

$\varphi(\Theta)$ – индекс позиции блёского источника по отношению к линии зрения работающего.

При проектировании показатель дискомфорта рассчитывается инженерным методом.

Дискомфортную среду помещения можно улучшить следующими мероприятиями:

- применением более светлой отделки внутренних поверхностей помещения;
- применением стёкол светопроёмов с пониженным коэффициентом пропускания (матированное стекло);
- применение солнцезащитных устройств.

Третья характеристика

Неравномерность естественного освещения представляет собой отношение среднего значения к наименьшему значению КЕО, определённых по кривой распределения КЕО в пределах характерного разреза помещения. Неравномерность освещения в производственных зданиях с верхним и комбинированным естественным освещением и в общественных (дошкольные и школьные учебные заведения с боковым освещением) не должна превышать 3:1. При верхнем и комбинированном естественном освещении расчётная величина КЕО в пределах характерного разреза помещения не должна быть меньше нормированного КЕО при боковом освещении.

Четвертая характеристика.

Контрастность освещения создаётся взаимодействием света, рассеянного внутренними поверхностями помещения, и прямого света неба, проникающего через светопроемы.

$$K = \frac{E_o}{E_n}. \quad (9.2)$$

Если расчетная точка находится под открытым небом, то

$$K = \frac{E_o}{E_n + E_3}, \quad (9.3)$$

где E_n – освещение рассеянным светом;

E_o – суммарная освещённость;

E_3 – свет, отраженный от земли.

Контрастность освещения в основном зависит от высоты стояния солнца (или от зенитного расстояния).

9.2. Расчет и нормирование естественного освещения

Освещённость, создаваемая естественным светом, переменна, т.к. она зависит от времени дня, месяца и года, прозрачности воздуха, положения солнца на небосводе, степени и характера облачности, альбедо (отражательных свойств) земного покрова и др. В силу этого установить значение естественной освещённости в здании в абсолютных единицах (люксах) практически невозможно. Поэтому для оценки и нормирования естественного света принята относительная величина – коэффициент естественной освещённости (КЕО), который определяется по формуле

$$e_M = \frac{E_B}{E_n} \cdot 100 \%. \quad (9.4)$$

Величина КЕО не зависит от времени суток и года и выражает прямопропорциональную зависимость между внутренней и наружной освещённостью.

КЕО (e) есть отношение естественной освещённости E_B , создаваемой в некоторой точке M заданной плоскости внутри помещения светом от небосвода непосредственно или после отражения (рис. 9.2), к одновременной наружной горизонтальной освещённости E_n , создаваемой светом полностью открытого небосвода (рис. 9.1).

Участие прямого солнечного света в определении E_H и E_B исключается. КЕО выражается в процентах и показывает, какую долю в процентах в данной точке помещения составляет освещённость от одновременной горизонтальной освещённости под открытым небосводом.

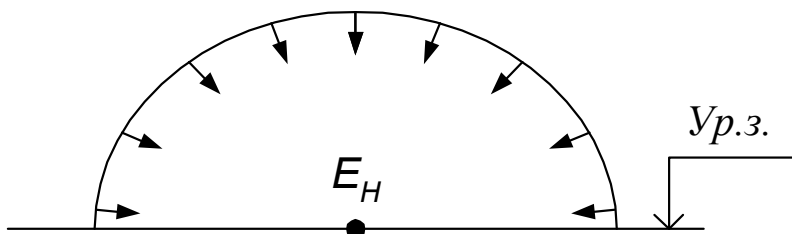


Рис. 9.1. Наружная горизонтальная освещенность

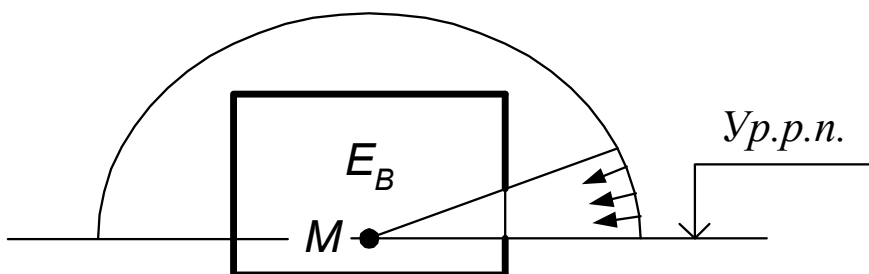


Рис. 9.2. Освещенность точки М в помещении

Необходимое количество и качество природного света в помещениях определяется их функциональным назначением, т.е. характером зрительной работы. В нормах проектирования [14] приведены нормативные параметры естественного освещения, при которых обеспечиваются благоприятные условия для зрительной работы – это величина КЕО и неравномерность естественного освещения. Нормативные значения КЕО в помещении выбираются в зависимости от сложности зрительной работы и от системы естественного освещения. Зрительная работа в помещениях промышленных зданий по величине объекта различения подразделяется на 8 разрядов: работы наивысшей точности с деталями менее 0,15 мм (I разряд) до грубой с деталями более 5мм (VI разряд). VIII разряд обеспечивает лишь общее наблюдение за ходом производственного процесса. Разряды подразделяются на подразряды, в зависимости контраста объекта с фоном и характеристики фона (тёмный, светлый, средний).

Зрительная работа в помещениях общественных зданий подразделяется на разряды от А до З и подразряды 1, 2.

При двустороннем боковом освещении помещений любого назначения нормируемое значение КЕО должно быть обеспечено в расчетной точке в

центре помещения на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза и рабочей поверхности.

В жилых и общественных зданиях при одностороннем боковом освещении нормируемое значение КЕО жилых помещений в жилых зданиях должно быть обеспечено в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и плоскости пола на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов: в одной комнате для 1-, 2- и 3-комнатных квартир и в двух комнатах для квартир, имеющих 4 и более комнат. В остальных жилых помещениях многокомнатных квартир и в кухне нормируемое значение КЕО должно обеспечиваться в расчетной точке, расположенной в центре помещения на плоскости пола.

Условная рабочая поверхность – горизонтальная плоскость, на которой располагаются расчётные точки.

Характерный разрез помещения – поперечный разрез посередине помещения, плоскость которого перпендикулярна к плоскости остекления световых проемов (при боковом освещении) или к продольной оси пролетов помещения. В характерный разрез помещения должны попадать участки с наибольшим количеством рабочих мест (для промышленных зданий), а также точки рабочей зоны, наиболее удаленные от светопроемов.

При расчете естественного освещения помещений количество точек, в которых определяется КЕО, рекомендуется принимать не менее пяти (в зависимости от размеров помещения), находящихся на равном расстоянии друг от друга (2–5 метров). Причем первая расчетная точка всегда берется на расстоянии 1 м от стены, содержащей светопроемы, а последняя – на расстоянии от противоположной стены, которое определяется в [14] в зависимости от функционального назначения помещения.

В жилых помещениях общежитий, групповых и игровых помещений детских дошкольных учреждений, в палатах больниц, в кабинетах врачей и т.п. расчетная точка, в которой должно быть обеспечено нормируемое значение КЕО, находится на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов. В учебных и учебно-производственных помещениях школ – на расстоянии 1,2 м от стены, в остальных помещениях жилых и общественных зданий – в центре помещения на рабочей поверхности.

В производственных помещениях глубиной до 6,0 м при одностороннем боковом освещении нормируется минимальное значение КЕО в точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности на расстоянии 1,0 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов.

В производственных помещениях глубиной более 6,0 м при боковом освещении нормируется минимальное значение КЕО в точке на условной рабочей поверхности, удаленной от световых проемов:

– на 1,5 высоты от пола до верха светопроемов для зрительных работ I–IV разрядов;

– на 2,0 высоты от пола до верха светопроемов для зрительных работ V–VII разрядов;

– на 3,0 высоты от пола до верха светопроемов для зрительных работ VIII разряда.

При верхнем или комбинированном естественном освещении помещения любого назначения нормируется среднее значение КЕО в точках, расположенных на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности или пола. Первая и последняя точка принимаются на расстоянии 1 м от стен или осей колонн.

Расчетное значение КЕО следует округлять до сотых долей. Допускается снижение расчетного значения КЕО e_p от нормируемого КЕО e_n не более чем на 10 %.

Неравномерность естественного освещения производственных и общественных зданий с верхним или комбинированным освещением не должна превышать 3:1. Расчетное значение КЕО при верхнем и комбинированном естественном освещении в любой точке на линии пересечения условной рабочей поверхности и плоскости характерного разреза должно быть не менее нормированного значения КЕО при боковом освещении для работ соответствующих разрядов.

Неравномерность естественного освещения не нормируется для помещений с боковым освещением, для производственных помещений, в которых выполняются зрительные работы VII и VIII разрядов, при верхнем и боковом освещении вспомогательных помещений и помещений общественных зданий, в которых выполняются зрительные работы разрядов Г и Д.

Наряду с КЕО в расчетах естественного освещения применяется геометрический коэффициент естественной освещенности ε , который представляет собой отношение естественной освещенности, создаваемое в рассматриваемой точке заданной плоскости внутри помещения светом, прошедшим через незаполненный световой проем и исходящим непосредственно от равномерно яркого неба, к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности под открытым полностью небосводом. При этом участие прямого солнечного света исключается.

Геометрический коэффициент естественной освещенности рассчитывается по графикам А.М. Данилюка (рис. 9.3–9.5).

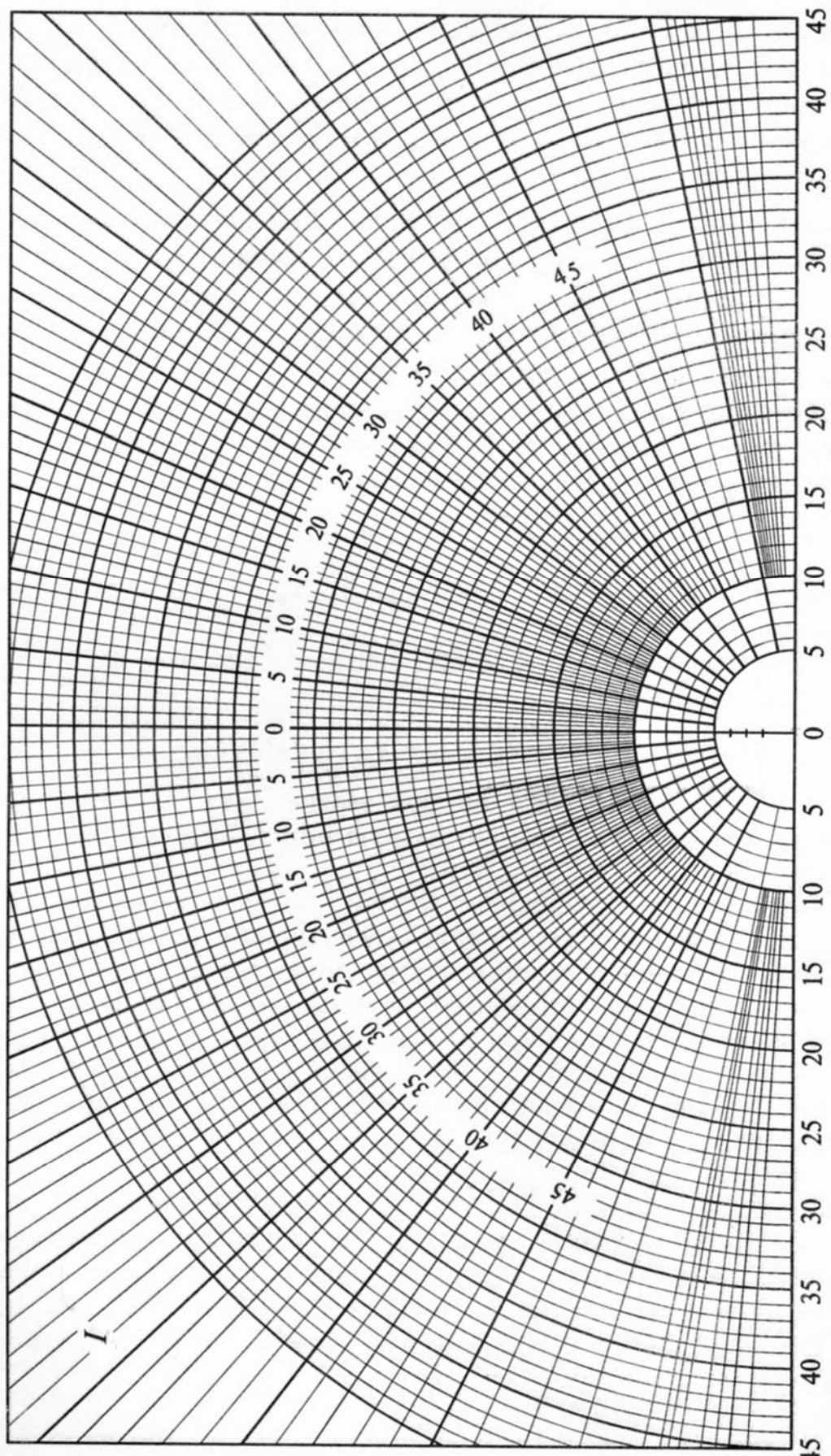


Рис. 9.3. График I А.М. Данилюка для подсчета количества лучей n_1

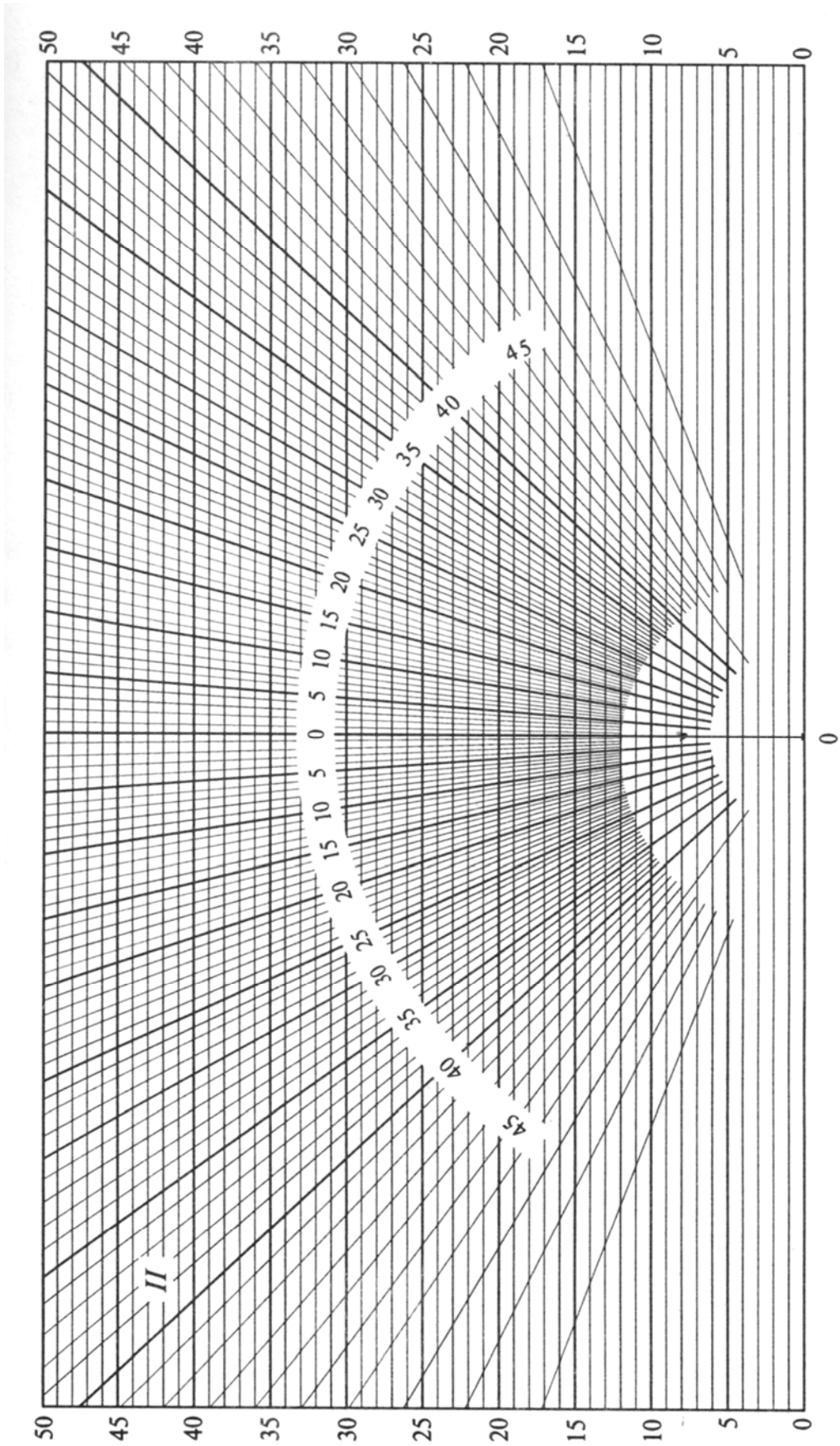


Рис. 9.4. График II А.М. Данилюка для подсчета количества лучей n_2

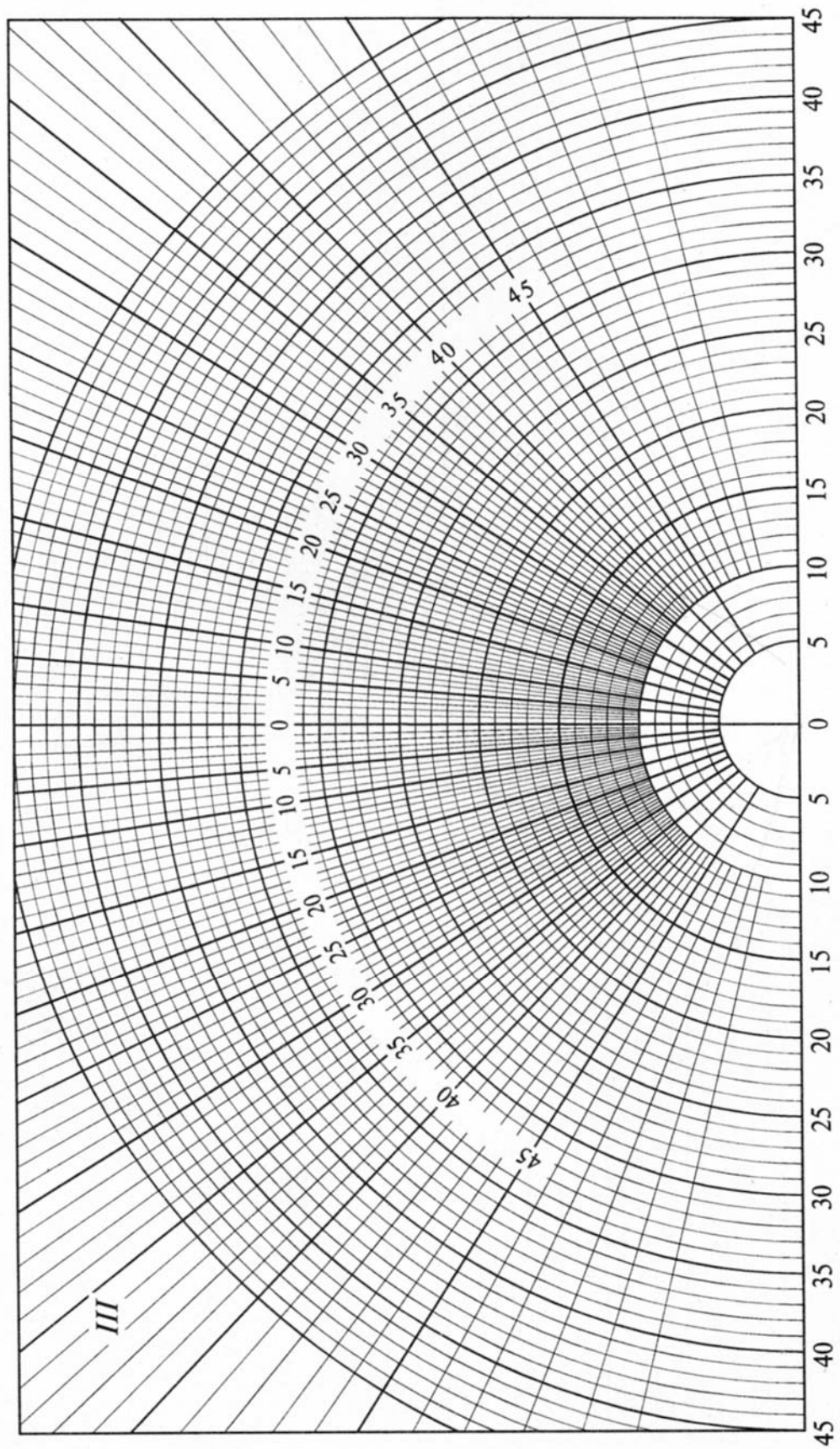


Рис. 9.5. График III А.М. Данилюка для подсчета количества лучей n_3

Достаточность размеров, формы и места расположения световых проёмов определяют расчётом, проводимым в 2 этапа: предварительный и проверочный. На практике окончательные размеры проёмов в проекте здания могут на 5–10 % отклоняться от требуемых по расчёту площадей.

1 этап. Предварительный расчёт

Задавшись высотой окна, определяют площадь световых проёмов:

а) при боковом освещении

$$S_o = \frac{S_{\text{п}} \cdot K_3 \cdot e_N \cdot \eta_o \cdot k_3}{100\tau_0 r_1}, \quad (9.5)$$

где e_N – нормированные значения КЕО для зданий, располагаемых в различных административных районах страны, определяется по формуле $e_N = e_{\text{н}} \cdot m_N$, где $e_{\text{н}}$ – значение КЕО, принимаемое по таблицам СНиП 23-05-95; m_N – коэффициент, учитывающий особенности светового климата и зависящий от номера группы административного района, типа световых проёмов (фонарь, окна), ориентации световых проёмов по сторонам горизонта. Значения e_N округляются до сотых долей;

S_o – площадь окон, м²;

K_3 – коэффициент запаса, зависящий от состояния воздушной среды производственных помещений (количества пыли, дыма и т.п.), а также от количества чисток остекления светопроёмов в год и угла наклона светопропускающего материала к горизонту;

η_o – световая характеристика окон при боковом освещении, зависящая от отношения длины помещения $l_{\text{п}}$ к глубине B и от отношения B к высоте от уровня рабочей поверхности до верха окна;

r_1 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отражённому от поверхности помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию. Для определения r_1 необходимо знать расчетное значение средневзвешенного коэффициента отражения внутренних поверхностей помещения, которое следует принимать равным 0,50 в жилых и общественных помещениях и 0,40 в производственных;

$k_{\text{зд}}$ – коэффициент, учитывающий изменения внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при наличии противостоящих зданий.

При расчете естественного освещения помещений в условиях застройки средневзвешенный коэффициент отражения фасадов противостоящих зданий с учетом остекленных проёмов следует рассчитывать по формуле

$$\rho_{\text{ф}} = \frac{\rho_{\text{м}} S_{\text{м}} + \rho_{\text{ок}} S_{\text{ок}}}{S_{\text{м}} + S_{\text{ок}}}, \quad (9.6)$$

где $\rho_{\text{м}}$, $\rho_{\text{ок}}$ – коэффициенты отражения материалов отделки фасада и коэффициент отражения остекленных проёмов фасада с учетом переплетов, соответственно;

$S_M, S_{ок}$ – площадь фасада без светопроемов и площадь светопроемов соответственно;

τ_0 – общий коэффициент светопропускания, определяемый по формуле

$$\tau_0 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5, \quad (9.7)$$

где τ_1 – коэффициент светопропускания материала;

τ_2 – коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроемов. Размеры светопроема принимаются равными размерам коробки переплета по наружному обмеру;

τ_3 – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях покрытия (при боковом освещении $\tau_3 = 1$);

τ_4 – коэффициент, учитывающий светопотери в солнцезащитных устройствах;

τ_5 – коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями, принимаемый равным 0,9 (при боковом освещении $\tau_5 = 1$).

Для работ, относящихся к I–IV разрядам, площадь достаточного естественного света S_n при одностороннем освещении принимают равной

$$S_n = l_n \cdot 1,5H;$$

при V–VII разрядах

$$S_n = l_n \cdot 2H;$$

при VIII

$$S_n = l_n \cdot 3H,$$

где l_n – длина помещения, м;

H – высота помещения, м;

б) при верхнем освещении

$$S_\phi = \frac{S_n \cdot e_N \cdot \eta_\phi \cdot K_3}{100 \cdot \tau_0 \cdot r_2 \cdot K_\phi}, \quad (9.8)$$

где S_ϕ – площадь световых проёмов при верхнем освещении, м²;

η_ϕ – световая характеристика фонаря или светового проема в плоскости покрытия;

k_ϕ – коэффициент, учитывающий тип фонаря;

r_2 – коэффициент повышения КЕО при верхнем освещении светом, отражённым от поверхностей помещения;

K_3 и τ_0 – то же, что и при расчёте бокового освещения. Площадь пола S_n принимают равной площади помещения или здания за вычетом площади достаточного естественного света от боковых светопроёмов.

После подсчета площади остекления определяют ширину окна, их количество и месторасположение.

2 этап. Проверочный расчёт

При выбранных исходных данных проверочный расчёт естественного освещения сводится к определению значения КЕО в расчетных точках характерного разреза помещения и к построению кривых, характеризующих распределение КЕО по глубине помещения.

Второй этап расчёта естественного освещения производят, используя метод А.М. Данилюка. Целью этого графоаналитического метода является проверка обеспеченности нормативного значения КЕО в расчетных точках помещения при выбранной площади и расположении светопроемов и построение кривых распределения КЕО, характеризующих распределение света в помещении. Этот расчёт производят на стадии разработки технического и рабочего проектов.

Определяют расчетное КЕО e_p^{δ} – значение, полученное расчетным путем при проектировании естественного освещения помещений – по формулам:

а) при боковом освещении:

$$e_p^{\delta} = \left(\sum_{i=1}^L \varepsilon_{\delta i} q_i + \sum_{j=1}^M \varepsilon_{здж} b_{\phi j} k_{здж} \right) r_1 \tau_0 / K_3; \quad (9.9)$$

б) при верхнем освещении:

$$e_p^B = \left(\sum_{i=1}^T \varepsilon_{vi} + \varepsilon_{cp} (r_2 k_{\phi} - 1) \right) r_0 / K_3; \quad (9.10)$$

в) при комбинированном освещении (верхнем и боковом):

$$e_p^K = e_p^{\delta} + e_p^B, \quad (9.11)$$

где L – количество участков небосвода, видимых через световой проем из расчетной точки;

$\varepsilon_{\delta i} = 0,01 \cdot n_1 \cdot n_2$ – геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий прямой свет от i -го участка неба;

n_1 и n_2 – количество лучей, определяемое по графикам Данилюка I (рис. 9.3) и II (рис.9.4), при наложении на графики разреза и плана помещения соответственно;

q_i – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость i -го участка облачного неба МКО;

M – количество участков фасадов зданий противостоящей застройки, видимых через световой проем из расчетной точки;

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

- $b_{\phi j}$ – средняя относительная яркость j -го участка фасадов зданий противостоящей застройки;
 $k_{здj}$ – коэффициент, учитывающий изменения внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при наличии противостоящих зданий;
 $\tau_0; r_1; K_3$ – то же, что и в предварительном расчете;
 T – количество световых проемов в покрытии;
 $\varepsilon_{vi} = 0,01 \cdot n_2 \cdot n_3$ – геометрический КЕО в расчетной точке при верхнем освещении i -го проема;
 n_2 и n_3 – количество лучей, определяемое по графикам Данилюка II (рис. 9.4) и III (рис. 9.5), при наложении на графики плана и разреза помещения соответственно. Для определения количества лучей план и разрез помещения вычерчиваются на кальке в одинаковом масштабе;
 ε_{cp} – среднее значение геометрического КЕО при верхнем освещении на линии пересечения условной рабочей поверхности и плоскости характерного вертикального разреза помещения, определяемое по формуле

$$\varepsilon_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varepsilon_{vi} \quad (9.12)$$

Здесь N – количество расчетных точек.

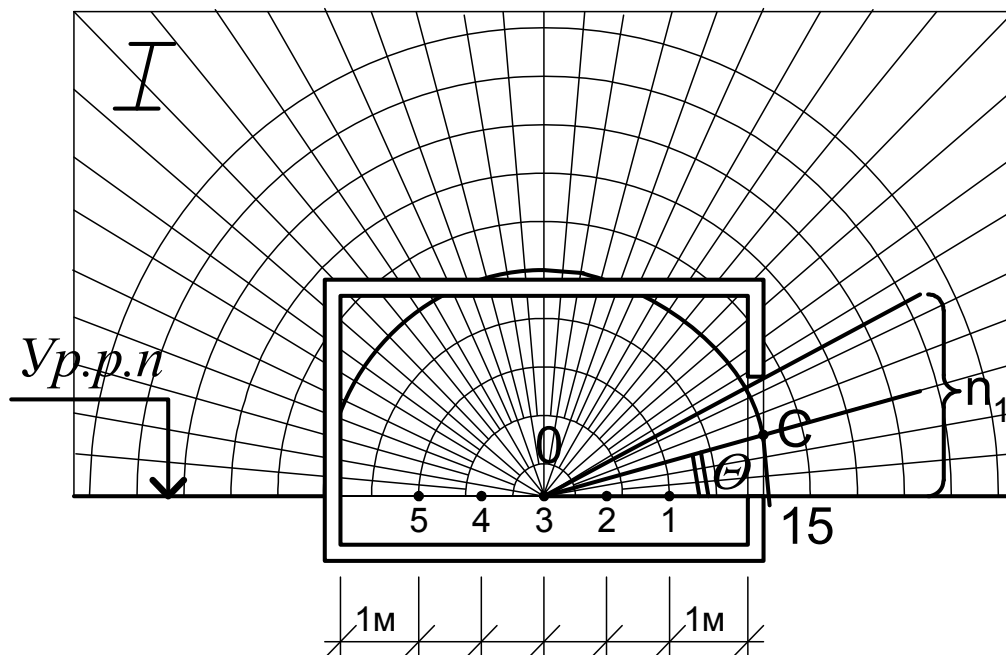


Рис. 9.6. К расчету количества лучей по графику А.М. Данилюка I (по разрезу помещения)

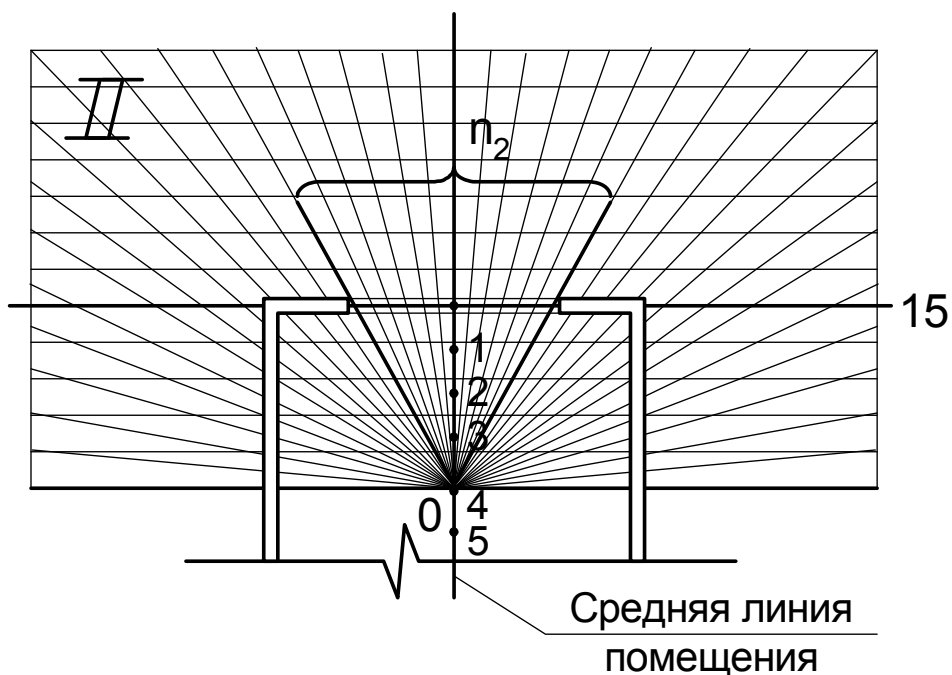


Рис. 9.7. К расчету количества лучей по графику А.М. Данилюка II (по плану помещения)

При подсчете количества лучей по графику А.М. Данилюка I на него накладывается разрез помещения, выполненный на кальке. Основание графика должно совпадать с условной рабочей поверхностью, а центр графика – с точкой, в которой определяется значение КЕО. По графику определяется количество лучей n_1 , угловая высота середины светопроема над расчетной поверхностью Q , номер полуокружности, проходящей через середину светопроема.

При подсчете количества лучей по графику А.М. Данилюка II на него накладывается план помещения, выполненный в том же масштабе, что и разрез. Вертикальная ось графика при этом должна совпадать со средней линией помещения, а номер полуокружности, определенный по графику А.М. Данилюка I, – с серединой светопроема.

Аналогично определяется количество лучей для расчета верхнего освещения, учитывая, что разрез помещения накладывается на график А.М. Данилюка III (определяется количество лучей n_3), а план помещения накладывается на график А.М. Данилюка II (определяется количество лучей n_2). Пример расчета приведен в [15].

При боковом освещении расчетное значение КЕО сравнивается с нормируемым в расчетной точке:

$$e_p^b \geq e_n. \quad (9.13)$$

При верхнем или комбинированном освещении должно соблюдаться условие $e_{cp} \geq e_n$, т.е. средняя величина КЕО во всех направлениях должна

быть не меньше нормируемой. Учитывается также неравномерность естественного освещения.

При этом среднее значение КЕО при верхнем или комбинированном освещении определяется по формуле

$$e_{\text{cp}} = \frac{1}{N-1} \left(\frac{e_1 + e_N}{2} + \sum_{i=2}^{N-1} e_i \right), \quad (9.14)$$

где N – количество расчетных точек;

e_1 и e_N – значения КЕО при верхнем или комбинированном освещении в первой и последней точках характерного разреза помещения;

e_i – значения КЕО в остальных точках характерного разреза помещения ($i = 2, 3, \dots, N-1$).

Определённые в точках значения e_p наносят в виде графиков на характерном разрезе помещения.

Графики распределения КЕО строят, откладывая в определённом масштабе значения КЕО вверх от уровня рабочей поверхности из точек, в которых определялась освещённость. Кривые КЕО помогают, например, более рационально организовывать рабочие места в промышленных зданиях.

Примеры расчета естественного освещения приведены в [15].

КЕО зависит от размеров и расположения светопроемов, размеров помещения и виды его отделки, от светового климата, отражательных свойств земного покрова и др. факторов. При выборе вида оконного заполнения учитывают санитарно-гигиенические и противопожарные требования, экономию тепла и климатические условия района строительства. В целях сокращения потерь тепла в зданиях ограничивают применение ленточного остекления, а также световых и светоаэрационных фонарей.

Вопросы для самоконтроля по теме

«Оценка качества световой среды помещений различного назначения»

1. Перечислить качественные характеристики естественного света, дать пояснения.

2. Какие количественные характеристики естественного света Вам известны?

3. Как учитывается распределение яркости по пасмурному и ясному небосводу?

4. Нормирование естественного освещения в жилых зданиях.

5. Почему при расчете естественной освещенности введена величина коэффициента естественной освещенности (КЕО)?

6. Нормирование естественного освещения в общественных зданиях.

7. Нормирование естественного освещения в промышленных зданиях.

Неравномерность естественного освещения.

8. Дать определение геометрического коэффициента естественной освещенности ϵ .

9. Как пользоваться графиками А.М. Данилюка при проверочном расчете естественного освещения?

10. В чем заключается предварительный расчет естественного освещения?

11. В чем заключается проверочный расчет естественного освещения?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем учебном пособии рассмотрены темы лекционных занятий по дисциплине «Строительная физика», соответствующие действующему Федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования и учебному плану второго курса направления «Строительство». На каждом лекционном занятии рассматривается определенная тема из трех разделов курса строительной физики: теплотехники, акустики и светотехники.

Лекционные занятия по дисциплине «Строительная физика» дают теоретические знания, знакомят с нормативно-технической литературой по данной дисциплине, что повышает уровень подготовки молодых специалистов, вооружает их знаниями в области строительства. Изучение данной дисциплины поможет выпускнику решать следующие профессиональные задачи:

- **в изыскательской и проектно-конструкторской деятельности:** обеспечивать соответствие разрабатываемых проектов и технической документации заданию, стандартам, нормам и правилам, техническим условиям и другим исполнительным документам;

- **в экспериментально-исследовательской деятельности:**

- изучать и анализировать научно-техническую информацию отечественного и зарубежного опыта по профилю деятельности;

- участвовать в проведении экспериментов по заданным методикам, составлять описания проводимых исследований и систематизировать результаты;

- составлять отчеты по выполненным работам, участвовать во внедрении результатов исследований и практических разработок;

Данное учебное пособие выступает в качестве основной литературы для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01. «Строительство». Изложенный материал является актуальным и полезным, так как дает знания по применению нормативно-технической базы в области проектирования, строительства и эксплуатации зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП131.13330.2012. СНиП 23-01–99 Строительная климатология [Текст]. – М.: Минрегион России, 2012. – 136 с.
2. СП50.13330.2012. СНиП 23-02–2003 Тепловая защита здания [Текст]. – М.: Минрегион России, 2012. – 36 с.
3. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты здания [Текст]. – М.:Госстрой России, 2005. – 140 с.
4. Викторова, О.Л. Строительная физика [Текст]: метод. указания по выполнению лабораторных работ / О.Л. Викторова. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 72 с.
5. Викторова О.Л. Строительная физика. Практические занятия [Текст]: учеб. пособие [Текст]. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 88 с.
6. Викторова, О.Л. Строительная физика [Текст]: метод. указания по выполнению расчетно-графической работы / О.Л. Викторова. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 32 с.
7. Архитектурная физика [Текст] /под ред. В.К. Лицкевич. – М.: Архитектура-С, 2007. – 448 с.
8. СП51.13330.2011 СНиП 23-03-2003. Защита от шума [Текст]. – М.: Минрегион России, 2011. – С.32.
9. СП 23-102-2004. Проектирование звукоизоляции гражданских зданий. [Текст]. – М.:Госстрой России, 2005. – 140 с
10. Гречишкин, А.В. Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций зданий [Текст] / А.В. Гречишкин, О.Л. Викторова, С.В. Зворыгина. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 86 с.
11. Разживин, В.М. Проектирование залов с естественной акустикой [Текст] / В.М. Разживин, О.Л. Викторова, Л.Н. Петрянина.– Пенза: ПГУАС, 2013. – 75 с.
12. Береговой, А.М. Энергоэкономичные и энергоактивные здания в архитектурно-строительном проектировании [Текст] / А.М. Береговой, А.В. Гречишкин, В.А. Береговой. – 3-е изд., перераб. и доп.– Пенза: ПГУАС, 2012. – 200 с.
13. Соловьев, А.К. Физика среды [Текст] / А.К. Соловьев. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 342 с.
14. СП52.13330.2011 СНиП 23-05–95 «Естественное и искусственное освещение». – М.: Минрегион России, 2011.
15. Дятков, С.В. Архитектура промышленных зданий [Текст]: учебник для вузов / С.В Дятков, А.П. Михеев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 480 с.
16. Архитектура гражданских и промышленных зданий. Т.II. Основы проектирования [Текст] / под ред. В.М. Предтеченского. – М.: Стройиздат, 1976. – 215 с.
17. Викторова, О.Л. Основы строительной физики [Текст]: учеб. пособие [Текст] / О.Л. Викторова, О.В. Карпова. – Пенза: ПГУАС, 2005.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Раздел 1. СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА	5
Лекция 1. МИКРОКЛИМАТ ПОМЕЩЕНИЙ.....	5
1.1. Факторы, влияющие на самочувствие человека в помещении	5
1.2. Влажность воздуха.....	6
1.3. Определение температурно-влажностного режима в помещении.....	8
1.4. Определение условий эксплуатации ограждающей конструкции.....	9
Лекция 2. ПРОЦЕССЫ ТЕПЛООБМЕНА В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ.....	10
2.1. Задачи строительной теплотехники	10
2.2. Виды теплообмена	11
2.3. Показатели теплотехнических свойств ограждающей конструкции	12
2.4. Расчёт температур в толще ограждающей конструкции	16
2.5. Проектирование стен с воздушными прослойками.....	17
Лекция 3. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОДНОРОДНЫХ И НЕОДНОРОДНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ	19
3.1. Теплотехнический расчёт однородных ограждающих конструкций.....	19
3.2. Особенности изменения значений сопротивления теплопередаче углового простенка	21
3.3. Приближенный метод расчета неоднородных ограждающих конструкций.....	22
3.4. Теплоустойчивость ограждений.....	24
Лекция 4. ОЦЕНКА ВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ	25
4.1. Определение возможности образования конденсата на внутренней поверхности стены	25
4.2. Паропроницаемость ограждающих конструкций.....	26
4.3. Определение парциального давления помещения в толще ограждений	27
Раздел 2. АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНАЯ АКУСТИКА	30
Лекция 5. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВУКОВОГО ВОСПРИЯТИЯ В ПОМЕЩЕНИЯХ. АКУСТИКА ПОМЕЩЕНИЙ.....	30
5.1. Основные определения, характеристики звука.....	30
5.2. Диффузность звукового поля.....	34
5.3. Время реверберации и его расчеты	35
5.4. Основы геометрической акустики закрытых помещений	39
5.5. Условия возникновения эха в помещении.....	41
5.6. Разборчивость речи в зале.....	42
Лекция 6. ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ПРОНИКНОВЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ШУМА.....	44
6.1. Виды шумов. Уровень шума в помещениях	44

6.2. Методики определения звукоизоляции ограждающих конструкций от проникновения воздушного шума.....	47
Лекция 7. ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ПРОНИКНОВЕНИЯ УДАРНОГО ШУМА	55
7.1. Экспериментальный способ оценки звукоизоляции междуэтажного перекрытия от проникновения ударного шума.....	55
7.2. Методика определения звукоизоляции междуэтажных перекрытий от проникновения ударного шума с известной частотной характеристикой.....	56
7.3. Определение звукоизоляции перекрытия с полами на упругом основании	57
Раздел 3. СТРОИТЕЛЬНАЯ СВЕТОТЕХНИКА	61
Лекция 8. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ СВЕТОТЕХНИКИ	61
8.1. Основные понятия, величины, единицы светотехники.....	61
8.2. Естественное освещение помещений	64
8.3. Основные законы светотехники.....	65
Лекция 9. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СВЕТОВОЙ СРЕДЫ ПОМЕЩЕНИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	69
9.1. Характеристики естественного света	69
9.2. Расчет и нормирование естественного освещения	71
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	85
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	86

Учебное издание

Викторова Ольга Леонидовна

СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА. КУРС ЛЕКЦИЙ

Учебное пособие по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»

Редактор Н.Ю. Шалимова

Верстка Т.А. Лильп

Подписано в печать 10.02.16. Формат 60×84/16.
 Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
 Усл.печ.л. 5,12. Уч.-изд.л. 5,5. Тираж 80 экз.
 Заказ № 100.



Издательство ПГУАС.
 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.