

---

А.К. Соловьев

# ФИЗИКА СРЕДЫ



**А.К. Соловьев**

# **ФИЗИКА СРЕДЫ**

Рекомендовано учебно-методическим объединением вузов РФ по образованию  
в области строительства в качестве учебника для специальности 270114  
«Проектирование зданий»



Издательство Ассоциации строительных вузов  
Москва 2008

Рецензент:

Зав. кафедрой «Проектирование зданий» Казанского государственного  
университета,  
д.т.н., профессор, член-корреспондент РААСН  
*Куприянов В.Н.*

**Соловьев А.К.**

Физика среды. Учебник: - М.: Издательство АСВ, 2008. – 344 с.

ISBN 978-5-93093-629-2

Учебник «Физика среды» написан в соответствии с требованиями разрабатываемого в настоящее время Государственного Образовательного Стандарта (ГОС) третьего поколения для многоуровневой подготовки по направлению «строительство» бакалавров, магистров, а также специалистов по специальности «Проектирование зданий». Кроме того, книга может быть использована как учебное пособие по специальности «Промышленное и гражданское строительство», где курс «Физика среды» должен быть включен в вариативную часть дисциплин по этой специальности ГОС. Она может также быть использована студентами архитектурных вузов и факультетов.

В книге приводятся разделы «Климат и архитектура», «Строительная теплотехника», «Свет в архитектуре и строительстве» и «Архитектурно-строительная акустика». Все разделы сопровождаются примерами расчетов и указаниями по проектированию, основанными на современных нормативных источниках. В раздел «Свет в архитектуре и строительстве» впервые включены опробированные разработки автора в области расчетов естественного освещения и инсоляции.

Учебник может быть использован студентами для изучения строительной физики курсового и дипломного проектирования. Книга может быть использована также специалистами-проектировщиками при проектировании зданий и ограждающих конструкций.

© Соловьев А.К., 2008

© Издательство АСВ, 2008

ISBN 978-5-93093-629-2



9 785930 936292

## Оглавление

Физика среды и ограждающих конструкций .....	5
КЛИМАТ И АРХИТЕКТУРА.....	7
1. СТРОИТЕЛЬНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ .....	7
1.1. Климат .....	7
1.2. Методы строительной климатологии .....	8
1.3. Климатические факторы, влияющие на проектирование и строительство зданий .....	9
1.4. Климат России и его влияние на архитектуру зданий .....	10
СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА.....	15
2. ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ.....	15
2.1. Теплозащита зданий и ее задачи .....	15
2.2. Источники тепла .....	18
2.3. Факторы, влияющие на теплозащиту зданий. Общие факторы .....	18
2.4. Виды теплопередачи .....	19
2.5. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций при установившемся потоке тепла .....	21
2.6. Теплотехнический расчет неоднородных ограждающих конструкций с теплопроводными включениями .....	28
2.7. Теплопередача в нестационарных условиях и теплоустойчивость ограждающих конструкций .....	34
2.8. Требования по теплозащите здания в целом.....	44
3. ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТЬ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ .....	52
4. ЗАЩИТА ОТ ВЛАЖНОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ПОМЕЩЕНИЙ.....	65
4.1. Агрегатные состояния влаги.....	65
4.2. Вода и ее значение в строительстве .....	66
4.3. Капиллярность .....	68
4.4. Гидроизоляция .....	70
4.5. Влажность воздуха и ее влияние на самочувствие человека и состояние ограждающих конструкций .....	74
4.6. Примеры анализа влажностного состояния конструкций .....	95
СВЕТ В АРХИТЕКТУРЕ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ .....	107
5. ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ И ИНСОЛЯЦИЯ.....	107
5.1. Общие положения.....	107
5.2. Основные понятия, величины, единицы.....	111
5.3. Методы расчета КЕО.....	113
5.4. Световой климат местности .....	130
5.5. Нормирование естественного освещения.....	137
5.6. Проектирование систем естественного освещения .....	142
5.7. Примеры проектирования и расчетов естественного освещения .....	152
5.8. Измерение естественной освещенности .....	160
5.9. Совмещенное освещение помещений.....	162
5.10. Современные тенденции в расчетах и проектировании естественного и совмещенного освещения .....	167
5.11. Расчет КЕО при применении трубчатых световодов .....	173

5.12. Инсоляция и солнцезащита .....	181
5.13. Техничко-экономическая и энергетическая оценка систем естественного освещения зданий .....	197
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНАЯ АКУСТИКА .....	203
6. ЗАЩИТА ОТ ШУМА В ЗДАНИЯХ (ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ) .....	203
6.1. Звук. Основные понятия .....	203
6.2. Борьба с шумом в помещениях .....	210
6.3. Нормативные требования к звукоизоляции ограждающих конструкций .....	212
6.4. Изоляция от воздушного шума .....	213
6.5. Изоляция ударного шума междуэтажными перекрытиями .....	235
6.6. Борьба с шумом от инженерного и санитарно-технического оборудования .....	239
6.7. Определение общего уровня шума от нескольких источников .....	242
7. ЗАЩИТА ОТ ШУМА В ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВЕ .....	244
7.1. Внешние источники шума .....	244
7.2. Архитектурно-планировочные методы борьбы с шумом .....	249
8. АРХИТЕКТУРНАЯ АКУСТИКА .....	258
8.1. Методы расчета звукового поля .....	259
8.2. Расчет времени реверберации .....	263
8.3. Влияние формы залов и их отдельных поверхностей на их акустические качества .....	265
8.4. Звукопоглощающие материалы и конструкции .....	267
8.5. Проектирование залов с естественной акустикой .....	274
8.6. Залы, акустика которых полностью основана на электроакустических системах .....	285
Приложение .....	287

## Физика среды и ограждающих конструкций

Архитектурно-конструктивное проектирование предполагает доскональное знание физики внутренней среды в зданиях и физических процессов, происходящих в ограждающих конструкциях. От этого зависят комфорт внутренней среды и долговечность зданий. В разные периоды строительства этим вопросам уделялось большее или меньшее внимание. И не случайно памятники архитектуры и просто здания конца XIX - начала XX в. до настоящего времени являются образцами внутреннего комфорта и долговечности. В этот период руководство строительством вели архитекторы, инженерная подготовка которых была очень высокой.



Комфорт помещений определяется самочувствием человека. Факторы, влияющие на комфорт помещения:

- тепловой режим;
- влажностный режим;
- воздушный режим (чистота воздуха и воздухопроницаемость конструкций);
- шумовой режим;
- световой режим;
- инсоляция.

Это наиболее общие факторы, определяющие комфорт во всех зданиях. В зрелищных зданиях к ним добавляются акустика помещений, обеспечивающая

красоту звучания и разборчивость речи, а также видимость и зрительное восприятие. Во всех типах зданий к перечисленным факторам можно добавить факторы психофизического комфорта, такие как связь с внешней средой или защищенность от внешних влияний, пожарная безопасность, безопасная эвакуация людей из зданий и комфортное движение людских потоков.

Кроме этих факторов существует ряд недостаточно изученных факторов, действующих в течение длительного времени, таких как геопатогенные зоны Земли, действие сверхмалых доз радиоактивного излучения строительных материалов, электромагнитное излучение бытовых приборов, влияния радона и др. Некоторые из них, такие как влияние радона, уже внесены в Нормы. Другие еще нуждаются в дополнительных исследованиях, но принимать их во внимание необходимо.

Такие разделы курса «Физика среды и ограждающих конструкций», как «Свет и цвет в архитектуре», «Искусственное освещение интерьеров зданий и городов», относятся к специальным вопросам архитектурного проектирования и рассматриваются отдельно, в рамках специального курса для инженеров-архитекторов.

# КЛИМАТ И АРХИТЕКТУРА

## 1. СТРОИТЕЛЬНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ

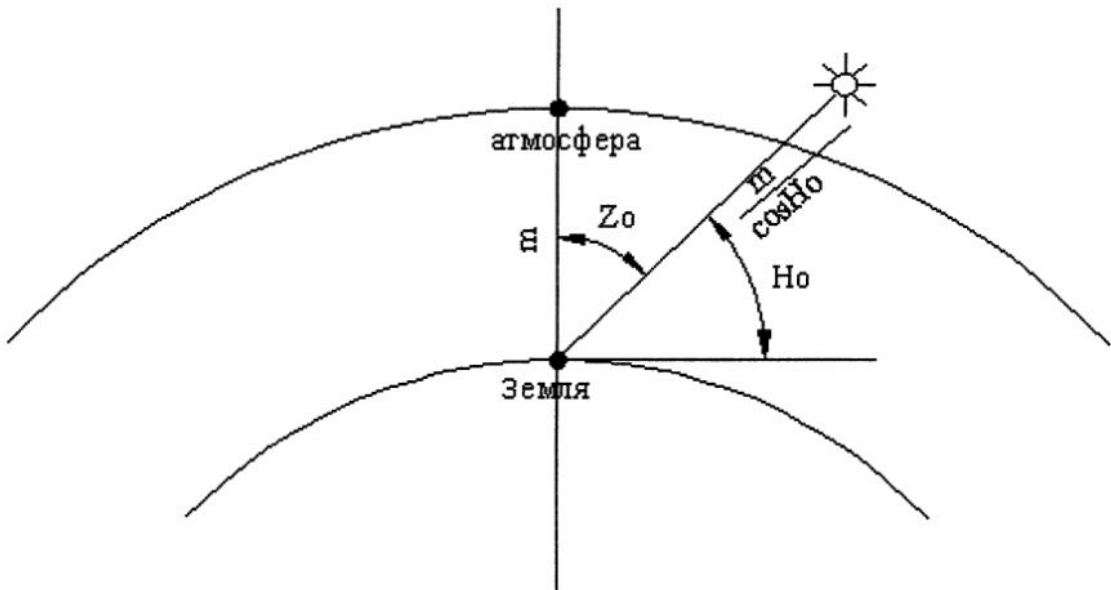
### 1.1. Климат

Слово «климат» греческое. В переводе оно означает «наклон». В Древней Греции считали, что состояние атмосферы и его основного показателя – температуры воздуха – зависит только от угла наклона солнечных лучей к поверхности Земли (рис. 1.1).

Предполагалось, что чем меньше угол  $Z_0$  (см. рис. 1.1), тем больше температура поверхности Земли и воздуха. Поэтому климат делился по широтным полосам земной поверхности на холодный, умеренный и жаркий.

Однако в пределах одной и той же широты могут быть разные климаты: Лондон, Копенгаген, Клайпеда, Москва, Екатеринбург, Новосибирск, Нижнеангарск, Бодайбо, Аян (на берегу Охотского моря). Различие Бодайбо и Лондона – разительны, хотя приход солнечной радиации на границу атмосферы в этих местах один и тот же.

Первая книга о климате была написана Аристотелем («Метеорология», II в до н.э.). В I в. н.э. греческие ученые сделали попытку классифицировать климаты Земли. Полибий разделил землю на шесть климатических поясов. Однако описание климата великих путешественников Марко Поло, Афанасия Никитина показали, что эта схема является очень упрощенной. Первые научные исследования о климатологии и метеорологии в России проводил М.В. Ломоносов.



**Рис. 1.1.** Схема падения солнечных лучей на поверхность Земли:  
 $Z_0$  – зенитное расстояние солнца, град.;  $H_0$  – угловая высота Солнца, град



Он объяснил влияние моря на климат, причину суровости климата Сибири зимой, зональности климата в горных районах аналогично тому, как изменяется климат от экватора к полюсу.

Приток солнечной радиации является одним из важнейших факторов, определяющих климат на поверхности Земли. Однако тепло на поверхность может поступать не только от Солнца, но и переноситься из различных районов Земли путем циркуляции воздуха. В холодное время года воздушными течениями тепло переносится с поверхности морей и океанов, так как вода медленно нагревается, но и сохраняет тепло дольше, чем суша. По этой причине осень на побережье теплее, чем на материке, а весна – холоднее.

На климат влияют:

- теплые и холодные течения в морях и океанах (например, Гольфстрим смягчает климат Европы и даже Западной Сибири);
- испарение и конденсация влаги (облака, снижение интенсивности солнечной радиации, охлаждение воздуха при испарении);
- горы и крупный рельеф (орография) местности (создание особого горного климата). Этот климат зависит от высоты над уровнем моря, ориентации склонов по сторонам света и по отношению к потокам воздуха, несущим влагу. Многие горные хребты являются климатическими границами. Примером может служить Черноморское побережье Кавказа. Здесь Кавказский хребет преграждает зимой путь холодным ветрам с севера и востока и препятствует оттоку теплого воздуха, нагретого морем, в побережья. Так образуются российские субтропики;
- озера, реки, моря, пашня (поглощение большого количества тепла); в Арктике и Антарктике, несмотря на большое количество приходящего от Солнца тепла, температура редко бывает положительна, так как большая часть солнечной радиации или отражается, или затрачивается на таяние льда и снега.

## 1.2. Методы строительной климатологии

- Метеорологические наблюдения.

До 1991 г. в СССР имелись метеорологические станции в более чем 20 000 пунктов, которые осуществляли регулярные записи температуры, влажности, скорости и направления ветра, количества осадков. Кроме того, существовали актинометрические станции, где кроме перечисленных наблюдений проводились записи суммарной и рассеянной солнечной радиации\*, велась статистика облачности. На геофизических станциях проводились вышеперечисленные измерения и сейсмологические записи, а также записи других подвижек земной коры.

---

\* Рассеянная солнечная радиация – отраженная радиация от облаков, облачного неба, взвешенных частиц пыли, газов и других, вызванных человеком и эрозией выделений в атмосферу;

суммарная солнечная радиация – сумма прямой радиации и рассеянной радиации от Солнца.

Кроме того, существовали станции наблюдения за световым климатом, где велась статистика уровней освещенности на горизонтальной поверхности под открытым небом.

В настоящее время все разновидности этих станций существуют, однако их количество значительно уменьшено. Так, например, из 48 станций, в которых в 1996 г. проводились записи естественной освещенности во всем мире, в России было всего две станции - в Москве (МГУ) и в Воейкове под Санкт-Петербургом. К примеру, в Японии их было 13.

- Расчетные методы, учитывающие локальные наблюдения и распространяющие их на требуемые параметры. Например, светоклиматические наблюдения (записи освещенности, яркости неба) проводились в немногих местах. Но в очень многих местах проводились записи солнечной радиации и велась статистика облачности (актинометрические станции). Были определены световые эквиваленты солнечной радиации и сделаны расчеты статистического хода освещенности для этих пунктов.
- С развитием теории климата появилась возможность прогнозировать распространение некоторых его характеристик по земной поверхности.
- Статистические методы, позволяющие определять закономерности по имеющимся данным.

### **1.3. Климатические факторы, влияющие на проектирование и строительство зданий**

1. Температура наружного воздуха.
2. Влажность наружного воздуха.
3. Ветер, его направление и скорость.
4. Солнечная радиация на различно ориентированных поверхностях для различных широт.
5. Дневной и годовой ход естественной освещенности (диффузной и суммарной), яркость ясного неба и статистическая яркость неба.
6. Облачность, вероятность пасмурного, полуюсного и ясного неба.
7. Статистика дождевых и снеговых осадков, снеговые нагрузки, вероятность и объем снегопереноса.
8. Глубина промерзания грунтов.

Эти сведения собраны в СНиП «Строительная климатология», а также в различных климатических справочниках, таких как старый СНиП II А.6-72, являющийся одним из наиболее полных справочников по климатическим данным России, используемым в строительстве.

Более подробное рассмотрение факторов климата, влияющих на проектирование и строительство зданий, будем производить при изучении соответствующих разделов дисциплины «Физика среды и ограждающих конструкций».

## 1.4. Климат России и его влияние на архитектуру зданий

Температура и влажность воздуха – характеристики, в наибольшей степени характеризующие климат местности. Для основных городов России эти параметры, среднестатистические для каждого месяца в году, представлены в СНиПе 23-01-99 «Строительная климатология». Виды погоды характеризуются градациями температуры в данной местности. Наибольшее значение имеет температура в течение рабочего дня  $t_{\text{ср.}}^{\text{дн.}}$ . В отношении теплового воздействия на человека характерны следующие виды погоды:

Холодная ( $t_{\text{ср.}}^{\text{дн.}} < +8^{\circ}\text{C}$ ); требуется отопление гражданских зданий.

Прохладная ( $t_{\text{ср.}}^{\text{дн.}} = +8...+15^{\circ}\text{C}$ ); при этой температуре, как правило, держат закрытыми окна и не пользуются длительно балконами, лоджиями и террасами.

Теплая ( $t_{\text{ср.}}^{\text{дн.}} = +16...+28^{\circ}\text{C}$ ); позволяет длительно использовать открытые помещения.

Жаркая (выше  $+28^{\circ}\text{C}$ ); вызывает необходимость ограничения перегрева помещений и использования искусственного охлаждения воздуха.

Кроме того, для многих районов целесообразно выделение очень холодной ( $t_{\text{ср.}}^{\text{дн.}} < -12^{\circ}\text{C}$ ) и очень жаркой (выше  $+32^{\circ}\text{C}$ ) погоды, неблагоприятно воздействующей на человека.

В СНиП «Строительная климатология» даются среднемесячные температуры воздуха, включающие температуру в ночное время.

$$t_{\text{ср.}}^{\text{дн.}} = t_{\text{ср.}}^{\text{мес.}} + 0,7 A_{\text{тн}},$$

где  $A_{\text{тн}}$  - средняя амплитуда колебаний температуры в течение суток для данного месяца. Ее величины не приводятся в СНиП 23-01-99 «Строительная климатология» (рис. 1.2). Поэтому при климатическом анализе надо пользоваться СНиП II-A.6-72.

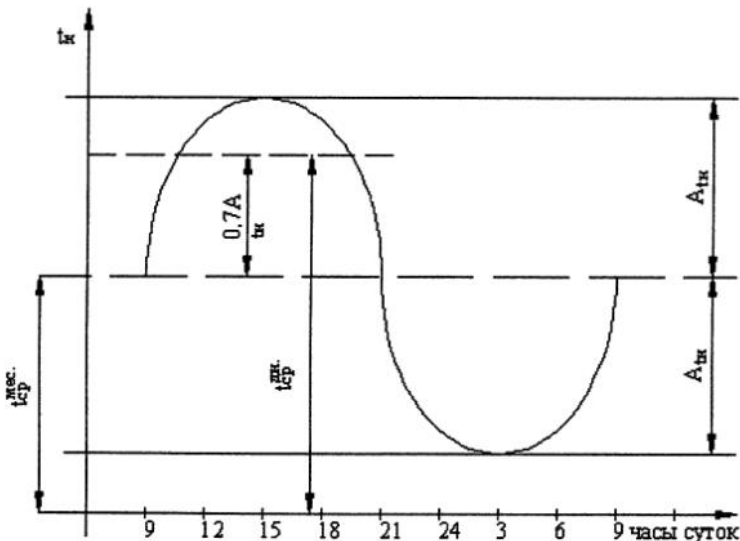


Рис. 1.2. Определение средней дневной температуры воздуха

Пример 1. г. Сочи Краснодарского края

№ п/п	Месяц	$t_{\text{мес. ср.}}$	$A_{\text{ин}}$	$t_{\text{дн. ср.}}$	Тип погоды	Примечание
1	Январь	4,9	16,9	16,7	Теплая (Т)	Позволяет использовать открытые помещения
2	Февраль	5,3	20,6	19,7	Теплая (Т)	Позволяет использовать открытые помещения
3	Март	7,6	18,6	20,6	Теплая (Т)	Позволяет использовать открытые помещения
4	Апрель	11,1	19,7	24,9	Теплая (Т)	Позволяет использовать открытые помещения
5	Май	15,7	16,7	27,4	Теплая (Т)	Позволяет использовать открытые помещения
6	Июнь	19,7	15,3	30,4	Жаркая (Ж)	Требуются солнцезащита и охлаждение
7	Июль	22,5	14,6	32,7	Очень жаркая (ОЖ)	Требуются солнцезащита и охлаждение
8	Август	22,8	13,2	32,0	Жаркая (Ж)	Требуются солнцезащита и охлаждение
9	Сентябрь	19,1	13,6	28,6	Жаркая (Ж)	Требуются солнцезащита и охлаждение
10	Октябрь	14,8	16,3	26,2	Теплая (Т)	Позволяет использовать открытые помещения
11	Ноябрь	10,4	17,9	22,9	Теплая (Т)	Позволяет использовать открытые помещения
12	Декабрь	7,2	14,4	17,3	Теплая (Т)	Позволяет использовать открытые помещения

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

Таким образом, в течение четырех месяцев в году необходимо ограничение перегрева помещений с помощью солнцезащитных устройств и применение искусственного охлаждения воздуха. В остальное время года можно использовать летние помещения. Отопление практически не требуется и должно быть устроено исключительно для обогрева помещений в случаях непредвиденного понижения температуры воздуха.

Тип здания должен устанавливаться с учетом защиты помещений от перегрева в жаркий период года. Целесообразны открытые помещения, озеленение и обводнение вокруг зданий. Необходимы солнцезащита и искусственное охлаждение. Ориентация продольных фасадов должна быть широтной (С-Ю) с расположением в северной части обслуживаемых и коммуникационных помещений, лестниц, кухонь и т.п., а в южной части – большей части жилых комнат.

При правильном проектировании зданий, применении солнцезащиты и специальных систем, использующих солнечную энергию для горячего водоснабжения и отопления, можно свести энергопотребление при эксплуатации здания к минимуму.

Пример 2. г. Якутск (Республика Саха-Якутия)

№№ п/п	Месяц	$t_{\text{мес. ср.}}$	$A_{\text{тн}}$	$t_{\text{дн. ср.}}$	Тип погоды	Примечание
1	Январь	-43,2	21,1	-28,4	Очень холодная (ОХ)	Требуются специальные мероприятия и отопление
2	Февраль	-35,9	27,3	-16,8	Очень холодная (ОХ)	Требуются специальные мероприятия и отопление
3	Март	-22,2	29,5	-1,5	Холодная (Х)	Требуется отопление
4	Апрель	-7,4	30,1	13,7	Прохладная (П)	Требуется отопление
5	Май	5,7	24,7	23,0	Теплая (Т)	Позволяет использовать открытые помещения
6	Июнь	15,4	25,5	33,2	Очень жаркая (ОЖ)	Требуются солнцезащита и охлаждение
7	Июль	18,7	26,4	37,2	Очень жаркая (ОЖ)	Требуются солнцезащита и охлаждение
8	Август	14,8	26,5	33,3	Очень жаркая (ОЖ)	Требуются солнцезащита и охлаждение
9	Сентябрь	6,2	25,4	24,0	Теплая (Т)	Позволяет использовать открытые помещения
10	Октябрь	-7,9	24,0	8,9	Прохладная (П)	Требуется отопление
11	Ноябрь	-28,0	27,0	-9,1	Холодная (Х)	Требуется отопление
12	Декабрь	-39,8	26,4	-21,3	Очень холодная (ОХ)	Требуются специальные мероприятия и отопление

Как видно из таблицы, климат в г. Якутске резко континентальный. В течение 7 месяцев в году требуется отопление, причем в течение трех месяцев погода очень холодная, неблагоприятно воздействующая на человека. В течение трех месяцев в году погода очень жаркая, требующая ограничения перегрева и искусственного охлаждения. Все это необходимо учитывать при проектировании, применять двойные тамбуры, закрытые переходы между домами и другие специальные мероприятия.

Здесь тоже возможна экономия энергозатрат при эксплуатации зданий. Особенно за счет горячего солнечного водоснабжения и солнечного отопления в апреле и сентябре. Однако эта экономия будет значительно меньше, чем в примере 1.

Приведенные примеры представляют собой элемент климатического анализа в архитектурно-строительном проектировании. Этот анализ ведется «от общего к частному», т.е. от оценки фоновых закономерностей, характерных для крупных территорий, к оценке микроклимата конкретных участков строительства с учетом рельефа, растительности, водных пространств, характера застройки. Эти факторы могут влиять на фоновые характеристики, которые принимаются по СНиП «Строительная климатология». Схематическая карта климатического районирования для строительства приведена на *рис. 1.3*. Согласно этой карте, территория России разделена на IV пояса с подрайонами. По этой карте и таблицам в СНиП «Строительная климатология» выявляются сезоны года, определяющие тип зданий в данной местности. Так, например, климат в примере 1 может быть кратко описан так:

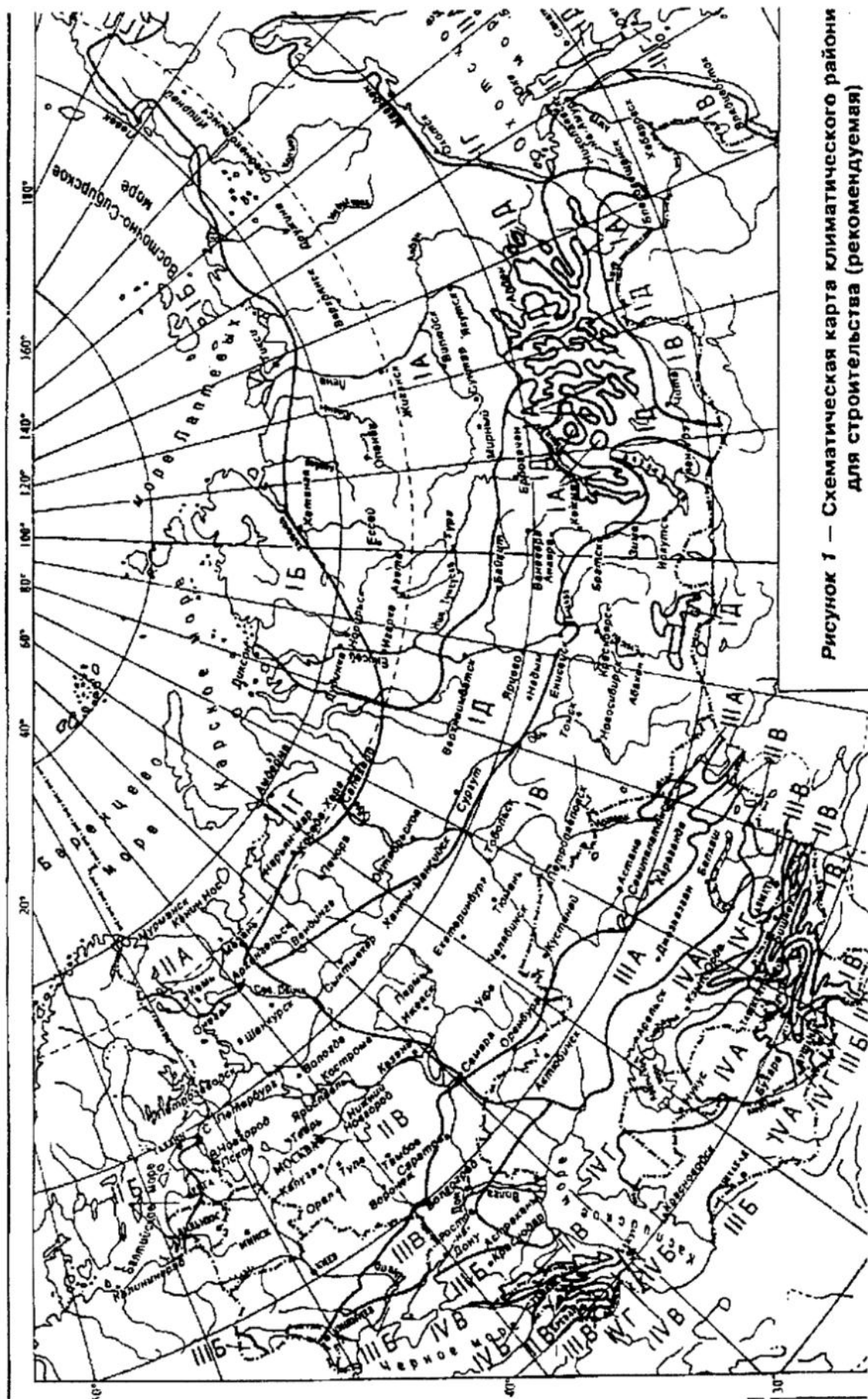


Рисунок 1 — Схематическая карта климатического района для строительства (рекомендуемая)

Рис. 1.3.

г. Сочи: 8·Т+3·Ж+1·ОЖ;

г. Якутск: 3·ОХ+2·Х+2·П+2·Т+3·ОЖ

Анализ ветрового режима по сторонам горизонта и суммарной радиации на различно ориентированных поверхностях позволяет решить вопрос о направлениях раскрытия архитектурного пространства или его защиты.

При оценке конкретного участка проектировщик изучает ландшафт, рельеф площадки, делает поправки на микроклимат склонов разной ориентации, устанавливает условия обдувания зданий ветром, рассчитывает инсоляцию, естественное освещение помещений и др. Для этого используются геодезические подосновы участков с горизонталями, отметками, существующей застройкой. При утверждении проекта в территориальном Архитектурно-планировочном управлении требуется представление следующих разделов проекта, связанных с вопросами физики среды и ограждающих конструкций:

- энергосбережение и строительная теплотехника;
- защита от шума;
- естественное освещение и инсоляция.

Без согласования этих разделов любое строительство зданий (за исключением индивидуального строительства) считается незаконным. Ниже приводят-ся разделы дисциплины, освещающие эти темы. Вопросы строительной климатологии, касающиеся этих разделов, будут освещены в них более детально.

### **Список литературы к разделу «Климат и архитектура»**

1. В.Н. Куприянов. Строительная климатология и физика среды. Издательство Каз ГАСУ. Казань, 2007.
2. В.В. Холщевников, А.В. Луков. Климат местности и микроклимат помещений. Издательство АСВ. Москва, 2001.
3. В.К. Лицкевич. Жилище и климат. Стройиздат. Москва, 1984.
4. М.В. Заварина. Строительная климатология. Гидрометеоиздат. Москва, 1976.
5. СНиП 23-01-99\*. Строительная климатология. Москва, 2003.
6. СНиП ПА.6-72. Строительная климатология и геофизика. Стройиздат. Москва, 1972 (Рекомендуется в качестве справочника).

# СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

## 2. ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ

Задача обеспечения комфортного температурно-влажностного режима зданий решается двумя способами. Первый способ – это создание такого архитектурно-планировочного и конструктивного решения зданий, которое обеспечивало бы минимальные теплопотери и максимальные поступления тепла от Солнца зимой и минимальные тепlopоступления в здание в летнее время.

Второй способ – это оборудование здания современными надежными системами отопления, вентиляции и охлаждения воздуха. Этим занимаются специалисты по отоплению и вентиляции, разработчики инженерного оборудования зданий.

Инженеры-строители и архитекторы занимаются проектированием зданий и их конструкций, решают, таким образом, эту задачу первым способом. Однако от того, насколько качественно эта задача решена, зависит энергоэкономичность работы инженерного оборудования.

Так, например, в административном здании башенного типа с огромными ленточными окнами по всему периметру даже в умеренном климате Москвы в рабочих помещениях нельзя обеспечить комфортный температурный режим только с помощью кондиционеров, не применяя солнцезащитные средства.

### 2.1. Теплозащита зданий и ее задачи

Комфорт температурно-воздушной среды зависит от следующих факторов:

- температура внутреннего воздуха: оптимально 20-22 °С;
- температура внутренних поверхностей, ограждающих помещение: стены – минимум 16-18 °С. Если температура ниже – появляется ощущение сквозняка около стен, на стенах возможно выпадение конденсата. Температура пола – оптимально 22-24 °С;
- тепловая инерция (накопление тепла) ограждающих конструкций помещений. Барачный микроклимат – это быстрый нагрев и быстрое охлаждение помещений;
- относительная влажность воздуха в помещении: нормальная – 50-60%. Менее 40% - сухость слизистой оболочки. Более 60% - парниковый микроклимат;
- движение воздуха: максимально - 0,2 м/с, больше 0,2 м/с - возникает ощущение сквозняка;
- деятельность человека: при сидячей работе требуется большая температура воздуха, чем при подвижной работе.

Теплозащита должна обеспечить комфорт в помещении как в зимних (защита от холода), так и в летних (защита от перегрева) условиях.



Ощущение комфорта в помещении зависит от температуры воздуха и средней температуры поверхностей, ограждающих помещение (рис. 2.1). Как видно из рис. 2.1, при температуре воздуха  $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$  комфортность обеспечивается при средней температуре ограждающих поверхностей  $+14\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При температуре  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  человеку будет слишком холодно, а при  $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$  – слишком жарко. При температуре воздуха  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  эти границы составят  $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вообще люди оценивают температурную среду в помещении как комфортную, если зимой поверхности не более чем на  $4^{\circ}$  холоднее воздуха, а летом – не более чем на  $4^{\circ}$  теплее.

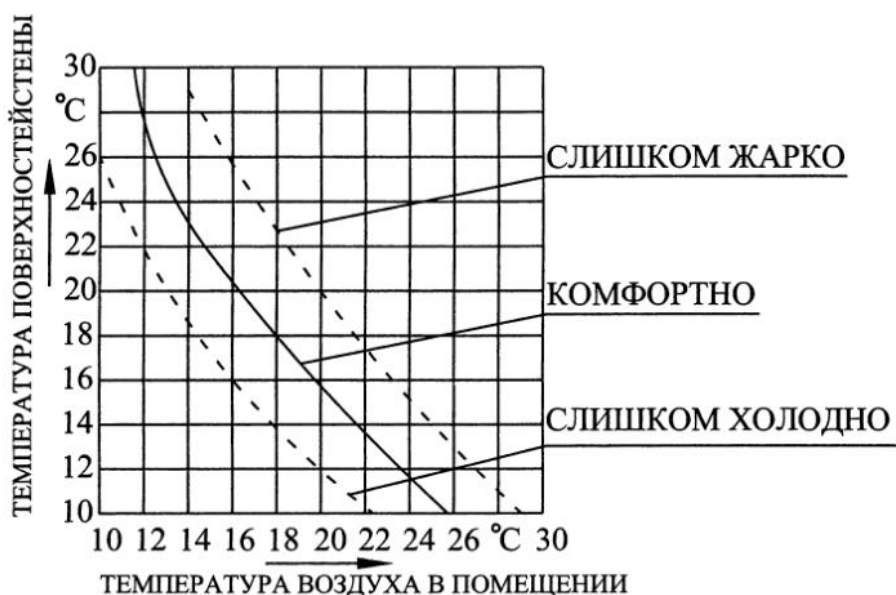


Рис. 2.1. Зависимость ощущения комфорта в помещении от температуры воздуха и средней температуры поверхностей, ограждающих помещение

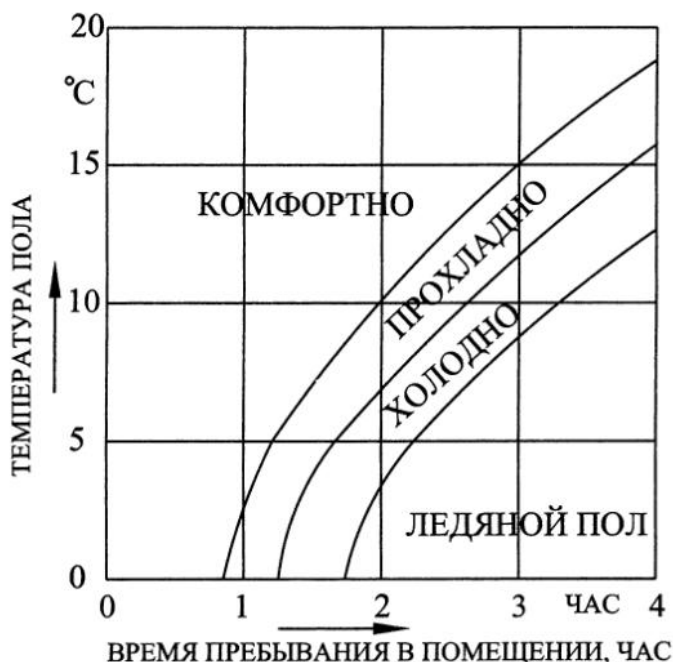


Рис. 2.2. Зависимость ощущения комфорта в помещении от температуры поверхности пола

Особым образом комфорт температурной среды зависит от температуры поверхности пола (рис. 2.2). Это объясняется непосредственным контактом тела человека с полом. Температура пола не должна быть ниже 15-20 °С. При этом существенную роль играет продолжительность пребывания человека в помещении. При пребывании длительностью свыше 4 часов температура пола 22-24 °С воспринимается как приятная. Однако при устройстве напольного отопления (теплые полы) их температура не должна превышать 25-30 °С.

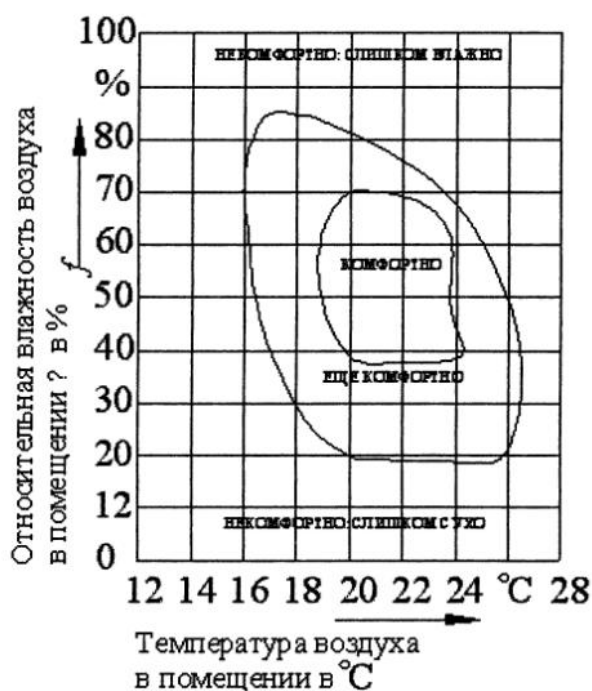


Рис. 2.3. Относительная влажность воздуха и комфорт

Кроме того, ощущение комфорта при одной и той же температуре зависит от влажности воздуха в помещении. Человек чувствует дискомфорт при температуре ниже 17 °С и выше 26 °С независимо от влажности. Однако внутри этого диапазона существует зона комфорта, зависящая от влажности воздуха. Причем при повышении температуры влажность переносится все хуже (рис. 2.3).

Кроме обеспечения комфорта теплозащита должна защищать конструкции от температурных воздействий, предотвращая температурные напряжения и температурные деформации и связанные с ними повреждения конструкций.

Очень велико значение теплозащиты по условиям экономии энергии. Сырьевые запасы в мире истощаются. Нефть, газ, уголь становятся дефицитными, так как они невозпроизводимы. Их необходимо экономить.

Также велико значение теплозащиты по условиям охраны окружающей среды. Чем меньше сжигается топлива, тем меньше выбросы вредных газов (углекислый газ  $\text{CO}_2$ , угарный газ  $\text{CO}$ , окислы азота и серы). В соединении с дождевой водой они образуют кислотные дожди, разрушающие природу, здания и сооружения.

Поэтому теплозащита – это также и защита окружающей среды.

## 2.2. Источники тепла

Источники тепла можно подразделить на природные и искусственные.

### Природные:

#### 1. Солнечная энергия:

- солнечные коллекторы, в которых солнечным теплом нагревается вода, используемая для отопления и горячего водоснабжения;
- фотоэлементы, преобразующие солнечное излучение в электрический ток;
- архитектурно-строительные решения, собирающие солнечную энергию, транспортирующие ее вглубь здания, аккумулирующие ее там и отдающие тепло в воздух помещения, когда это необходимо. Такие решения называются пассивными системами солнечного отопления и охлаждения.

#### 2. Вода, обладающая большой теплоемкостью. Она долго нагревается, но и долго сохраняет тепло. Это тепло отбирается, уплотняется с помощью теплонасосов и используется для отопления и горячего водоснабжения.

- Воздух. Тепловой насос воздух-вода.
- Земля. Тепловой насос земля-вода.
- Ветер. Ветровые электростанции.

#### 3. Отходы сельскохозяйственного производства, используемые для отопления коровников и т.п.

### Искусственные:

#### 1. Механические: трение.

#### 2. Химические: уголь, нефть, газ.

#### 3. Электрические: электроэнергия.

#### 4. Атомные: ядерная энергия.

## 2.3. Факторы, влияющие на теплозащиту зданий.

### Общие факторы

1. Климат местности.
2. Теплоизоляция ограждающих конструкций.
3. Тепловая инерция ограждающих конструкций, таких как стены, потолки, полы – способность к накоплению тепла и постепенной его отдаче.
4. Расположение отдельных слоев в многослойной ограждающей конструкции. Правильное расположение слоев предотвращает увлажнение внутри конструкции за счет конденсации водяного пара, влияет на величину тепловой инерции.
5. Общий коэффициент пропускания энергии окнами и прочими светопрозрачными конструкциями, такими как
  - балконные и другие наружные остекленные двери;
  - зимние сады;

- прозрачная теплоизоляция;
- стекла с металлическим напылением.

6. Отношение площади окон и других светопрозрачных конструкций к площади наружных ограждающих конструкций.
7. Ориентация окон и других светопрозрачных конструкций по сторонам света.
8. Возможности вентиляции, открывание окон и дверей, воздухопроницаемость ограждающих конструкций.
9. Окраска наружных поверхностей стен. Светлые поверхности отражают, а темные поглощают солнечные лучи.

Все эти факторы будут рассмотрены отдельно в зависимости от того, какая теплозащита требуется, - зимняя или летняя. Для некоторых факторов требования к зимней и летней теплозащите совпадают (например, тепловая инерция), в других случаях они могут не совпадать (например, окраска наружных поверхностей стен или расположение слоев в ограждающей конструкции).

## 2.4. Виды теплопередачи

*Теплопроводность.* У жестких материалов – передача тепла от молекулы к молекуле. В металлах – это усиление потока электронов. Чем выше электропроводность металла, тем больше его теплопроводность. В камневидных материалах (например, бетон) – это преимущественно волны тепловых упругих колебаний структуры. Чем тяжелее атомы или атомные группы, образующие кристаллы в структуре материала, и чем слабее они между собой связаны, тем меньше теплопроводность материала (рис. 2.4). Так, бетоны на карбонатном песке (Ca) обладают меньшей теплопроводностью, чем бетоны на кварцевом песке (Si). Количество тепла, передаваемого теплопроводностью, зависит от следующих факторов:

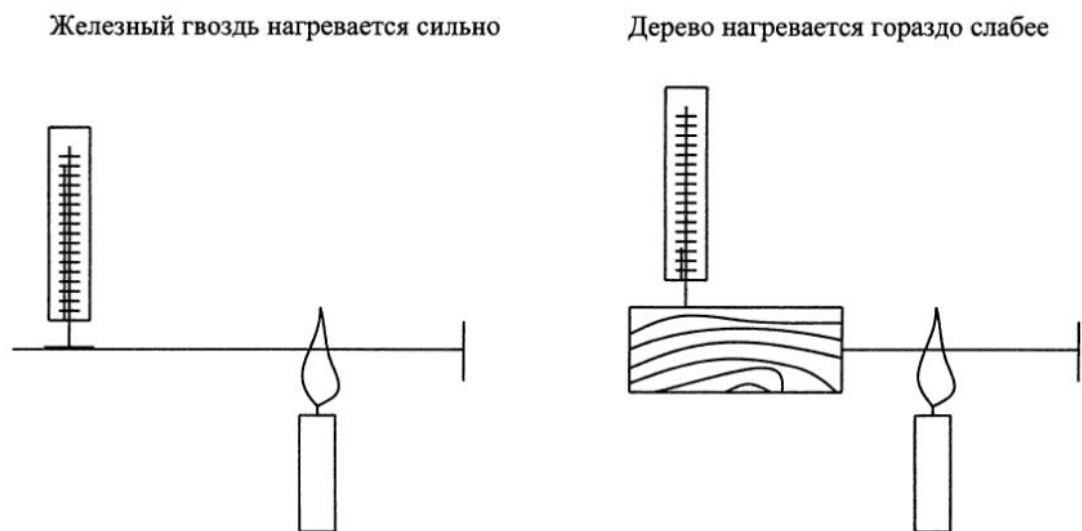


Рис. 2.4. Теплопроводность

$$Q_T = f(\Delta t, \lambda, \delta, F, Z),$$

где  $\Delta t$  – градиент температуры в направлении, противоположном тепловому потоку ( $^{\circ}\text{C}$ );  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  $\delta$  – толщина конструкции ( $\text{м}$ );  $F$  – площадь конструкции ( $\text{м}^2$ );  $Z$  – время ( $\text{ч}$ ).

**Конвекция.** Тогда, как при теплопроводности молекулы вещества остаются на месте, при конвекции тепло переносится потоками частиц теплоносителя (жидкости или газа). Вода циркулирует в трубах и батареях водяного отопления. Нагретые частицы воздуха поднимаются от батареи кверху, нагревают другие частицы воздуха, а сами теряют тепло и снова у батареи получают следующую порцию тепла. Так работает система водяного отопления. Количество тепла, передаваемого конвекцией:

$$Q_k = f(\Delta t, V, F, Z),$$

где  $V$  – скорость движения теплоносителя ( $\text{м}/\text{ч}$ ).

**Радиация.** Тепловая энергия может передаваться не только через пространство, заполненное теплоносителем, но и через безвоздушное пространство. Причем эта передача тепла происходит практически без потерь. Тепловые лучи – это электромагнитные колебания с длиной волны более 760 миллимикрон (нанометров) (НМ) до диапазона радиоволн.

Попадающая на тело тепловая радиация частично поглощается, частично отражается. Оконное стекло пропускает отдельную коротковолновую часть тепловой радиации солнца, но не пропускает более длинные волны инфракрасной части спектра. Так, солнечное тепло зимой, попадая в помещение через окна, поглощается его поверхностями и повышает температуру воздуха.

Отражение используется в теплозащитных стеклах, в нишах под батареями, в покрытиях мансард (рис. 2.5).

Количество тепла, передаваемого радиацией:

Тонкая пленка металла, напыленная на стекло (К - стекло) отбрасывает тепло: летом - от помещения, зимой - в помещение

Тепло отбрасывается в помещение с помощью алюминиевой фольги

В нише за батареей отопления

Под утеплителем в крыше мансарды

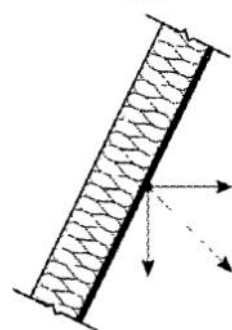
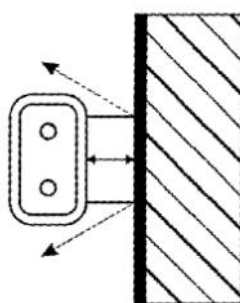
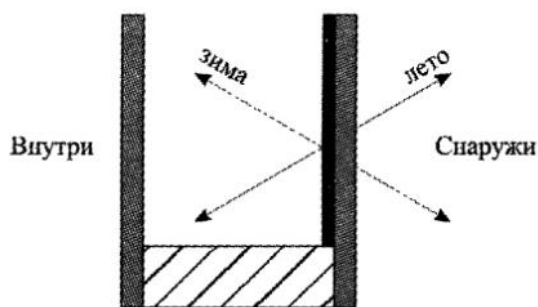


Рис. 2.5.

$$Q_p = f((T_1 - T_2)C; F; Z),$$

где  $T_1 - T_2$  – разность абсолютных температур излучающей и облучаемой поверхности;  $C$  – относительная излучательная способность поверхности, равная  $4,28 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .

## 2.5. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций при установившемся потоке тепла

Установившимся поток тепла через ограждающую конструкцию можно считать, когда зимой постоянно работает центральное отопление и температура наружного воздуха не меняется (или меняется незначительно) в течение 5 и более суток.

По понятиям термодинамики ограждающие конструкции – это открытые системы, обменивающиеся со средой (с окружающим воздухом) энергией (теплообмен) и веществом (влаго- и воздухообмен). Стена или покрытие разделяет воздушные среды с разными температурами.

Ограждающая конструкция может быть однородной или слоистой.

При установившемся потоке тепла количество тепловой энергии ( $Q$ ), проходящее через однородную конструкцию площадью  $F$  ( $\text{м}^2$ ) и толщиной  $\delta$  ( $\text{м}$ ), может быть определено на основании закона Фурье (рис. 2.6):

$$Q = (\tau_B - \tau_H) \frac{\lambda}{\delta} F \cdot Z \quad (\text{Вт} \cdot \text{ч}), \quad (2.1)$$

где  $\tau_B$  и  $\tau_H$  – температуры внутренней и наружной поверхностей стены ( $^\circ\text{C}$ );  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала стены ( $\text{Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$ );  $Z$  – время передачи тепла ( $\text{ч}$ )

Таким образом, из формулы (2.1) можно получить:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{F \cdot Z (\tau_B - \tau_H)}, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$$

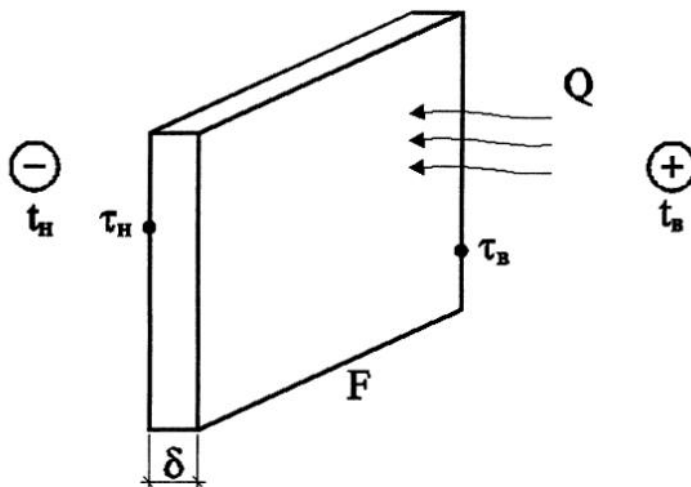


Рис. 2.6.

То есть коэффициент теплопроводности представляет количество тепла, которое проходит через  $1 \text{ м}^2$  однородного ограждения толщиной  $1 \text{ м}$  за  $1 \text{ час}$  при разности температур на его поверхностях в  $1 \text{ }^\circ\text{С}$ .

Поскольку большинство строительных материалов являются капиллярно-пористыми телами, в них возможны все три вида теплопередачи. Однако для практических расчетов можно считать, что теплопередача в строительных материалах происходит по законам теплопроводности. Теплопередача конвекцией и излучением происходит в воздушных прослойках и у поверхностей конструкций на границах с внутренним и наружным воздухом.

Направление потока тепла всегда от более теплой поверхности – к более холодной.

Таблица 2.1

Материал	Коэффициенты теплопроводности материала в сухом состоянии, Вт/(м·град. С)
Медь	383
Алюминий	220
Сталь	58
Гранит	3,5
Тяжелый глиняный кирпич	0,7
Сухой пористый кирпич	0,45
Дерево – сосна поперек волокон	0,14
вдоль волокон	0,29
Плиты минераловатные жесткие плотно- стью 300 кг/м <sup>3</sup>	0,087
50 кг/м <sup>3</sup>	0,052
Пенопласт плотностью 100 кг/м <sup>3</sup>	0,052
40 кг/м <sup>3</sup>	0,041

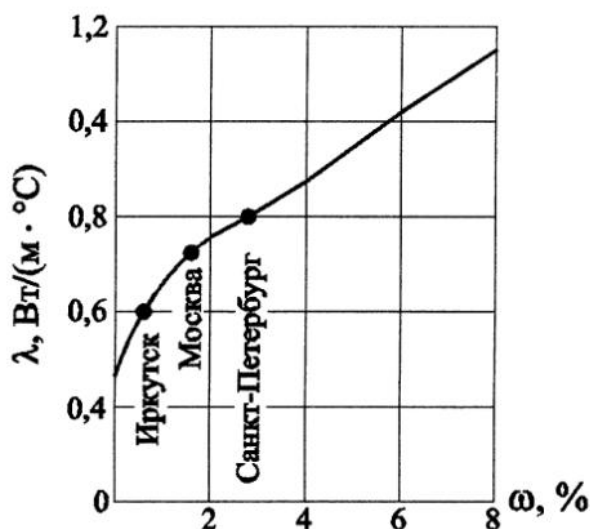


Рис. 2.7. Изменение теплопроводности кладки из кирпича глиняного обыкновенного в зависимости от его влагосодержания  $\omega = (P_{\text{вл.}} - P_{\text{сух.}}) \cdot 100 / P_{\text{сух.}}$  (%), где  $P_{\text{вл.}}$  и  $P_{\text{сух.}}$  – соответственно масса влажного и сухого материала

Коэффициент теплопроводности ( $\lambda$ ) – одна из основных теплофизических характеристик строительных материалов. Величины  $\lambda$  для некоторых материалов приведены в табл. 2.1.

Как видно из табл. 2.1. коэффициент теплопроводности зависит от пористости, а следовательно, – от плотности или объемной массы материала. Кроме того, он зависит также от влажности наружного и внутреннего воздуха и гигроскопичности материала, т.е. его способности набирать влагу (рис. 2.7).

Из рис. 2.7 видно, что коэффициент теплопроводности кирпича в сухом воздухе Иркутска значительно меньше величины  $\lambda$ , например, в Санкт-Петербурге. Поэтому величины коэффициентов теплопроводности материалов следует принимать с учетом влажностного режима помещений и условий эксплуатации ограждающих конструкций А или Б (табл. прил. 2.1) и карты зон влажности России (прил. 2.1).

В СНиП II-3-79\* «Строительная теплотехника»<sup>1</sup> приведены значения коэффициентов теплопроводности для большого числа строительных материалов, эксплуатирующихся в различных условиях влажности как внутреннего, так и наружного воздуха.

Кроме коэффициента теплопроводности в таблице прил. 3<sup>1</sup> к СНиП II-3-79\* или прил. Е к СП 23-101-2000 для строительных материалов приведены значения коэффициентов удельной теплоемкости с кДж/(кг·°С), коэффициенты теплоусвоения S Вт/(м<sup>2</sup>·°С) и коэффициенты паропроницаемости  $\mu$ , м<sup>2</sup>/(м·ч·Па), о которых подробнее будет рассказано в следующих параграфах. Для некоторых материалов эти величины приведены в приложении 2.2.

В формуле 2.1 величина  $\frac{\lambda}{\delta} \left( \frac{Bm}{m^2 \cdot ^\circ C} \right)$  является основным показателем теплозащиты ограждающей конструкции, который называется коэффициентом теплопередачи однородной конструкции и обозначается греческой буквой  $\alpha$ . Величина, обратная коэффициенту теплопередачи  $\frac{\delta}{\lambda} = \frac{1}{\alpha} = R \left( \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Bm} \right)$ , называется термическим сопротивлением однородной ограждающей конструкции.

Термическое сопротивление слоистой конструкции равно сумме термических сопротивлений всех ее слоев:

$$R = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}, \quad (2.2)$$

где  $\delta_1 \dots \delta_n$  – толщина отдельных слоев (м);  $\lambda_1 \dots \lambda_n$  – коэффициенты теплопроводности материалов слоев  $\left( \frac{Bm}{m \cdot ^\circ C} \right)$ .

Перепад температур  $t_e - t_n$  (рис. 2.8) состоит из суммы перепадов температур:

<sup>1</sup> СНиП II-3-79\* ныне заменен на СНиП 23-02-2003 со сводом правил к нему СП-23-101-2000, однако в учебных целях удобно пользоваться СНиП II-3-79\*.



$(t_e - \tau_e)$  – вызван сопротивлением тепловосприятию  $R_e$ , т.е. сопротивлением перехода тепла от воздуха помещения к материалу внутреннего слоя конструкции, или сопротивлением их теплообмену. Оно зависит от того, насколько свободно внутренний воздух может циркулировать у внутренней поверхности конструкции;

$(\tau_e - \tau_1)$ ;  $(\tau_1 - \tau_2)$ ;  $(\tau_2 - \tau_n)$  – вызваны сопротивлениями теплопередаче отдельных слоев конструкции, т.е.  $\frac{\delta_1}{\lambda_1}$ ,  $\frac{\delta_2}{\lambda_2}$  и  $\frac{\delta_3}{\lambda_3}$ ;

$(\tau_n - t_n)$  – вызван сопротивлением теплоотдаче  $R_n$ , т.е. зависит от условий обдува конструкции ветром и от условий конвекции у наружной поверхности конструкции.

В таблицах СНиП II-3-79\* и СНиП «Тепловая защита зданий» приведены значения коэффициентов тепловосприятия и теплоотдачи  $\alpha_v$  и  $\alpha_n^{*2}$ , являющихся величинами, обратными  $R_e$  и  $R_n$ :  $R_e = \frac{1}{\alpha_e}$  и  $R_n = \frac{1}{\alpha_n}$ ; см. табл. прил. 2.3 и 2.4.

Для стен и потолков  $\alpha_v = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ . Для наружных поверхностей стен, покрытий, перекрытий над проездами  $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ . Для чердачных перекрытий  $\alpha_n = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

Общее фактическое сопротивление теплопередаче стены, обеспечивающее перепад температур  $(t_e - t_n)$  определяется по формуле

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_n}. \quad (2.3)$$

Если в стене имеется воздушная прослойка, не связанная с наружным воздухом, то ее термическое сопротивление  $R_{e.n.}$  следует включать как слагаемое в формулу для определения общего сопротивления теплопередаче (2.3). Величина  $R_{e.n.}$  определяется по СНиП (табл. прил. 2.14).

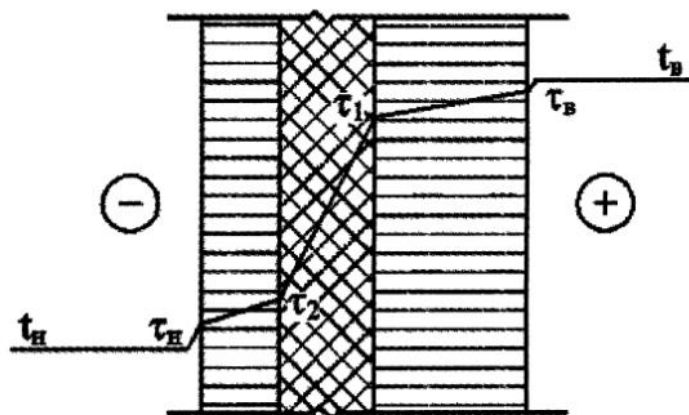


Рис. 2.8.

<sup>1</sup> Индексы коэффициентов тепловосприятия  $\alpha_v$  (в – обозначает внутреннее) и теплоотдачи  $\alpha_n$  (н – обозначает наружное) в СНиП 23-02-2003 и в СП заменены иностранными обозначениями, соответственно  $\alpha_{int}$  и  $\alpha_{ext}$ .

Как видно из *рис. 2.8*, распределение температур или температурное поле внутри ограждающей конструкции зависит от сопротивления теплопередаче ее слоев. Если эти сопротивления теплопередаче (термические сопротивления) известны, то при установившемся потоке тепла можно графически определить температуру в любом месте по толщине конструкции. Для этого рядом с разрезом фрагмента стены в масштабе длин строят изображение этого разреза в масштабе сопротивлений теплопередаче. По оси  $y$  откладывают температуру. Наружную и внутреннюю температуру соединяют прямой линией, сносят точки пересечения этой прямой с границами слоев  $R$  на изображение фрагмента конструкции в масштабе длин и получают распределение температур по ее толщине. Наглядно это показано на *рис. 2.9*.

При установившемся потоке тепла тепловой поток, входящий в ограждающую конструкцию, равен проходящему через нее, как через всю ее толщину, так и через любое ее сечение. При  $F = 1 \text{ м}^2$  и  $Z = 1 \text{ ч}$ :

$$Q = \frac{t_s - t_n}{R_0} = \frac{t_s - \tau_s}{R_s} = \frac{\tau_s - \tau_1}{R_1} = \dots = \frac{\tau_{n-1} - \tau_n}{R_n} = \frac{\tau_n - t_n}{R_n} \quad (2.4)$$

Отсюда:  $\frac{t_s - t_n}{R_0} = \frac{t_s - \tau_x}{R_x}$ ;

$$\tau_x = t_s - \frac{t_s - t_n}{R_0} \cdot R_x, \quad (2.5)$$

где  $\tau_x$  – температура в каком-либо сечении ограждающей конструкции;  $R_x$  – сопротивление теплопередаче (термическое сопротивление) слоев конструкции от внутреннего воздуха к рассматриваемому сечению, включая сопротивление тепловосприятию  $R_s$ .

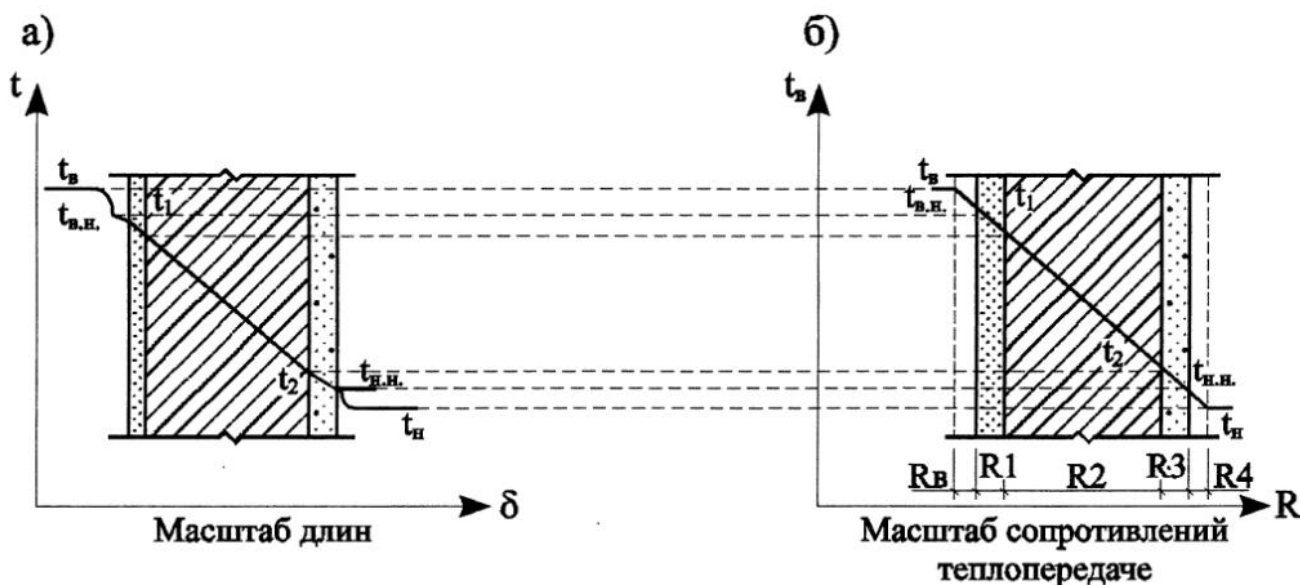


Рис. 2.9.

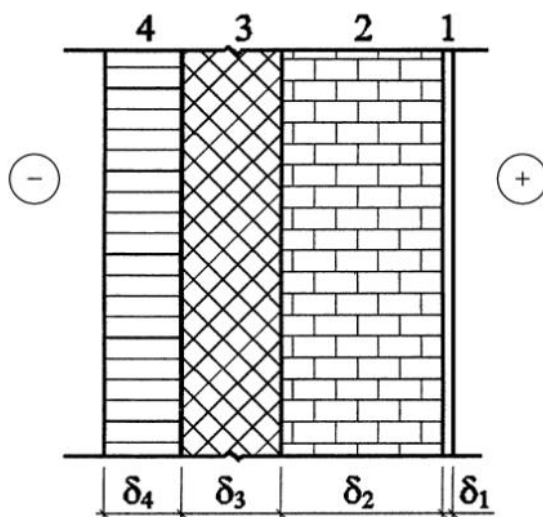


Рис. 2.10.

По формуле 2.5 можно аналитическим путем рассчитать температуру в любом сечении конструкции так же, как это было показано выше, графическим способом.

*Пример 1.* Определить сопротивление теплопередаче трехслойной наружной стены жилого дома из кирпича с утеплителем и внутренней штукатуркой для жилой комнаты в сухих условиях эксплуатации. Схема конструкции приведена на рис. 2.10.

Штукатурка цементно-песчаная:  $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$ ;  $\delta_1 = 0,02 \text{ м}$ ;  $\lambda_1 = 0,76$ .

Кирпичная кладка из сплошного кирпича, глиняного обыкновенного на цементно-песчаном растворе:  $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$ ;  $\delta_2 = 0,38 \text{ м}$ ;  $\lambda_2 = \lambda_4 = 0,70$ .

Утеплитель – плиты минераловатные полужесткие на синтетическом связующем:

$$\gamma = 100 \text{ кг/м}^3; \delta_3 = 0,15 \text{ м}; \lambda_3 = 0,056$$

По формуле (2.3) находим:

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{0,12}{0,70} + \frac{0,15}{0,056} + \frac{0,38}{0,70} + \frac{1}{23} = 0,115 + 0,026 + 0,171 + 2,679 + 0,543 + 0,043 = 3,577 \frac{\text{м} \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Стена обладает высоким сопротивлением теплопередаче.

Основным требованием при теплотехническом расчете на зимние условия является:

$$R_0^{\phi} \geq R_0^{tr} \quad (2.6)$$

Здесь индексы  $\phi$  и  $tr$  обозначают фактическое и требуемое сопротивление теплопередаче. Возникает вопрос: каким сопротивлением теплопередаче стена должна обладать? Очевидно, что это зависит от климатических параметров местности. В Краснодаре потребуется гораздо меньшее сопротивление теплопередаче, чем в Иркутске.

СНиП «Строительная теплотехника» предлагает два подхода к определению требуемого сопротивления теплопередаче:

1. Из гигиенических соображений (на поверхности конструкции не должен выпасть конденсат и около нее не должно возникать ощущение холода и сквозняка). Для этого необходимо знать наружную и внутреннюю температуру воздуха и нормируемый перепад температур между внутренним воздухом и внутренней поверхностью стены. Исследования показывают, что для выполнения этих условий этот перепад должен составлять в помещениях жилых и общественных зда-

ний не более 4°С. В СНиП дается таблица перепада температур для различных конструкций и типов зданий (см. табл. 2.5)

2. Из соображений экономии энергии на отопление в зависимости от вида конструкций, продолжительности и средней температуры отопительного периода.

Из двух требуемых значений общего сопротивления теплопередаче выбирается наибольшее, хотя для большинства случаев большим является второе.

Предлагаемые в СНиП два подхода относятся к так называемому поэлементному методу нормирования, когда каждый вид ограждающих конструкций должен иметь общее сопротивление теплопередаче, большее или равное требуемому.

В современных Нормах по строительной теплотехнике Европейского союза EN 832, в современных Нормах ФРГ EnEV, включающих нормы DIN 4108-6 и DIN 4701-10, в Московских городских строительных нормах МГСН 2.01-94 «Энергосбережение в зданиях», а также в СНиП 23-02-2003 применен новый подход, согласно которому общие приведенные теплотери здания не должны быть больше нормируемой величины. Такой подход особенно целесообразен в случае реконструкции старых зданий с богато декорированными фасадами, когда повышение сопротивления теплопередаче стены с помощью утепления снаружи становится невозможным. Более подробно об этом будет рассказано в последующих параграфах.

Из формулы (2.4):

$$\frac{t_s - t_n}{R_0} = \frac{t_s - \tau_s}{R_s};$$
$$R_0 = \frac{t_s - t_n}{t_s - \tau_s} \cdot R_s; \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт},$$

Здесь  $t_s$  – нормируемая температура внутреннего воздуха, °С, для жилых зданий  $t_s = +20^\circ\text{C}$ ;  $t_n$  – расчетная зимняя температура наружного воздуха, °С, равная средней температуре пяти или трех наиболее холодных суток или средней температуре наиболее холодных суток, которая выбирается в зависимости от массивности конструкции. Величина  $t_n$  принимается по СНиП 23-01-99. Для некоторых характерных городов климатические данные приведены в прил. 2.6;  $(t_s - \tau_s) = \Delta\tau_s$  – нормативный температурный перепад между внутренним воздухом и внутренней поверхностью ограждающей конструкции, принимаемый по табл. в СНиП (см. прил. 2.5).

Таким образом, требуемая величина сопротивления теплопередаче из гигиенических соображений равна:

$$R_0^{mp.} = \frac{(t_s - t_n) \cdot n}{\Delta t_s \cdot \alpha_s}. \quad (2.7)$$

Здесь  $n$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху (по таблице в СНиП) (прил. 2.7).

Для стен и чердачных перекрытий с кровлей из штучных материалов (черепица, кровельные листы)  $n = 1$ .

Из условий энергосбережения величину  $R_0^{mp.}$  следует принимать по интерполяции по таблице в СНиП (прил. 2.8) в зависимости от типа зданий, вида ограждающих конструкций и величины ГСОП (градусо-сутки отопительного периода) для данного района строительства.

$$ГСОП = (t_e - t_{om.nep.}) \cdot Z_{om.nep.}, \quad (2.8^1)$$

где  $t_{om.nep.}$  и  $Z_{om.nep.}$  – средняя температура, °С, и продолжительность, сут., периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной 8°С по СНиП 23.01.99.

Следует помнить, что величина  $R_0^{mp.}$ , определяемая по формуле 2.6 или с помощью формулы 2.8 и табл. прил. 2.8 соответствует условиям установившегося потока тепла и не может отражать процесс постепенного охлаждения конструкции, происходящего в действительности. Об этом более подробно – в параграфе, посвященном нестационарному тепловому режиму и теплоустойчивости.

## 2.6. Теплотехнический расчет неоднородных ограждающих конструкций с теплопроводными включениями

Мы рассмотрели теплотехнический расчет конструкций, в которых расположение слоев одинаково по всей их площади. Если в конструкции имеется неодинаковый состав по ее площади, например многослойная стена облегченной кладки с кирпичными связующими элементами, трехслойные стеновые панели с жесткими связями между внутренней и наружной скорлупами и т.п., то температура в таких конструкциях изменяется не в одном направлении (от внутренней к наружной поверхности), а в двух направлениях –  $x$  и  $y$ . Такое же двумерное поле распределения температур имеет место в углах стен и в местах стыков крупных панелей. Расчет сопротивления теплопередаче таких конструкций исходит из того, что количество тепла, притекающего к любой точке, равно утекающему от нее.

Точный расчет определяется решением дифференциального уравнения Лапласа:

$$\frac{d^2 \tau}{dx^2} + \frac{d^2 \tau}{dy^2} = 0,$$

где  $\tau$  – температура в точке конструкции с координатами  $x$  и  $y$ .

Численное решение уравнения Лапласа возможно с помощью ЭВМ.

В СНиПе приводится инженерный метод теплотехнического расчета таких конструкций

Плоскостями, параллельными направлению теплового потока, ограждающая конструкция или ее часть условно разрезается на участки, из которых одни участки могут быть однородными, а другие – из слоев различных материалов (рис. 2.11).

Термическое сопротивление ограждающей конструкции  $R_a$  определяется по формуле

$$R_a = \frac{F_1 + F_2 + \dots + F_n}{\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2} + \dots + \frac{F_n}{R_n}}, \quad (2.9)$$

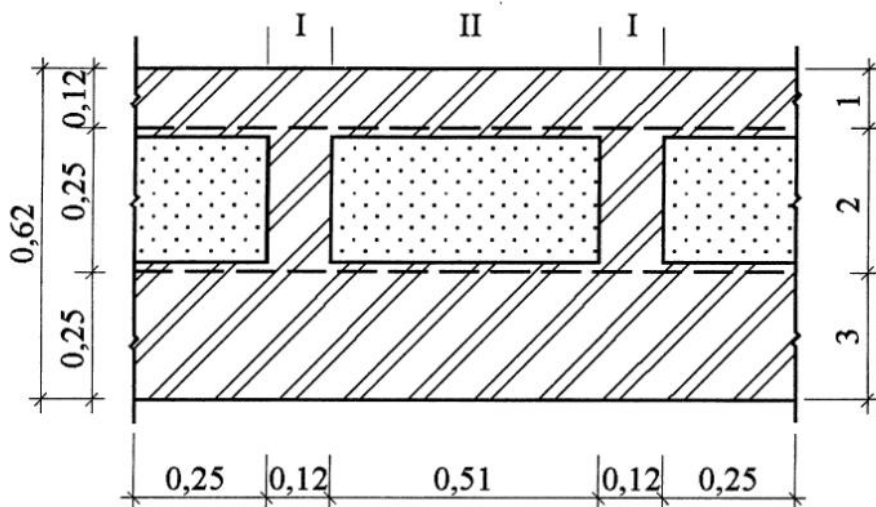


Рис. 2.11.

где  $F_1, F_2 \dots F_n$  – площади отдельных участков конструкции (или части ее),  $\text{м}^2$ , при высоте вырезанного участка стены 1 м;  $R_1, R_2 \dots R_n$  – термическое сопротивление указанных отдельных участков конструкции.

Плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, ограждающая конструкция (или часть ее, принятая для определения  $R_a$ ) условно разрезается на слои, параллельные теплому потоку, из которых одни слои могут быть однородными – из одного материала, а другие неоднородными – из однослойных участков разных материалов. Термические сопротивления однородных слоев определяются как  $\delta_i/\lambda_i$ , неоднородных слоев – по формуле (2.9).

Термическое сопротивление неоднородной ограждающей конструкции  $R_b$  определяется как сумма термических сопротивлений отдельных однородных и неоднородных слоев в направлении, параллельном теплому потоку по формуле

$$R_b = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (2.10)$$

Приведенное термическое сопротивление ограждающей конструкции следует определять по формуле

$$R_k^{np} = \frac{R_a + 2R_b}{3} \quad (2.11)$$

Этот метод расчета является упрощенным и дает приемлемый результат, когда разница между значениями  $R_a$  и  $R_b$  не превышает 25% и ограждающая конструкция не имеет выступов на поверхности. В противном случае  $R_k^{np}$  следует определять на основании расчета температурного поля на ЭВМ методом конечных элементов с использованием дифференциального уравнения Лапласа. По результатам расчета температурного поля при заданных  $t_v$  и  $t_n$  определяются средние температуры внутренней ( $\tau_{в.ср.}$ ) и наружной ( $\tau_{н.ср.}$ ) поверхностей ограждающей конструкции и вычисляется величина теплового потока  $Q^{расч.}$ ,  $\text{Вт}/\text{м}^2$  по формуле

$$Q^{расч.} = \alpha_{\epsilon}(t_{\epsilon} - \tau_{\epsilon.ср.}) = \alpha_{\eta}(\tau_{\eta.ср.} - t_{\eta}). \quad (2.12)$$

Приведенное термическое сопротивление конструкций определяется по формуле:

$$R_{\kappa}^{np} = \frac{\tau_{\epsilon.ср.} - \tau_{\eta.ср.}}{Q^{расч.}}. \quad (2.13)$$

Приведенное общее сопротивление теплопередаче неоднородной ограждающей конструкции следует определять по формуле

$$R_o = \frac{t_{\epsilon} - t_{\eta}}{Q^{расч.}}. \quad (2.14)$$

Для крупнопанельных стен:

$$R_o = R_o^{усл.} \cdot r, \quad (2.15)$$

где  $R_o^{усл.}$  – сопротивление теплопередаче, условно определяемое по формуле (2.3);  $r$  – коэффициент теплотехнической однородности конструкции,  $r = r_1 \cdot r_2$ , где  $r_1$  определяется по таблице в СНиП в зависимости от  $R_o^{усл.}$  и от отношения площади ребер в конструкции  $F_1$  (м<sup>2</sup>) к площади конструкции (без учета оконных и дверных проемов)  $F_2$  (м<sup>2</sup>) (прил. 2.9.1);  $r_2$  – учитывает плотность материала ребер конструкции (прил. 2.9.2).

Коэффициент  $r$  для участков ограждающих конструкций из панелей с гибкими металлическими связями в сочетании с утеплителем из минеральных волокон или вспененных пластмасс допускается принимать по табл. прил. 2.10.

Промежуточные значения  $r_1$ ,  $r_2$ , и  $r$  по табл. 2.9 и 2.10 следует определять интерполяцией.

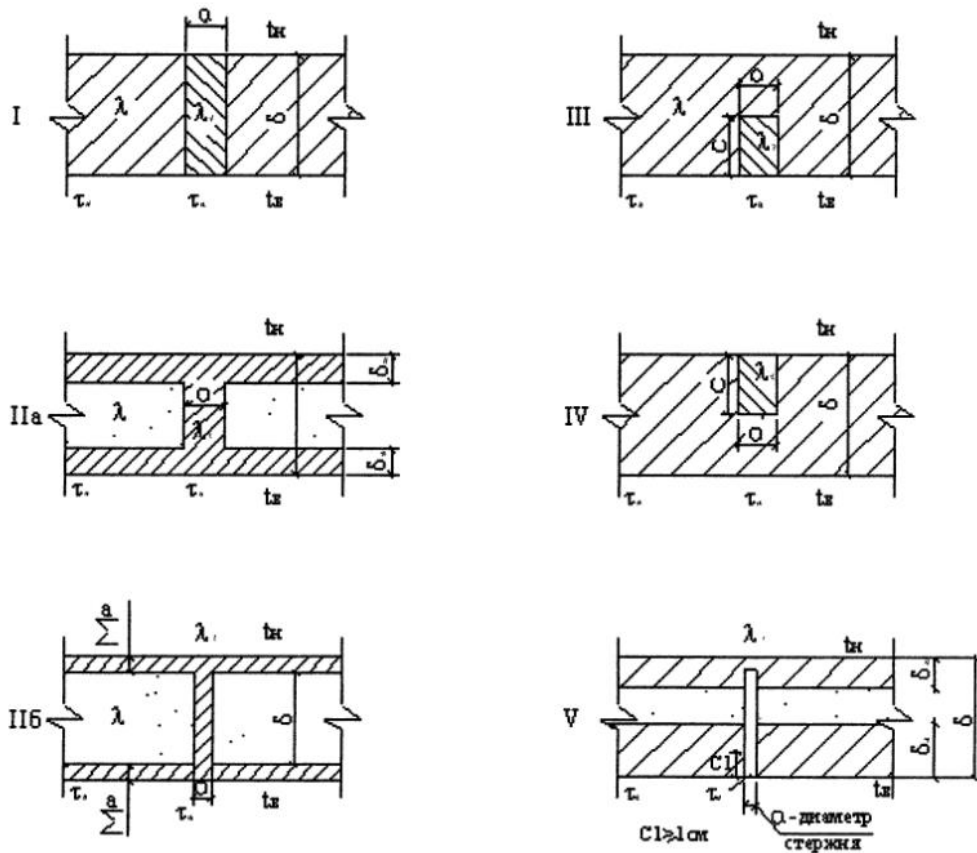
Следует учитывать, что коэффициент теплотехнической однородности  $r$  ограждающих конструкций должен быть не менее значений, приведенных в прил. 2.10.

В СНиПе по строительной теплотехнике приводятся методики расчета температуры внутренней поверхности по теплопроводному включению, которая должна быть не ниже температуры точки росы внутри помещения при расчетной зимней температуре наружного воздуха. При этом относительную влажность внутреннего воздуха следует принимать в жилых зданиях, медицинских учреждениях, домах-интернатах, школах и детских дошкольных учреждениях – 55%; для общественных зданий (кроме вышеуказанных) – 50%.

Из уравнения 2.4 следует, что величину температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции следует определять по формуле

$$\tau_{\epsilon} = t_{\epsilon} - \frac{n(t_{\epsilon} - t_{\eta})}{R_o \alpha_{\epsilon}}. \quad (2.16)$$

**СХЕМЫ ТЕПЛОПРОВОДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ  
В КОНСТРУКЦИЯХ СЛИШКОМ ЖАРКО**



**Рис. 2.12.** Схемы теплопроводных включений в ограждающие конструкции

При определении температуры  $t'_в$  внутренней поверхности ограждающей конструкции по теплопроводному включению следует пользоваться расчетом температурного поля на ЭВМ. Для наиболее распространенных случаев температурных включений, приведенных на схемах, (рис. 2.12), в СНиП даны эмпирические расчетные формулы:

- для неметаллических теплопроводных включений

$$t'_в = t_в - \frac{n(t_в - t_н)}{R'_о \cdot \alpha_в} \left[ 1 + \eta \left( \frac{R_{о\text{вкл.}}}{R'_о} - 1 \right) \right]; \quad (2.17)$$

- для металлических теплопроводных включений

$$t'_в = t_в - \frac{n(t_в - t_н)}{R'_о \cdot \alpha_в} \left[ 1 + \xi R_{о\text{вкл.}} \alpha_в \right]; \quad (2.18)$$

Здесь  $R_{о\text{вкл.}}$ ,  $R'_о$  - сопротивления теплопередаче в местах теплопроводных включений и вне их, определяемые по формуле (2.3);  $\eta$  и  $\xi$  - коэффициенты, принимаемые по табл. прил. 2.11 и 2.12.



**Пример 2.** Определить сопротивление теплопередаче кирпичной стены колодцевой кладки (с вертикальными пустотами-колодцами) при заполнении пустот перлитобетоном плотностью  $1000 \text{ кг/м}^3$  (см. рис. 2.11).

Кирпич глиняный обыкновенный на цементно-песчаном растворе во влажных условиях эксплуатации (А):

$$\lambda_k = 0,7 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}.$$

$$\text{Перлитобетон: } \gamma_0 = 1000 \text{ кг/м}^3;$$

$$\lambda_{п.б.} = 0,33 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}.$$

1. Разрезаем стену на участки I, II, I, параллельные направлению потока тепла, и рассчитываем величину  $R_a$ . Высота участков 1 м.

$$R_{aI} = \frac{\delta_I}{\lambda_k} = \frac{0,62}{0,7} = 0,89 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}; F_I = 0,12 \cdot 1 = 0,12 \text{ м}^2;$$

$$R_{aII} = \frac{\delta_I}{\lambda_k} + \frac{\delta_2}{\lambda_{п.б.}} + \frac{\delta_3}{\lambda_k} = \frac{0,12}{0,7} + \frac{0,25}{0,33} + \frac{0,25}{0,7} = 1,29 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}; F_2 = 0,51 \cdot 1 = 0,51 \text{ м}^2.$$

По формуле (2.9):

$$R_a = \frac{0,12 + 0,51}{\frac{0,12}{0,89} + \frac{0,51}{1,29}} = 1,19 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

2. Разрезаем стену на участки 1, 2, 3, перпендикулярные потоку тепла, и рассчитываем величину  $R_b$ . Высота участков 1 м.

$$R_{b,1} = \frac{\delta_1}{\lambda_k} = \frac{0,12}{0,7} = 0,17 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}; F_I = 0,12 \cdot 1 = 0,12 \text{ м}^2;$$

$$R_I = \frac{\delta_I}{\lambda_k} = \frac{0,12}{0,7} = 0,17 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт};$$

$$F_{II} = 0,51 \text{ м}^2; \quad R_{II} = \frac{0,51}{0,33} = 1,54.$$

$$R_{b,2} = \frac{\frac{F_I + F_{II}}{R_I + R_{II}}}{\frac{0,12}{0,17} + \frac{0,51}{1,54}} = \frac{0,63}{0,71 + 0,33} = 0,61 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

$$R_{b,3} = \frac{\delta_3}{\lambda_k} = \frac{0,25}{0,7} = 0,36 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

$$R_b = 0,17 + 0,61 + 0,36 = 1,14 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Разница между  $R_a$  и  $R_b$  менее 25%.

$$R_k^{np} = \frac{1,19 + 1,14 \cdot 2}{3} = 1,16 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Величина общего сопротивления теплопередаче стены с учетом двустороннего оштукатуривания сложным раствором  $\delta = 0,02 \text{ м}$  и  $\lambda_{ш} = 0,7 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ .

$$R_o = \frac{1}{8,7} + \frac{2 \cdot 0,02}{0,7} + 1,16 + \frac{1}{23} = 0,11 + 0,06 + 1,16 + 0,04 = 1,37 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Согласно таблице в СНиП «Строительная климатология» (табл. прил. 2.6 и табл. прил. 2.8) такие стены можно применять только в производственных зданиях с сухим и нормальным режимом при строительстве в г. Сочи Краснодарского края:

$$t_{\text{ср.от.}} = +6,4 \text{°C}; Z_{\text{от.}} = 72 \text{ сут.} \quad ГСОП = (20 - 6,4) \cdot 72 = 979,2.$$

По экстраполяции  $R_o^{mp.} = 1,20 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт} < R_o = 1,37 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ .

В других районах России такая стена по Нормам не может быть применена. Для жилых зданий в Московском регионе сопротивление теплопередаче должно быть в 2,3 раза больше.

Рассчитаем температуру внутренней поверхности стены в месте кирпичной перемычки, являющейся неметаллическим теплопроводным включением, по формуле 2.15 (случай Па, рис. 2.12) при  $a/\delta = 0,12/0,12 = 1$  и при  $\delta_g/\delta_n = 0,25/0,12 = 2,08$ .

По таблице прил. 2.11 находим величину эмпирического коэффициента  $\eta = 0,73$ .

$R_{o, \text{усл.}}$  определяем без учета температурного включения:

$$R_{o, \text{усл.}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{0,25}{0,7} + \frac{0,25}{0,33} + \frac{0,12}{0,7} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{1}{23};$$

$$R_{o, \text{усл.}} = 1,502 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт};$$

$$t_g = +20 \text{°};$$

Наружную температуру принимаем для стены средней массивности в г. Москве (средняя температура наиболее холодных трех суток).

$$t_n = -30 \text{°}. R'_o = 0,89 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт} = R_{at}; \alpha_g = 8,7; n = 1;$$

$$\tau'_g = 20 - \frac{1(20 + 30)}{1,502 \cdot 8,7} \left[ 1 + 0,73 \left( \frac{1,502}{0,89} - 1 \right) \right] = 14,25 \text{°}.$$

Точка росы для жилых зданий при  $t_g = +20 \text{°}$  и  $\varphi = 55\%$  по табл. 1,2 МГСН 2.01-94 (см. табл. прил. 2.13) равна:  $\tau_p = 10,7 \text{°} < \tau'_g = 14,25 \text{°}$ .

Это означает, что даже в климатических условиях г. Москвы на такой стене в местах теплопроводных включений конденсат выпадать не будет. Но эта стена не удовлетворяет Нормам по условиям энергосбережения. Затраты энергии на отопление в таком доме будут слишком велики.

По гигиеническим соображениям для г. Москвы:

$$R_o^{mp.} = \frac{(t_g - t_n)n}{\Delta t_g \cdot \alpha_g} = \frac{(20 + 30) \cdot 1}{4 \cdot 8,7} = 1,43 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт};$$

$$R_o = 1,37 < 1,43 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Расчет показывает, что хотя внутренняя поверхность стены при наружной температуре  $-30 \text{°}$  останется сухой, находиться вблизи нее будет неприятно. Возникает ощущение холода и сквозняка.

## 2.7. Теплопередача в нестационарных условиях и теплоустойчивость ограждающих конструкций

Изложенные выше теплотехнические расчеты основаны на допущении о том, что температура воздуха снаружи и внутри постоянна, и через ограждающую конструкцию проходит установившийся постоянный поток тепла. Однако в реальных условиях такое постоянство имеет место далеко не всегда. Гораздо чаще приходится иметь дело с изменяющимися температурами:

- колебания температуры днем и ночью, особенно в осенне-весенний период;
- периодически действующее печное отопление;
- изменение наружных зимних температур (мороз и оттепель).

Если температура в помещении резко меняется сразу вслед за изменением температуры наружного воздуха или сразу после прекращения работы отопления, то говорят о «барачном» микроклимате в помещении. Например, в палатке зимой, пока топится печка-буржуйка, сохраняется довольно высокая температура. Сразу после прекращения топки печи температура в палатке снижается практически до наружной температуры. Стенки и крыша палатки не держат тепло. Они не обладают тепловой инерцией.

Наоборот, во время оттепели после длительного периода низких температур на массивной каменной стене появляется иней. Это значит, что накопившийся в стене холод вызывает на ее поверхности конденсацию водяного пара, содержащегося в теплом воздухе.

Свойство ограждающей конструкции сохранять относительное постоянство температуры на внутренней поверхности при изменении потока тепла называется теплоустойчивостью. Учет тепловой инерции и теплоустойчивости конструкций очень важен как в зимних, так и в летних условиях. Особенно важно учитывать теплоустойчивость в летних условиях, когда наружная поверхность ограждений периодически нагревается солнцем, что вместе с высокой температурой наружного воздуха вызывает прогрев ограждения и повышение температуры в помещении. Особенно это заметно в легких невентилируемых кровлях. Оценка теплотехнических качеств ограждающих конструкций только по величинам сопротивления теплопередаче в этих условиях становится недостаточной.

Математическое выражение передачи тепла ( $Q$ ) через однородную ограждающую конструкцию при установившихся условиях:

$$Q = -\lambda \frac{dt}{dx}, \quad (2.19)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала;  $\frac{dt}{dx}$  – изменение (градиент) температуры по толщине слоя конструкции в направлении  $x$  (в направлении понижения температуры); об этом говорит знак «-».

При неустановившихся условиях теплопередачи величина  $Q$  будет меняться. Это изменение составит  $dQ$  за время  $dz$  при изменении температуры на  $dt$  градусов, и оно будет пропорционально теплоемкости слоя  $dx$ , равной произведению удельной теплоемкости материала на его массу:

$$dQ = -c\rho dx \frac{dt}{dz};$$

Знак «-» означает, что повышение температуры слоя происходит в результате поглощения им тепла и уменьшения величины теплового потока.

В частных случаях можно записать:

$$\frac{dQ}{dx} = -c\rho \frac{dt}{dz}; \quad (2.20)$$

Эту же величину можно получить дифференцированием по  $dx$  уравнения (2.19):

$$\frac{dQ}{dx} = -\lambda \frac{d^2t}{dx^2}. \quad (2.21)$$

Так как изменение во времени величины потока тепла, происходящего через слой  $dx$ , вызывается только нагреванием или остыванием слоя, то правые части уравнения (2.20) и (2.21) можно приравнять друг к другу:

$$\lambda \frac{d^2t}{dx^2} = c\rho \frac{dt}{dz},$$

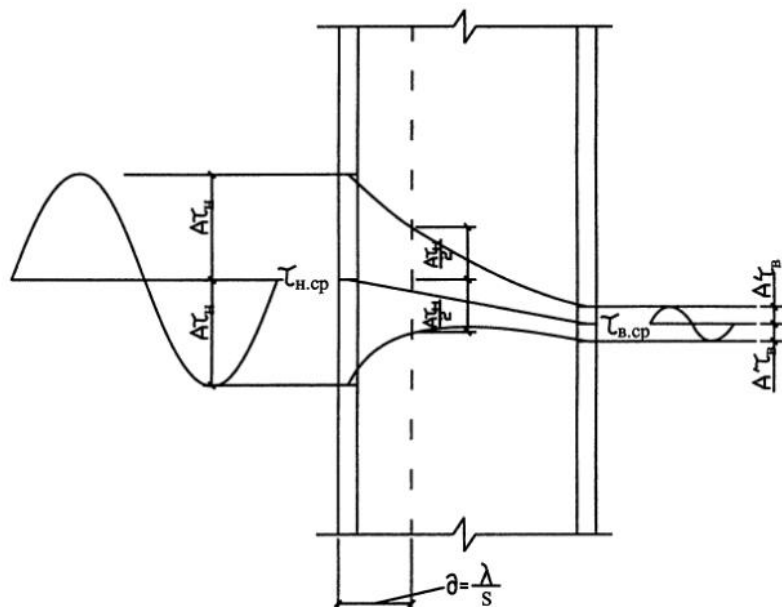
или

$$\frac{dt}{dz} = \frac{\lambda}{c\rho} \cdot \frac{d^2t}{dx^2}. \quad (2.22)$$

Это дифференциальное уравнение Фурье для неустановившегося потока, для конструкций, в которых направление потока тепла перпендикулярно плоскости стены.

Оно показывает, что изменение температуры за время  $z$  пропорционально изменению температуры в направлении потока тепла  $x$ .

Величина  $a = \frac{\lambda}{c\rho}$  называется коэффициентом температуропроводности материала который показывает скорость выравнивания температуры внутри однородной конструкции.



**Рис. 2.13.** Схема затухания температурных колебаний внутри однородной конструкции

Чем больше величина коэффициента теплопроводности материала  $\lambda$  и чем меньше его теплоемкость, тем быстрее завершится процесс остывания или нагрева слоя конструкции.

Закономерность изменений температурных воздействий на поверхность конструкций в обобщенном виде может быть выражена в виде периодических колебаний (см., например, *рис.2.13*). Период колебаний в этом случае соответствует колебанию температуры воздуха в течение суток. Он может соответствовать также периоду нагрева конструкции солнечными лучами или периоду отдачи тепла системой отопления (печи).

Решение дифференциального уравнения, которое можно произвести при граничных условиях периодических колебаний температуры, показывает, что эти колебания распространяются преимущественно только во внешних слоях конструкции (*рис. 2.13*). Толщина этих слоев тем меньше, чем короче период колебаний температуры внешней или внутренней среды, и наоборот, толщина слоя резких колебаний тем больше, чем длиннее период колебаний температуры.

Затухание амплитуды колебаний температуры внутри конструкций зависит от коэффициента теплоусвоения материала  $S$ , который по своему физическому смыслу является коэффициентом теплообмена при передаче периодических воздействий тепла только за счет теплопроводности.

Коэффициент теплоусвоения зависит от свойств материала слоя конструкции, а именно от величины коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , удельной теплоемкости  $c$  и плотности  $\rho$ . Если внешняя по отношению к изменению теплового потока часть однородного слоя материала конструкции имеет толщину, большую, чем толщина слоя резких колебаний, коэффициент теплоусвоения определяется по формуле

$$S = \sqrt{\frac{2\pi\lambda c\rho}{Z}} = \sqrt{\omega\lambda c\rho}, (\text{Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}); \quad (2.23)$$

где  $\omega = 2\pi/z$  – круговая частота колебаний,  $1/\text{ч}$ ;  $Z$  – период колебаний температуры воздушной среды, ч.

Значения  $S$  при периоде колебаний 24 ч (например, при солнечном облучении или топке печей 1 раз в сутки), приведены в СНиП и СП. В этом случае

$$S = 0,51\sqrt{\lambda c\rho}.$$

При периоде колебаний 12 ч (топка печей 2 раза в сутки)

$$S = 0,72\sqrt{\lambda c\rho}.$$

Наибольшее теплоусвоение имеют материалы с большой теплоемкостью и плотностью, например,

гранита  $S = 25,04 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$ ;

железобетона  $S = 17,98 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$  (в сухих условиях);

кирпича глиняного, обыкновенного  $S = 9,20 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$  (в сухих условиях);

перлитобетона  $S = 6,96 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$  (в сухих условиях) при  $p = 1200 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;

сосны и ели поперек волокон  $S = 5,56 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$  (в сухих условиях);

плит минераловатных жестких  $S = 0,48 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$  (в сухих условиях) при  $\rho = 50 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Толщина слоя резких колебаний определяется по формуле

$$d = \frac{\lambda}{S}, \text{ м.} \quad (2.24)$$

Она является мерой «активной теплоемкости» конструкции. Толщина слоя резких колебаний может быть выражена через коэффициент температуропроводности материала ( $a = \lambda / c\rho$ ):

$$d = \sqrt{\frac{a}{\omega}} = \sqrt{\frac{\lambda}{c\rho \cdot 2\pi}} = \sqrt{\frac{\lambda^2 z}{\lambda c\rho \cdot 2\pi}} = \lambda \sqrt{\frac{z}{\lambda c\rho \cdot 2\pi}} = \frac{\lambda}{\sqrt{\frac{\lambda c\rho \cdot 2\pi}{z}}} = \frac{\lambda}{S}.$$

Если тонкий конструктивный слой обладает малым теплоусвоением и в нем не происходит существенного изменения колебаний температуры, то формула (2.23) неприменима, так как на величину коэффициента теплоусвоения оказывает влияние теплоусвоение следующего конструктивного слоя ограждающей конструкции. Коэффициент теплоусвоения такой поверхности  $Y_B$  вычисляется по формуле

$$Y_B = \frac{R_1 S_1^2 + S_2}{1 + R_1 S_2}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}). \quad (2.25)$$

Для первого слоя:

$$Y_I = \frac{R_1 S_1^2 + \alpha_B}{1 + R_1 \alpha_B}. \quad (2.26)$$

Для  $i$ -го слоя:

$$Y_i = \frac{R_i S_i^2 + Y_{i-1}}{1 + R_i Y_{i-1}}, \quad (2.27)$$

где  $R_1, R_i$  – термическое сопротивление первого и  $i$ -го слоев ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  $S_1 \dots S_i$  – коэффициенты теплоусвоения материала соответственно первого и  $i$ -го слоев,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ , принимаемые по формуле (2.23) или по табл. прил. 2.2;  $\alpha_B$  – коэффициент тепловосприятости, то же, что и в формуле (2.3);  $Y_1, Y_{i-1}$  – коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности соответственно первого,  $i$ -го и  $(i-1)$ -го слоев.  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ .

Отношение амплитуды колебаний температур на поверхности конструкции, непосредственно воспринимающей периодические тепловые воздействия, ( $A_{\tau.н.}$ ), к затухающей амплитуде ( $A_{\tau.в.}$ ) на противоположащей поверхности называется затуханием температурных колебаний внутри конструкции ( $\nu$ ):

$$\nu = \frac{A_{\tau.н.}}{A_{\tau.в.}}. \quad (2.28)$$

Легкие ограждающие конструкции, утепленные эффективными теплоизоляционными материалами, характеризуются малой величиной затухания. Они быстро охлаждаются при отключении отопления зимой и быстро прогреваются при нагревании их солнцем. Говорят, что они обладают малой величиной тепловой инерции. Тепловая инерция характеризует свойство ограждающей конструкции сохранять или медленно изменять существующее распределение температур внутри конструкции.

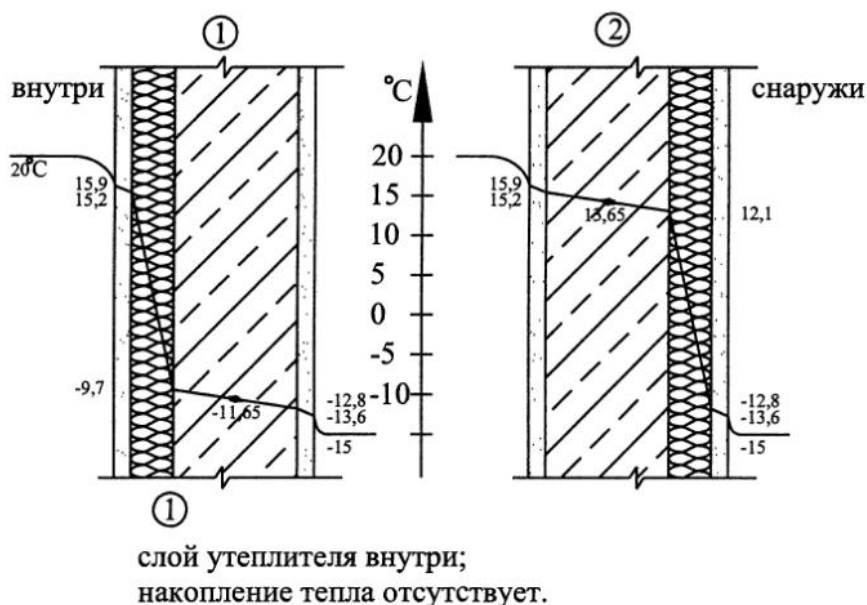
Для характеристики процесса затухания колебаний температур внутри ограждающей конструкции принимается характеристика тепловой инерции  $D$ . Для однородной конструкции

$$D = R S. \quad (2.29)$$

Для слоистых ограждающих конструкций характеристика тепловой инерции приближенно определяется по формуле

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 + \dots + R_{n-1} S_{n-1} + R_n S_n. \quad (2.30)$$

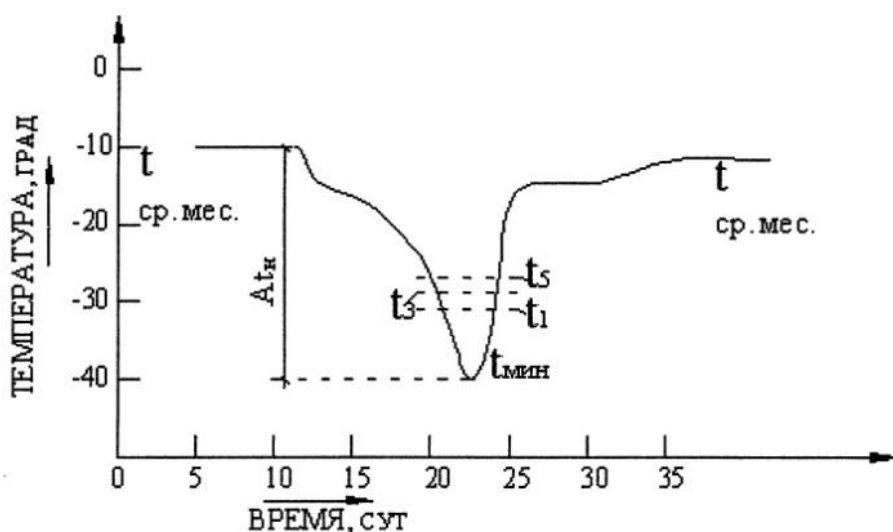
Условность формулы (2.30) заключается в том, что на самом деле величина затухания колебаний температуры и его скорость зависят также и от порядка расположения ее слоев с различными физическими свойствами. В формуле (2.30) это не учитывается. Сравним две конструкции стены, имеющие одинаковые, но различно расположенные слои. В одной из них утеплитель расположен внутри, а в другой – снаружи (рис. 2.14). На рисунке наглядно показано, что при расположении утеплителя внутри в стене не может быть никакого накопления тепла. Поэтому при отключении отопления в таком помещении зимой



**Рис. 2.14.** Тепловая инерция стены с внутренним и наружным расположением утеплителя

помещение охладится гораздо быстрее, чем то, где утеплитель расположен снаружи. Летом внутреннее расположение утеплителя способствует накоплению тепла массивной конструкцией и создает опасность перегрева помещений. При наружном расположении утеплителя внутренний массивный слой дольше будет оставаться прохладным. Влияние расположения слоев учитывается формулой затухания колебаний температуры, выведенной путем решения дифференциального уравнения нестационарного режима передачи тепла:

$$\nu = 0,9 \cdot e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{(S_1 + \alpha_B)(S_2 + Y_1) \dots (S_n + Y_{n-1})(\alpha_n + Y_n)}{(S_1 + Y_1)(S_2 + Y_2) \dots (S_n + Y_n)\alpha_n}, \quad (2.31)$$



**Рис. 2.15.** Типичный характер понижения температуры в наиболее холодный период зимы;  $t_{\text{мин}}$  – минимальная температура;  $t_1, t_3, t_5$  – средние температуры наиболее холодных одно-, трех- и пятисуточного периодов;  $t_{\text{ср.мес.}}$  – средняя месячная температура.



где  $D$  – тепловая инерция ограждающей конструкции, определяемая по формуле (2.30);  $e = 2,718\dots$  – основание натуральных логарифмов;  $S_1, S_2, \dots S_n$  – коэффициенты теплоусвоения материалов отдельных слоев Вт/(м<sup>2</sup> °С);  $Y_1, Y_2, \dots Y_n$  – коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности отдельных слоев конструкции, определяемые по формулам (2.26) и (2.27).

Если  $D_i \geq 1$ , то  $Y_i = S_i$ . То есть для массивных слоев конструкции величину теплоусвоения наружной поверхности следует принимать равной теплоусвоению материала.

$\alpha_B$  – то же, что в формуле (2.3);

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения, который зависит от условий обдувания ее ветром:

$$\alpha_n = 1,16(5 + 10\sqrt{v}), \quad (2.32)$$

где  $v$  – минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, повторяемость которых составляет 16% и более, принимаемая по СНиП 23-01-99, но не менее 1 м/с (прил. 2.13).

Затухание температурных колебаний в слое слоистой конструкции зависит от свойств следующего слоя конструкции, расположенного по пути движения тепловой волны. Поэтому расчет затухания следует начинать с последнего слоя на пути движения тепловой волны, последовательно от слоя к слою приближаясь к поверхности, непосредственно воспринимающей периодические тепловые воздействия.

Так, в летних условиях расчет следует начинать с внутренней поверхности. Зимой при периодически действующем печном отоплении картина может быть зеркальной, однако период колебаний может быть различным.

На *рис. 2.15* представлен график изменения температуры наружного воздуха при типичном резком похолодании зимой в континентальном климате в наиболее холодный период зимы.

Тепловая инерция ограждающих конструкций в теплотехнических расчетах на зимние условия учитывается путем выбора наружной расчетной зимней температуры. При этом для упрощения расчет ведется с допущением стационарного теплового режима.

Для особо легких конструкций в качестве расчетной принимается минимальная температура наружного воздуха. В массивных конструкциях, которые охлаждаются медленно, кратковременное понижение температуры до минимальной приведет к полному охлаждению только наружного слоя, а температура внутренней поверхности практически не изменится. Полное охлаждение массивной конструкции завершится только через несколько суток, т.е. когда температура наружного воздуха повысится. Поэтому в таких случаях в качестве расчетной принимается не минимальная, а средняя температура наиболее холодных периодов, длительность которых соответствует времени полного охлаждения конструкций разной массивности.

При определении расчетной зимней температуры наружного воздуха ограждающие конструкции следует подразделять на четыре категории:

1-я – особо легкие,  $D \leq 1,5$ ;  $t_n = t_{\min}$ ;

2-я – легкие,  $1,5 < D \leq 4$ ;  $t_n = t_1$  (средняя самых холодных суток);

3-я – средней массивности,  $4 < D \leq 7$ ;  $t_n = (t_1 + t_5)/2$  (средняя самых холодных трех суток);

4-я – массивные,  $D > 7$ ;  $t_n = t_5$  (средняя самых холодных пяти суток).

Для легких конструкций, таких как, например, стены с тепловой инерцией менее 4-х и покрытия с  $D < 5$ , требуется обязательный расчет на летние условия, если средняя температура июля в месте строительства равна  $+21^\circ\text{C}$  и более. Однако и в средней полосе европейской части России, где средние температуры июля ниже  $+21^\circ\text{C}$ , расчет крыш-мансард на теплоустойчивость является желательным, хотя в нормах по теплозащите зданий это прямо не указано. При этом нормируемая амплитуда колебаний температуры на внутренней поверхности конструкции определяется по формуле:

$$A_{\tau_B}^{TP} = 2,5 - 0,1(t_n - 21^\circ), \quad (2.33)$$

где  $t_n$  – среднемесячная температура наружного воздуха самого теплого месяца, принимаемая согласно СНиП 23-01-99 (см. прил. 2.3). Если  $t_n$  меньше  $21^\circ$ , то в формуле (2.33) ее следует принимать равной  $+21^\circ\text{C}$ .

Фактическая амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции  $A_{\tau_B}^{TP}$  ( $^\circ\text{C}$ ) определяется по формуле:

$$A_{\tau_B} = \frac{A_{t_n}^{расч}}{\nu}, \quad (2.34)$$

где  $A_{t_n}^{расч}$  – расчетная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха,  $^\circ\text{C}$ . Ее следует определять по формуле

$$A_{t_n}^{расч} = 0,5 A_{t_n} + \frac{\rho(I_{\max} - I_{cp})}{\alpha_n}, \quad (2.35)$$

где  $A_{t_n}$  – максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле,  $^\circ\text{C}$ , принимаемая по СНиП 23-01-99 (прил. 2.17);  $\rho$  – коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по табл. прил. 2.15;  $I_{\max}$  и  $I_{cp}$  – соответственно максимальное и среднее значение суммарной радиации (прямой и рассеянной),  $\text{Вт}/\text{м}^2$ , принимаемые согласно СНиП 23-01-99 для наружных стен – как для вертикальных поверхностей западной ориентации и для покрытий – как для горизонтальной поверхности (прил. 2.16);  $\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной западной поверхности ограждений по летним условиям,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$ , определяемый по формуле (2.32).

Таким образом, расчетная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха учитывает не только нагрев воздуха, но и нагрев стены солнечными

лучами, а также отбор этого тепла за счет ветра, т.е. весь комплекс воздействий на ограждение, влияющих на амплитуду колебаний температуры его поверхности.

Основное условие, которое должно выполняться при расчете на теплоустойчивость в летних условиях – это

$$A_{\tau_B} \leq A_{\tau_B}^{TP} \quad (2.36)$$

Для конструкции очень важно, чтобы максимальная температура на внутренней поверхности стены была бы в то время суток, когда температура воздуха минимальна, т.е. ночью. Днем, примерно в 15-16 часов, температура воздуха максимальна. В это время внутренняя поверхность стены должна иметь минимальную температуру. Это произойдет в том случае, если запаздывание колебаний от наружной поверхности к внутренней будет со сдвигом по фазе  $E_s = 12$  часов. Сдвиг фаз вычисляется по формуле

$$E_s = \frac{1}{15} (40,5D - \arctg \frac{\alpha_B}{\alpha_B + Y_e \sqrt{2}} + \arctg \frac{S_{н.н.}}{Y_n + \alpha_n \sqrt{2}}), \quad (2.37)$$

где  $Y_e$  и  $Y_n$  – коэффициенты теплоусвоения внутренней и наружной поверхности, вычисляемые по формулам (2.26 и 2.27).

Если величины  $\arctg$  берутся в градусах, а не в радианах, то величины дробей надо умножить на  $(180^\circ/\pi)$ .

При предварительной оценке запаздывания наружных температурных колебаний на внутренней поверхности ограждающей конструкции может быть использовано следующее выражение:

$$E_s = 2,7D - 0,4, \quad (2.38)$$

где  $D$  – тепловая инерция конструкции, определяемая по формуле (2.30).

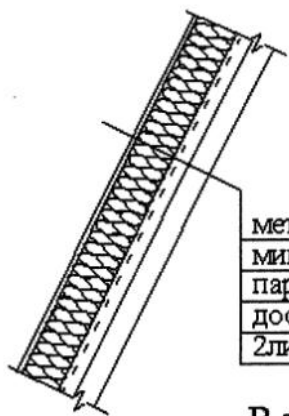
Согласно этой формуле, для того, чтобы запаздывание составило 12 часов, тепловая инерция должна быть равна:

$$\begin{aligned} 12 &= 2,7D - 0,4, \\ D &= 4,3. \end{aligned}$$

**Пример 3.** Рассчитать конструкцию неветилируемой крыши мансарды в коттедже, строящемся в районе г. Ставрополя. (Условия эксплуатации сухие).

1. Определить требуемую толщину слоя утеплителя из расчета на теплозащиту в зимних условиях.
2. Проверить соответствие конструкции мансарды на теплоустойчивость в летних условиях.
3. Климатические данные для г. Ставрополя определяем по СНиП 23-01-99.

$$\begin{aligned} t_{\text{ср.июля}} &= 21,9^\circ; t_1 = -23^\circ; t_5 = -18^\circ; t_{\text{ср.ом}} = 0,3; Z_{\text{ом}} = 169. \\ I_{\text{max}} &= 563 \text{ Вт/м}^2; I_{\text{ср.}} = 180 \text{ Вт/м}^2; (\varphi = 45^\circ \text{ с.ш.}); v = 5,8 \text{ м/с.} \\ A_{\text{июля}}^{\text{июль}} &= 19,7^\circ \end{aligned}$$



металлочерепица	$\delta = 0,002$ ; $\lambda = 58$ ; $S = 126,5$
мин. вата, жестк. плиты	$\delta = 0,15$ ; $\lambda = 0,052$ ; $S = 0,42$
пароизоляция - ПЭ пленка	
доски подшивки	$\delta = 0,02$ ; $\lambda = 0,14$ ; $S = 3,87$
Листа ГКЛ	$\delta = 0,04$ ; $\lambda = 0,19$ ; $S = 3,34$

В такой конструкции пароизоляция должна быть выполнена особенно тщательно. В большинстве случаев в таких крышах между металлочерепицей и утеплителем устраивается вентилируемая воздушная прослойка толщиной не менее 50 мм.

Рис. 2.16. Расчетная схема к примеру 3 (крыша мансарды)

Определение требуемой толщины утеплителя из расчета на зимние условия:

$$GCOП = (t_B - t_{cp.ом.}) Z_{om} = (20 - 0,3) 169 = 3329,3.$$

По табл. 2.7 по интерполяции находим

$$R_O^{TP} = 3,4 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Состав конструкции: 2 слоя гипсокартона ( $\lambda = 0,19$ ), доски подшивки ( $\lambda = 0,14$ ), ПЭ пленка (в расчете не учитывается), утеплитель ( $\lambda = 0,052$ ), металлочерепица - сталь ( $\lambda = 58$ )(в расчете не учитывается), см.рис. 2.16.

$$D = \frac{2 \cdot 0,02}{0,19} \cdot 3,34 + \frac{0,02}{0,14} \cdot 3,87 + \frac{0,15}{0,052} \cdot 0,42 + \frac{0,002}{58} \cdot 126,5.$$

Здесь  $S_{гк} = 3,34$ ;  $S_{дерева} = 3,87$ ;  $S_{мин.вата} = 0,42$  и  $S_{металла} = 126,5$

$$D = 0,70 + 0,55 + 1,21 + 0,004 = 2,464$$

$$\frac{1}{23} + \frac{x}{0,052} + \frac{0,02}{0,14} + \frac{2 \cdot 0,02}{0,19} + \frac{1}{8,7} = R_O^{TP} = 3,4;$$

$$0,043 + \frac{x}{0,052} + 0,14 + 0,21 + 0,11 = 3,4;$$

$$x = 0,151 \text{ м} \approx 0,15 \text{ м}.$$

Толщина утеплителя должна составлять 15 см.

Проверка конструкции крыши-мансарды на теплоустойчивость в летних условиях.

$$A_{TB}^{TP} 2,5 - 0,1(21,9 - 21) = 2,41^\circ;$$

$$A_{тн}^{расч} = 0,5 \cdot 19,7 + \frac{0,8(563 - 180)}{\alpha_n};$$

$$\alpha_n = 1,16(5 + 10\sqrt{5,8}) = 33,74;$$

$$A_{тн}^{расч} = 0,5 \cdot 19,7 + \frac{0,8(563 - 180)}{33,74} = 21,20^\circ.$$

Толщина слоя гипсокартона равна 0,04 м. Его тепловая инерция  $D_1 = 0,70 < 1$ ;  $R_1 = 0,04/0,19 = 0,21$ .

$$Y_1 = \frac{0,21 \cdot 3,34^2 + 8,7}{1 + 0,21 \cdot 8,7} = 3,90.$$

Толщина слоя досок подшивки равна 0,02 м. Его тепловая инерция  $D_2 = 0,55 < 1$ ;  $R_2 = 0,14$ ;

$$Y_2 = \frac{0,14 \cdot 3,87^2 + 3,90}{1 + 0,14 \cdot 3,90} = 3,88.$$

Толщина слоя утеплителя равна 0,15 м. Его тепловая инерция  $D_3 = 1,21 > 1$ ; след.  $Y_3 = S_3 = 0,42$ .

Толщина металлочерепицы 0,002 м;  $\lambda = 58$ ;  $S_4 = 126,5$ .

$$D_4 = \frac{0,002}{58} \cdot 126,5 = 0,004; R_4 = 0,00003;$$

$$Y_4 = \frac{0,00003 \cdot 126,5^2 + 0,42}{1 + 0,00003 \cdot 0,42} = 0,90.$$

$$\nu = 0,9 \cdot 2,718 \frac{2,464}{\sqrt{2}} \cdot \frac{(3,34 + 8,7)(3,87 + 3,90)(0,42 + 3,87)(126,5 + 0,42)(33,74 + 0,90)}{(3,34 + 3,90)(3,88 + 3,87)(0,42 + 0,42)(126,5 + 0,90) \cdot 33,74}$$

$$\nu = 0,9 \cdot 5,71 \cdot \frac{12,04 \cdot 7,77 \cdot 4,29 \cdot 126,92 \cdot 34,64}{7,24 \cdot 7,74 \cdot 0,84 \cdot 127,40 \cdot 33,74} = 0,9 \cdot 5,71 \cdot 8,72 = 44,81$$

$$A_{тв} = \frac{A_{тн}^{расч}}{\nu} = \frac{21,20}{44,81} = 0,47^\circ;$$

$$A_{тв} = 0,47^\circ < A_{тн}^{расч} = 2,41^\circ$$

Конструкция мансарды удовлетворяет требованиям по теплоустойчивости в летних условиях для климатических условий г. Ставрополя.

## 2.8. Требования по теплозащите здания в целом

В СНиП II-3-79\* применен так называемый «поэлементный» метод нормирования теплозащиты, когда каждый элемент ограждения зданий (стены, чердачные перекрытия, крыши-мансарды, окна, наружные двери, перекрытия над подвалами и подпольями, полы по грунту) должен удовлетворять определенным требованиям летней и зимней теплозащиты, которые были рассмотрены выше. В московских городских строительных Нормах МГСН 2.01-94 «Энергосбережение в зданиях» впервые в России сделана попытка нормирования при-

веденного коэффициента теплопередачи здания. Приведенный коэффициент теплопередачи здания должен быть не более требуемой величины, указанной в таблице МГСН (табл. 2.2).

**Таблица 2.2**

Требуемый приведенный коэффициент теплопередачи здания

Вид (тип) и этажность здания	Требуемый коэффициент теплопередачи здания $K_{зд}^{mp}$ Вт/(м <sup>2</sup> °С)
Многоэтажные - 8 эт. и выше	0,6
Средней этажности - 4-5 эт.	0,55
Малозэтажные:	
3 эт.	0,55
2 эт.	0,5
Коттеджи	0,5
То же с мансардой	0,5
1- и 2-эт. дома блокированного типа	0,5

Приведенный фактический коэффициент теплопередачи  $K_{зд}^{\phi}$ , Вт/(м<sup>2</sup> °С) совокупности ограждающих конструкций здания следует определять по величинам общих сопротивлений теплопередаче отдельных наружных ограждающих конструкций  $R_o^{\phi}$  и их площадям  $A$ :

$$K_{зд}^{\phi} = (A_{ст} / R_{o.ст} + A_{ок} / R_{o.ок} + A_{дв} / R_{o.дв} + n \cdot A_n / R_{o.n} + n \cdot A_{пол} / R_{o.пол}) / \sum A, \quad (2.39)$$

где  $n$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху согласно СНиП. Для полов на грунте  $n = 0,5$ .

$A_{ст}$ ,  $A_{ок}$ ,  $A_{дв}$ ,  $A_n$ ,  $A_{пол}$  и  $R_{o.ст}$ ,  $R_{o.ок}$ ,  $R_{o.дв}$ ,  $R_{o.n}$ ,  $R_{o.пол}$  – соответственно площади и общие сопротивления теплопередаче стен, окон, дверей, чердачных перекрытий или покрытий мансард и других покрытий, а также пола 1-го этажа, в том числе по грунту.

Приведенные сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций можно определять расчетом, а также по справочной табл. прил. 2.18., для окон, балконных дверей и фонарей.

$\sum A$  – общая площадь перечисленных наружных ограждающих конструкций.

Такой подход к нормированию позволяет более гибко подходить к приспособлению памятников архитектуры к современным требованиям энергосбережения при их реставрации.

**Пример 4.** Необходимо провести комплекс мероприятий при реставрации памятника архитектуры без разрушения декора его фасадов с целью обеспечить соблюдение требований МГСН 2.01-94 по энергосбережению.

Возможные мероприятия:

1. Утепление стен изнутри.
2. Замена существующих окон и наружных дверей на современные, утепленные.

### 3. Утепление чердачного перекрытия.

Из перечисленных мероприятий возможно проведение только второго и третьего. Утепление стен изнутри приведет к нарушению температурного режима стен, к резкому снижению их тепловой инерции. Основной несущий материал стен будет находиться зимой в замороженном состоянии, что приводит к его разрушению. Даже при тщательно выполненной пароизоляции не удастся избежать намокания отдельных участков стен вблизи перекрытий (мостики холода у опирания перекрытий на наружные стены).

Существующее состояние наружных ограждающих конструкций.

Площадь глухих участков стен  $A_{ст} = 696,9 \text{ м}^2$ ;  $Ro_{ст} = 1,71$ .

Площадь окон  $A_{ок} = 103,2 \text{ м}^2$ ;  $Ro_{ок} = 0,42 + 0,11 + 0,04 = 0,61$ .

Площадь дверей  $A_{дв} = 6,3 \text{ м}^2$ ;  $Ro_{дв} = 0,3 + 0,11 + 0,04 = 0,45$ .

Площадь чердачного перекрытия  $A_n = 377 \text{ м}^2$ ;  $Ro_n = 0,91$ .

Площадь пола подвала  $A_{пол} = 377 \text{ м}^2$ ;  $Ro_{пол} = 0,125 + 0,11 + 0,17 = 0,40$ .

$\Sigma A = 1560,4 \text{ м}^2$ .

Приведенный фактический коэффициент теплопередачи равен:

$$K_{30}^{\phi} = (696,9/1,71 + 103,2/0,61 + 6,3/0,45 + 377/0,91 + 0,5 \cdot 377/0,40) / 1560,4$$

$$K_{30}^{\phi} = 1476,26 / 1560,4 = 0,946 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}) > K_{30}^{mp} = 0,55.$$

Если провести замену окон, дверей и утепления чердачного перекрытия и пола подвала, величина сопротивления теплопередаче этих конструкций будет равна:

$$Ro_{ок} = 0,72 + 0,11 + 0,04 = 0,87;$$

$$Ro_{дв} = 0,95 + 0,11 + 0,04 = 1,1;$$

$$Ro_n = 4,6 + 0,11 + 0,08 = 4,79;$$

$$Ro_{пол} = 4 + 0,11 + 0,17 = 4,28.$$

$$K_{30}^{\phi} = (696,9/1,71 + 103,2/0,87 + 6,3/1,1 + 377/4,79 + 0,5 \cdot 377/4,28) / 1560,4;$$

$$K_{30}^{\phi} = (4,7 + 118,63 + 5,7 + 78,71 + 44,04) / 1560,4 = 654,07 / 1560,4 = 0,42;$$

$$K_{30}^{\phi} = 0,42 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}) < K_{30}^{mp} = 0,55 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Приведенный коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций здания после проведения указанных мероприятий будет соответствовать требованиям МГСН 2.01-94 по энергосбережению.

Нормами СНиП 23-02-2003 установлены три показателя тепловой защиты здания:

- а) энергетический, приведенное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания должно соответствовать требованиям экономии энергии (по табл. прил. 2.8 с использованием формулы 2.8);
- б) санитарно-гигиенический, включающий температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой на поверхности ограждающих конструкций, которая должна быть выше температуры точки росы (см. формулу 2.7);
- в) удельный расход тепловой энергии на отопление здания, позволяющий варьировать величинами теплозащитных свойств различных видов ограждающих конструкций зданий с учетом объемно-планировочных решений здания и выбора систем поддержания микроклимата для достижения нормируемого значения этого показателя.

Требования тепловой защиты здания будут выполнены, если в них будут соблюдены требования показателей «а» и «б» либо «б» и «в».

Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление зданий за отопительный период  $q_{от}$ , кДж/(м<sup>2</sup>·С·сут) или кДж/(м<sup>3</sup>·°С·сут) (на 1 м<sup>2</sup> отапливаемой площади пола квартир, или полезной площади помещений, или на 1 м<sup>3</sup> отапливаемого объема), должен быть меньше или равен нормируемому значению  $q_{от}^{треб}$  определяемому по табл. прил. 2.19 и 2.20 (табл. 8, 9 СНиП 23-02-2003):

$$q_{от} \geq q_{от}^{треб}. \quad (2.40)$$

При устройстве в зданиях поквартирных и автономных, в том числе крышных, встроенных и пристроенных котельных или стационарного электроотопления  $q_{от}^{треб}$  равен величине определяемой по табл. 2.19 или 2.20, умноженной на коэффициент  $\varepsilon$ , рассчитываемый по формуле

$$\varepsilon = \varepsilon_{дец} / \varepsilon_{центр}, \quad (2.41)$$

где  $\varepsilon_{дец}$  и  $\varepsilon_{центр}$  – расчетные коэффициенты энергетической эффективности поквартирных и автономных систем теплоснабжения или стационарного электроотопления и централизованной системы теплоснабжения соответственно, принимаемые по проектным данным, осредненным за отопительный период. Расчет этих коэффициентов приведен в своде правил к СНиП – СП 23-101-2000.

Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление зданий следует определять по формуле

$$q_{от} = 10^3 \cdot Q_{от} / (A_{от} \cdot D_d)$$

или

$$q_{от} = 10^3 \cdot Q_{от} / (V_{от} \cdot D_d), \quad (2.42)$$

где  $D_d$  или ГСОП, определяется по формуле (2.8);  $A_{от}$  и  $V_{от}$  – сумма отапливаемых площадей и объемов в здании, соответственно;  $Q_{от}$  – расход тепловой энергии на отопление здания в течение отопительного периода, МДж, определяемый величинами теплопотерь и теплопоступлений в здании:

$$Q_{от} = [Q_{mn} - (Q_{в.н.} + Q_{сол.}) \nu \cdot \xi] \cdot \beta_{от}, \quad (2.43)$$

где  $Q_{mn}$  – общие теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции, МДж.

$$Q_{mn} = 0,0864 \cdot K_o^{зд} \cdot D_d \cdot \sum A_i, \quad (2.44)$$

где  $K_o^{зд}$  – общий коэффициент теплопередачи здания, Вт/(м<sup>2</sup>·°С), определяется по формуле:

$$K_o^{зд} = K_{зд}^{\Phi} + K_{инф}^{\Phi}; \quad (2.45)$$

$$K_{зд}^{\Phi} = \sum_{i=1}^n (A_i / R_i) / \sum A_i, \quad (2.46)$$

где  $K_{инф}^{\Phi}$  – условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплопотери за счет инфильтрации и вентиляции, Вт/( м<sup>2</sup>·°С), определяемый по формуле



$$K_{инф}^{\Phi} = 0,28 c \cdot n_a \cdot \beta_v \cdot V_{ом} \cdot \rho_a \cdot k / \sum A_i, \quad (2.47)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°С);  $\beta_v$  – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций. При отсутствии данных следует принимать  $\beta_v = 0,85$ ;  $V_{ом}$  – то же, что и в формуле (2.38);  $\rho_a$  – средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м<sup>3</sup>.

$$\rho_a = 353 / [273 + 0,5(t_e - t_n)], \quad (2.48)$$

где  $t_e$  – нормируемая внутренняя температура воздуха;  $t_n$  – расчетная наружная температура наружного воздуха в холодный период года, °С, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по СНиП 23.01.99 (прил. 2.6);  $n_a$  – средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, ч<sup>-1</sup>, определяемая по формуле

$$n_a = [(L_v \cdot n_v) / 168 + (G_{инф} \cdot k \cdot n_{инф}) / (168 \rho_a)] / (\beta_v \cdot V_{ом}), \quad (2.49)$$

где  $L_v$  – количество приточного воздуха в здание при неорганизованном притоке либо нормируемое значение при механической вентиляции, м<sup>3</sup>/ч.

Для жилых зданий с расчетной заселенностью 20 м<sup>2</sup> общей площади и менее на человека  $L_v = 3A_{ж}$  ( $A_{ж}$  – площадь жилых помещений, м<sup>2</sup>).

Для других жилых зданий:  $L_v = 0,35 \cdot 3 \cdot A_{ж}$ , но не менее 30 м, где м – число жителей в здании.

Для общественных и административных зданий  $L_v = 4A_{ж}$ .

Для учреждений здравоохранения и образования  $L_v = 5A_{ж}$ .

Для спортивных, зрелищных и детских учреждений  $L_v = 6A_{ж}$ .

Для двух последних категорий зданий вместо жилой площади берется рабочая площадь;

$n_v$  – число часов работы механической вентиляции в течение недели;

168 – число часов в неделе;

$G_{инф}$  – количество инфильтрующегося воздуха в здание через ограждающие конструкции, кг/ч.

Для жилых зданий – количество воздуха, поступающего в лестничные клетки в течение суток отопительного периода, величина  $G_{инф}$  определяется по формуле

$$G_{инф} = (A_{обд} / R_{обд}) \cdot (\Delta P_{обд} / 10)^{2/3} + (A_{вд} / R_{вд}) \cdot (\Delta P_{вд} / 10)^{1/2}, \quad (2.50)$$

где  $A_{обд}$ ,  $R_{обд}$  и  $\Delta P_{обд}$  – соответственно суммарная площадь, м<sup>2</sup>, требуемое сопротивление воздухопроницанию и расчетная разность давлений воздуха для окон и балконных дверей лестничной клетки, Па;  $A_{вд}$ ,  $R_{вд}$  и  $\Delta P_{вд}$  – то же для входных дверей.

$$\Delta P = 0,55H(\gamma_n - \gamma_e) + 0,03\gamma_n \cdot V^2, \quad (2.51)$$

$H$  – высота здания (от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты), м;  $\gamma_n$  и  $\gamma_e$  – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м<sup>3</sup>, определяемый по формуле

$$\gamma = 3463 / (273 + t), \quad (2.52)$$

где  $t$  равно  $t_n$  и  $t_e$ ;  $k$  – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в светопрозрачных конструкциях, равный для окон и балконных дверей:

с тройным остеклением – 0,7,  
с двойным раздельным – 0,8,  
со спаренным остеклением – 0,9,  
с одинарным остеклением – 1,0;

$n_{инф}$  – число часов учета инфильтрации в течение недели, ч, равное 168 для зданий со сбалансированной приточно-вытяжной вентиляцией и  $(168-n_v)$  – для зданий, в помещениях которых поддерживается подпор воздуха во время действия приточной механической вентиляции;  $\rho_a$ ,  $\beta_v$  и  $V_{от}$  – то же, что и в формуле (2.47).

Для общественных зданий  $G_{инф}$  – количество инфилирующего воздуха через неплотности светопрозрачных конструкций и дверей; СНиП допускает принимать в нерабочее время

$$G_{инф} = 0,5\beta_v \cdot V_{от}. \quad (2.53)$$

$Q_{вн}$  – бытовые тепlopоступления в течение отопительного периода, МДж, определяются по формуле

$$Q_{вн} = 0,0864 \cdot q_{вн} \cdot z_{от} \cdot A_{ж}, \quad (2.54)$$

где  $q_{вн}$  – величина бытовых тепlopоступлений на 1 м<sup>2</sup> площади жилых помещений или расчетной площади общественного здания, Вт/м<sup>2</sup>.

Для жилых зданий с расчетной заселенностью квартиры 20 м<sup>2</sup> общей площади и менее на человека  $q_{вн} = 17$  Вт/м<sup>2</sup>.

Для жилых зданий с заселенностью 45 м<sup>2</sup>/чел. и более  $q_{вн} = 10$  Вт/м<sup>2</sup>.

Для других жилых зданий в зависимости от расчетной заселенности квартиры – по интерполяции.

Для общественных и административных зданий бытовые тепловыделения учитываются по расчетному числу людей (90 Вт/чел.), находящихся в здании, освещения (по удельной установленной мощности) и оргтехники (10 Вт/м<sup>2</sup>) с учетом рабочих часов в неделю.

Тепlopоступления через окна и фонари от солнечной радиации в течение отопительного периода  $Q_{сол}$ , МДж для четырех фасадов зданий, ориентированных по четырем направлениям, следует определять по формуле

$$Q_{сол} = \tau_e \cdot \tau_2 \left( \sum_{i=1}^4 A_{\phi,i} \cdot J_{\phi,i} \right) + \tau_{e.z.\phi} \cdot \tau_2 \cdot A_{z.\phi} \cdot J_{\Gamma}, \quad (2.55)$$

где  $\tau_e$  и  $\tau_{e.z.\phi}$  соответственно – коэффициенты пропускания тепловой радиации остекления окон и зенитных фонарей (табл. 2.18);  $A_{\phi,i}$  и  $A_{z.\phi}$  – площади светопроемов на фасадах здания  $i = 1-4$  и площадь зенитных фонарей, м<sup>2</sup>;  $J_{\phi,i}$  и  $J_{\Gamma}$  – средняя за отопительный период величина солнечной радиации на вертикальных поверхностях фасадов при действительных условиях облачности в соответствии с их ориентацией и на горизонтальной поверхности, МДж/м<sup>2</sup>, определяется по СНиП 23.01.99.

При расчете здания по показателю удельного расхода тепловой энергии в качестве начальных значений теплозащитных свойств ограждающих конструкций СНиП 23-02-2003 рекомендует задавать нормируемые значения сопротивления теплопередаче  $R_o^{mp}$ , определенные по ГСОП и табл. прил. 2.8 для отдельных элементов наружных ограждений. Затем проверяют соответствие величины  $q_{от}$ , определенное по вышеприведенной методике, нормируемому значению  $q_{от}^{mpеб}$ . Если в результате расчета удельный расход тепловой энергии на отопление здания окажется меньше нормируемого значения, то

допускается уменьшение сопротивления теплопередаче  $R_o^{mp}$  отдельных элементов ограждающих конструкций здания (светопрозрачных согласно примечанию 4 к табл. прил. 2.8) по сравнению с нормируемым по табл. прил. 2.8, но не ниже  $R_o^{mp}$ , определяемого по гигиеническим требованиям.

СНиП в этом случае выдвигает более жесткие требования:  
для жилых и общественных зданий

$$R_{o\min}^{mp} = R_o^{mp} \cdot 0,63; \quad (2.56)$$

для промышленных зданий

$$R_{o\min}^{mp} = R_o^{mp} \cdot 0,8, \quad (2.57)$$

где  $R_o^{mp}$  определяется из соображений экономии энергии по табл. прил. 2.8.

В некоторых случаях, особенно в случае реконструкции памятников архитектуры и зданий с уникальным лепным декором фасадов, утепление изнутри может привести к разрушению этих стен, несмотря на пароизоляцию. В этих случаях сокращение теплопотерь может быть обеспечено утеплением чердачного перекрытия, заменой окон и утеплением цокольного перекрытия. Утепление стен в этих случаях согласно формуле (2.8) представляется излишним, так как, обычно, их сопротивление теплопередаче превышает гигиенические требования.

СНиП 23-02-2003 вводит критерий – показатель компактности здания:

$$k_e = \sum A / V_{om}. \quad (2.58)$$

Расчетный показатель компактности жилых зданий, как правило, не должен превышать следующих нормируемых значений:

0,25 – для 16-эт. зданий и выше.

0,29 – для 10-15-эт. зданий.

0,32 – для 6-9-эт. зданий.

0,36 – для 5-эт. зданий.

0,43 – для 4-эт. зданий.

0,54 – для 3-эт. зданий.

0,61; 0,54; 0,46 – для 2-, 3- и 4-эт. блокированных и секционных домов соответственно.

0,9 – для 2-эт. и 1-эт. домов с мансардой.

1,1 – для 1-эт. домов.

С целью контроля соответствия нормируемых СНиП 23-02-2003 показателей на разных стадиях создания и эксплуатации здания следует заполнять энергетический паспорт здания, форма которого приведена в СНиП.

Приведенная методика определения удельного расхода тепловой энергии на отопление зданий кажется громоздкой и сложной, однако это – принятый в Европе путь увеличения свободы принятия решений проектировщиками при проектировании ограждающих конструкций.

В состав раздела проекта «Теплозащита здания» должен входить энергетический паспорт, включающий следующие сведения:

- общая информация о проекте;
- расчетные условия;

- сведения о функциональном назначении и типе здания;
- объемно-планировочные и компоновочные показатели здания, которые должны включать: общестроительные данные о геометрии и ориентации здания, его объем, площади помещений, площади наружных ограждающих конструкций, показатель компактности здания  $k_c$ ;
- данные о теплозащите здания, включающие приведенный коэффициент теплопередачи и приведенную воздухопроницаемость здания и воздухообмен (о них будет говориться в следующей главе), сводные энергетические показатели: удельный расход тепловой энергии на отопление здания в холодный и переходные периоды года и удельную тепловую характеристику здания:

$$q_m = (K_{3д}^{\phi} \cdot \sum A) / V, \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}), \quad (2.59)$$

где  $V$  – объем здания по внешним размерам,  $\text{м}^3$ ;  $K_{3д}^{\phi}$  - фактический трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания;

- сведения о сопоставлении с нормируемыми показателями.

Кроме того, в процессе эксплуатации теплоэнергетический паспорт должен дополняться результатами измерения энергоэффективности и уровня тепловой защиты здания после годового периода его эксплуатации, а также рекомендациями по повышению энергетической эффективности здания.

### 3. ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТЬ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

С развитием строительства мансард появились случаи дефектов ограждающих конструкций, когда в помещениях мансард с наветренной стороны зимой резко понижаются температура воздуха и температура внутренних поверхностей ограждений. С подветренной стороны в помещениях мансард эти параметры сохраняются на расчетном уровне. При этом качество герметизации ограждающих конструкций (кровля, окна), а также теплозащита являются высокими.

Это объясняется прониканием холодного воздуха под скоростным напором в воздушной прослойке в утеплитель крыши мансарды и резким снижением его теплоизолирующей способности.

Чем более пористым является материал, на который воздействует холодный воздух, и чем более открытыми являются его поры, тем больше влияние воздухопроницания на его теплозащитные качества.

Воздухопроницаемость ограждающих конструкций зависит не только от структуры их материалов, но и от плотности и герметичности стыков сборных элементов (блоков, панелей, кирпичной кладки), а также окон, фонарей и наружных дверей в здании.

Воздухопроницание (фильтрация воздуха) через ограждающие конструкции происходит под влиянием разности давлений на противоположных поверхностях ограждения. Эта разность возникает под действием теплового напора объемной массы холодного воздуха, которая больше объемной массы теплого воздуха и зависит от высоты помещения или здания. Чем больше высота, тем больше тепловой напор. Кроме того, разность давлений может возникнуть под действием ветра.

В нижней части здания холодный воздух через щели, неплотности и поры в ограждениях проходит внутрь здания (приток - инфильтрация). В верхних этажах или в верхней части помещений воздух выходит из здания (вытяжка - эксфильтрация). Между этими зонами по высоте расположена нейтральная зона – условная горизонтальная плоскость, для которой внутреннее давление в данный момент равно внешнему. Поэтому на уровне этой плоскости фильтрация отсутствует.

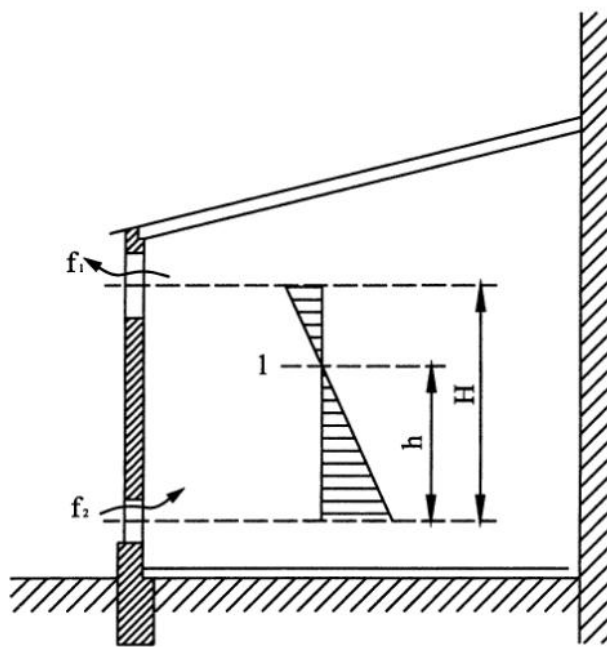
Тепловой напор ( $\Delta p_t$ ) можно определять из выражения

$$\Delta p_t = h_0 (\gamma_n - \gamma_v), \text{Па}, \quad (3.1)$$

где  $\gamma_n$  и  $\gamma_v$  - плотность холодного и теплого воздуха;  $h_0$  – вертикальное расстояние рассматриваемого участка от нейтральной поверхности.

Высота расположения нейтральной плоскости над приточными проемами (рис. 3.1) определяется по формуле

$$h_0 = H \frac{f_1^2}{f_1^2 + f_2^2}, \text{ м}. \quad (3.2)$$



**Рис. 3.1.** Схема эпюры давления воздуха при инфильтрации и эксфильтрации. Штриховой линией показана нейтральная зона

Зимой площадь вытяжных проемов ( $f_2$ ) обычно больше площади приточных ( $f_1$ ), так как их открывают гораздо реже в целях сохранения тепла. В связи с этим положение нейтральной плоскости смещается кверху и ограждающие конструкции нижней части помещения (или нижних этажей) в большей степени подвергаются инфильтрации. Учитывая это смещение, избыточное давление при расчете инфильтрации зимой по СНиП II-3-79\* определяется по формуле

$$\Delta p_t = 7H(\gamma_n - \gamma_в), \text{ Па.} \quad (3.3)$$

При расчете эксфильтрации:

$$\Delta p_t = -3H(\gamma_n - \gamma_в), \text{ Па.} \quad (3.4)$$

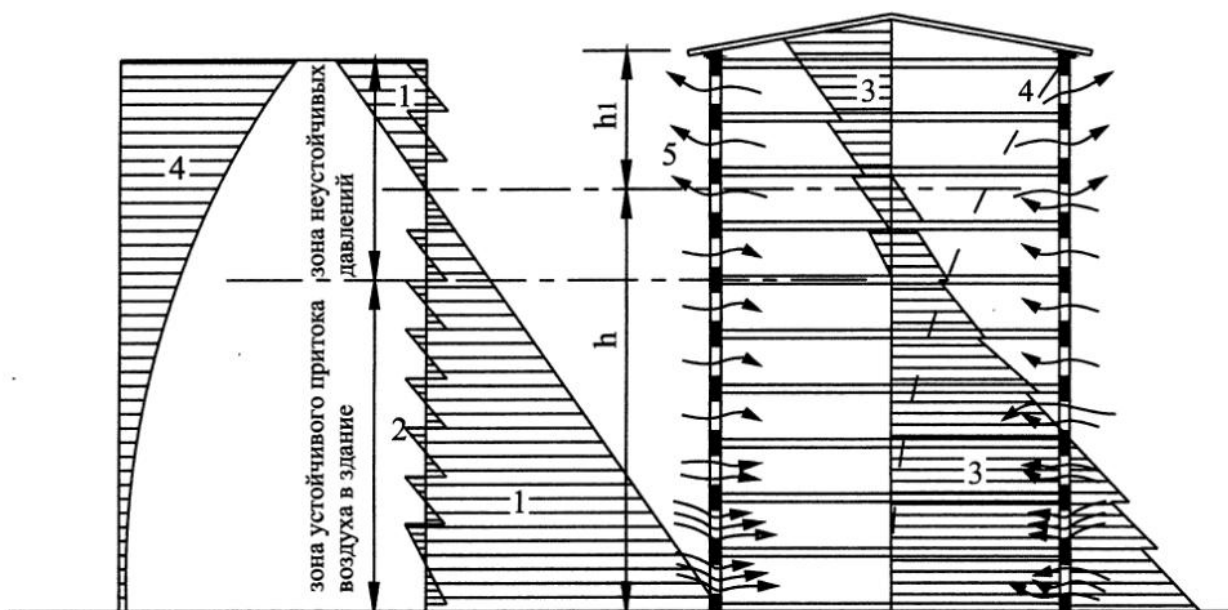
Все обозначения в формулах (3.1, 3.2, 3.3 и 3.4) приведены на рис. (3.1)

На рис.3.2. показана схема фильтрации воздуха через неплотности проемов в отапливаемом многоэтажном здании с естественным воздухообменом при отсутствии ветра.

При недостаточной герметизации окон на эпюру давлений для здания в целом накладывается распределение давлений в каждом отдельном этаже. Совмещенная эпюра приобретает пилообразную форму. При этом отдельные ее зубцы в этажах, близких к нейтральной поверхности, выходят за пределы первоначальной эпюры, увеличивая число этажей, входящих в зону неустойчивых давлений (близкую к нейтральной плоскости).

В этом случае давление от теплового напора с учетом поэтажного распределения давлений на любом этаже высотой  $h_0$  равно

$$p_t = \pm 7H(\gamma_n - \gamma_в) \pm 7h_0(\gamma_n - \gamma_в), \text{ Па.} \quad (3.5)$$



**Рис. 3.2.** Схема фильтрации воздуха через неплотности проемов в многоэтажном отапливаемом здании с естественным воздухообменом:

- 1 – эпюра давлений от теплового напора для здания в целом; 2 – эпюра давлений в каждом этаже; 3 – эпюра суммарных давлений при отсутствии ветра; 4 – эпюра давлений от ветра в условиях городской застройки; 5 – нейтральная поверхность при отсутствии ветра

Отсюда

$$p_t^{\max} = +7(H + h_0)(\gamma_n - \gamma_v), \text{Па}; \quad (3.6)$$

$$p_t^{\min} = -3(H + h_0)(\gamma_n - \gamma_v), \text{Па}; \quad (3.7)$$

У наружной поверхности стен высоких зданий величина разности давлений внизу и вверху  $p_t^{\max} - p_t^{\min}$  достигает значительной величины; под влиянием этой разности у стены возникает поток наружного воздуха, идущий снизу вверх. Если стена гладкая, то такие потоки особенно ощутимы. Они несколько изменяют эпюры давления на поверхности фасада. Под этим давлением любые неплотности в ограждающих конструкциях нижних этажей становятся путями инфильтрации.

На рис. 3.3 показано направление восходящих потоков воздуха у фасадов многоэтажных зданий с балконами. Балконы делают распределение давлений и направлений воздушных потоков более сложным.

Ветер может сильно изменить как величины давлений, возникающих под действием теплового напора, так и общую закономерность распределения давлений.

При достаточно сильном напоре ветра на вертикальную поверхность стены полное динамическое давление можно определить из выражения

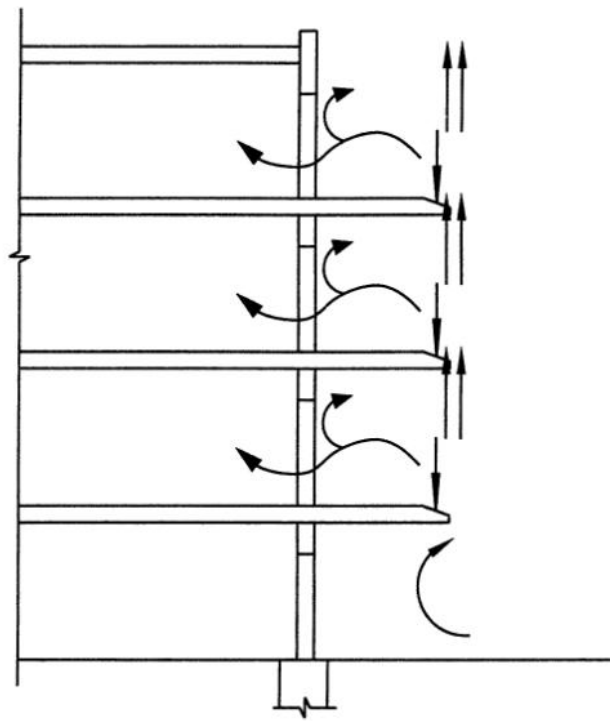


Рис. 3.3. Направление восходящих потоков воздуха у фасадов многоэтажных зданий с балконами

$$\Delta p = 10 \left[ K_1 \cdot \frac{v^2 \cdot \gamma_n}{2g} - \left( \pm \frac{K_1 + K_2}{2} \cdot \frac{\gamma_n \cdot v^2}{2g} \right) \right], \text{Па}, \quad (3.8)$$

где  $v$  – скорость ветра, м/с;  $\gamma_n$  – плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение силы тяжести, равное 9.81 м/с<sup>2</sup> (1Па = 0,1 мм. вод. столба = 1 кг/м<sup>2</sup> = 10<sup>-4</sup> кг/см<sup>2</sup>);  $K_1, K_2$  – величины аэродинамических коэффициентов на наветренной и подветренной стороне здания или со стороны приточных и вытяжных отверстий.

Аэродинамический коэффициент – безразмерная величина, меньшая единицы, представляющая ту часть полного динамического ветрового давления, которая переходит в статическое на рассматриваемой поверхности ограждающей конструкции.

В зданиях прямоугольной формы для вертикальных фасадов  $K_1 = 0,8$ ;  $K_2 = -0,4$ , это значит, что

$$\Delta p = 10 \frac{0,8 + 0,4}{2} \cdot \frac{v^2 \cdot \gamma_n}{2g} = 6 \frac{v^2 \cdot \gamma_n}{2g} \approx 0,031 v^2 \cdot \gamma_n, \text{Па}.$$

При скорости ветра  $v = 4$  м/с  $\Delta P \approx 0,489 \gamma_n$ , Па,

$v = 10$  м/с  $\Delta P \approx 3,1 \gamma_n$ , Па.

Значения плотности воздуха при различной температуре принимаются по справочнику или вычисляются по формуле



$$\gamma = \frac{3463}{273+t} \frac{\text{Па}}{\text{м}^3}. \quad (3.9)$$

В условиях плотной городской застройки значения ветрового давления на фасадах многоэтажных зданий уменьшаются у поверхности земли и существенно увеличиваются в верхних этажах. Расчетная величина суммарной разности давлений от температурного перепада и ветра может быть приближенно определена по формуле

$$\Delta p_{\text{рас.}} = 0,55H(\gamma_n - \gamma_в) + 0,031\gamma_n \cdot v^2, \text{Па}. \quad (3.10)$$

В СНиПе скорость определена как максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16% и более, принимаемая по СНиП 23-01-99, но не менее 5 м/с в средней полосе и южных районах и 8 м/с в климатических районах 1Б и 1Г. Для зданий высотой свыше 60 м значение  $v$  следует принимать с учетом изменения скорости ветра по высоте (по МГСН 4.19-05 «Тепловая защита многофункциональных высотных зданий и комплексов»), (табл. прил. 3.1). В этих московских нормах отражена тенденция увеличения этажности зданий в крупных городах. При этом к высотным относятся здания высотой свыше 75 м, т.е. более 25 этажей.

Разработаны требования к конструктивным решениям надземной части ограждающих конструкций и методика расчета их теплозащиты с учетом усиления температурных и ветровых воздействий по высоте. Нормы содержат приложения с примерами конструкций надземной части, вентилируемых фасадов, таблицы с климатическими параметрами наружного воздуха, требуемыми параметрами внутреннего воздуха, а также нормативные требования по теплозащите зданий.

*Пример 5.* Определить разность давлений для расчета наружных ограждений пятиэтажного здания. Температура наружного воздуха  $t_n = -20$  °С; внутреннего воздуха  $t_в = +20$  °С. Скорость ветра  $v = 5$  м/с. Высота здания (между центрами окон первого и пятого этажей)  $H = 15$  м.

$$\gamma_n = \frac{3463}{273 - 20} = 13,96 \text{ н/м}^3$$

$$\gamma_в = \frac{3463}{273 + 20} = 11,82 \text{ н/м}^3$$

$$\Delta p = 0,55 \cdot 15(13,96 - 11,82) + 0,031 \cdot 13,96 \cdot 25 = 28,47 \text{ Па}.$$

Для 9-этажного дома  $H = 27$  м.

$$\Delta p = 0,55 \cdot 27(13,96 - 11,82) + 0,031 \cdot 13,96 \cdot 25 = 42,60 \text{ Па}.$$

Для 16-этажного дома  $H = 48$  м.

$$\Delta p = 0,55 \cdot 48(13,96 - 11,82) + 0,031 \cdot 13,96 \cdot 25 = 67,31 \text{ Па}.$$

При разности давлений  $\Delta p = 50$  Па необходима тщательная герметизация ограждающих конструкций. Даже при безветрии в 16-этажном здании  $\Delta p = 56,5$  Па. Поэтому здесь требуется особая герметизация окон, дверей, лестничных клеток и т.п.

Воздухопроницаемость ограждающей конструкции зависит от наличия в материале крупных сообщающихся между собой пор, а также от наличия в них

влаги. В материалах, в порах которых имеется влага, удерживаемая давлением в капиллярах, при умеренном давлении  $\Delta p$  воздухопроницаемость меньше, чем в сухих материалах. Если материалы состоят из нескольких компонентов, как, например, бетон, то внутри них возникают микроскопические трещины между цементными камнями и заполнителем. Эти микротрещины повышают воздухопроницаемость. Но в наибольшей мере воздухопроницаемость зависит от плотности поверхностных слоев материала. Поэтому понятие о коэффициенте воздухопроницаемости материала в отличие от коэффициента теплопроводности имеет смысл только при установившемся потоке фильтрации в материалах с однородной структурой, не имеющих плотных поверхностных слоев.

Коэффициент воздухопроницаемости – величина, изменяющаяся в широких пределах для различных материалов. Она определена для различных материалов путем измерений. Для сплошных слоев сопротивление воздухопроницанию  $R_u$  прямо пропорционально толщине слоя  $\delta$  и обратно пропорционально фактическому коэффициенту воздухопроницаемости материала в слое  $i_c$

$$R_u = \frac{\delta}{i_c}, \text{ Па с/кг.} \quad (3.11)$$

В СНиП II-3-79\* приведена таблица сопротивления воздухопроницанию материалов и конструкций при их определенной толщине (табл. прил. 3.2). Там же приведены сопротивления воздухопроницанию заполнений световых проемов (окон, балконных дверей и фонарей), (табл. прил. 3.3).

Сопротивление воздухопроницанию выражается разностью давлений воздуха, при которой через  $1 \text{ м}^2$  конструктивного слоя проникает  $1 \text{ кг}$  воздуха за единицу времени.

Количество воздуха  $G$ , которое фильтруется через единицу площади ограждающей конструкции в единицу времени, определяется по формуле

$$G = \frac{\Delta P}{R_u} \text{ кг/м}^2 \text{ ч.} \quad (3.12)$$

При нормировании ограничивается величина  $G$  для различных конструкций. Нормируемая величина  $G_H$  в СНиП приведена в табл. прил. 3.4. Это необходимо, чтобы ограничить дополнительные потери тепла, вызванные воздухопроницанием при расчетной разнице давлений.

$$R_u^{TP} = \frac{\Delta P}{G_H}. \quad (3.13)$$

Сопротивление воздухопроницанию многослойной ограждающей конструкции  $R_u$ ,  $\text{м}^2 \text{ ч Па/кг}$  определяется как сумма  $R_{ui}$  слоев:

$$R_u = R_{u1} + R_{u2} + \dots + R_{un}. \quad (3.14)$$

Величина  $R_{ui}$  определяется по табл. прил. 3.2 прил. с учетом фактической их толщины.

Фактическое сопротивление воздухопроницанию  $R_u$  должно быть больше или равно  $R_u^{TP}$  :

$$R_u \geq R_u^{mp}$$

Сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей жилых и общественных зданий должно быть больше или равно требуемой величине, определяемой по формуле

$$R_u^{TP} = \frac{1}{G^H} \left( \frac{\Delta P}{\Delta P_0} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (3.15)$$

где  $\Delta P_0 = 10$  Па – разность давлений воздуха, при которой определяется сопротивление воздухопроницанию  $R_u$  в табл. 3.2 и 3.3 приложения.

Для предупреждения чрезмерного охлаждения ограждающей конструкции надо, чтобы ее внешняя часть (до 0,25 общей толщины) имела сопротивления воздухопроницанию не менее  $0,33 R_u^{TP}$ . Воздухопроницание изменяет распределение температур внутри конструкции и уменьшает ее сопротивление теплопередаче.

Если считать, что температура материала равна температуре воздуха в его порах (это соответствует равномерной скорости воздуха, фильтрующегося через материал с равномерной пористостью) и выделить внутри бесконечно тонкий слой  $dx$ , то изменение проходящего через слой количества тепла при воздухопроницании будет равно

$$\frac{dQ}{dx} = -G \cdot c \frac{dt}{dx}, \quad (3.16)$$

где  $G$  – количество воздуха, фильтрующегося через конструкцию в единицу времени, (3.12), кг/(м<sup>2</sup> ч);  $c$  – удельная теплоемкость воздуха (при постоянном давлении), равная 1 кДж/(кг °С).

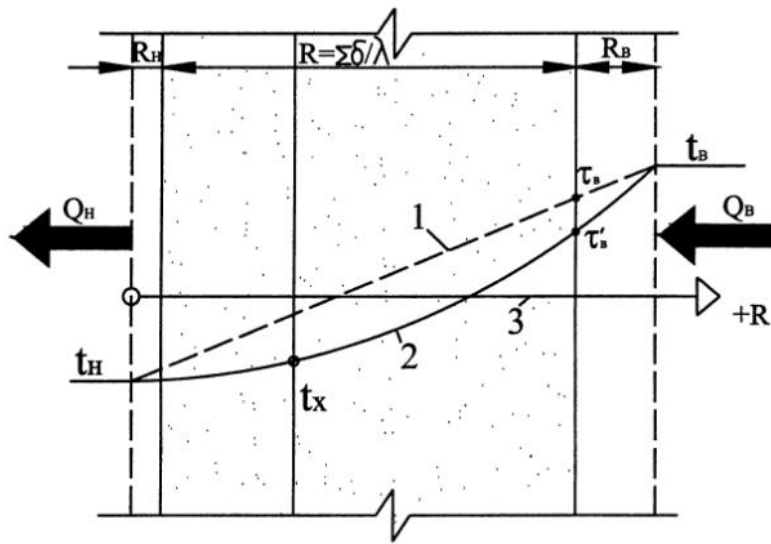
В то же время изменение количества тепла, передаваемого за счет теплопроводности через слой  $dx$ , может быть представлено уравнением Лапласа:

$$\frac{dQ}{dx} = -\lambda \frac{d^2 t}{dx^2}. \quad (3.17)$$

Приравнивая правые части уравнений, получим дифференциальное уравнение температурного поля в плоском ограждении при наличии воздухопроницания:

$$\lambda \frac{d^2 t}{dx^2} - G \cdot c \frac{dt}{dx} = 0. \quad (3.18)$$

Если заменить величину  $dx$  величиной  $dR$ , где  $R$  – термическое сопротивление слоя, то решение этого уравнения, полученное Ф.В. Ушковым, дает выражение, по которому можно вычислить температуру  $\tau_x$  в любом сечении ограждающей конструкции:



**Рис. 3.4.** Схема распределения температур и потоков тепла при одномерной установившейся фильтрации холодного воздуха через плоскую стенку из пористых материалов:

1 – распределение температур при отсутствии фильтрации; 2 – распределение температур при фильтрации; 3 – направление расчетных координат;  $Q_b$  – поток тепла, входящий в стену;  $Q_n$  – поток тепла, выходящий из стены

$$t_x = t_n + (t_b - t_n) \frac{e^{cGRx} - 1}{e^{cGRo} - 1}, \quad (3.19)$$

где  $t_b$  и  $t_n$  – температуры наружного и внутреннего воздуха, °С;  $e$  – основание натуральных логарифмов;  $Rx$  – термическое сопротивление ограждающей конструкции от воспринимающей поток холодного воздуха наружной поверхности до рассматриваемого сечения, м<sup>2</sup> °С/Вт;  $Ro$  – общее сопротивление теплопередаче конструкции, °С м<sup>2</sup>/Вт.

Это уравнение справедливо, если считать, что сопротивление фильтрационному потоку на границах конструктивных слоев отсутствует и что имеет место сквозная фильтрация воздуха через конструкцию.

На рис.3.4 показано изменение температурного поля в сечении однородной конструкции из-за инфильтрации наружного воздуха. Как видно из рис. 3.4, воздухопроницаемость может значительно понизить температуру внутренней поверхности ограждающего слоя. Причем величина общего сопротивления теплопередаче при воздухопроницаемости конструкции равна

$$Ro_{\text{и}} = \frac{1}{c \cdot G} \cdot \frac{e^{cGRo} - 1}{e^{cGRo}}. \quad (3.20)$$

Для сильно воздухопроницаемых конструкций, т.е. когда  $G$  велико, выражение второй дроби стремится к 1 и  $Ro_{\text{и}} \rightarrow Ru = \frac{1}{cG}$ , т.е. при единичной разности давлений теплофизические качества конструкций, имеющих большое количество неплотностей и пор, определяются только свойствами воздухопроницаемости.

*Пример 6.* Рассчитать величину температуры на внутренней поверхности стены пятиэтажного кирпичного дома при инфильтрации в г. Москве (условия эксплуатации Б).

Состав стены (слои указаны изнутри наружу):

1. Штукатурка из цементного песчаного раствора:

$$\delta = 0,015 \text{ м}; \quad \lambda = 0,87; \quad S = 10,42$$
$$\gamma_0 = 1700 \text{ кг/м}^3; \quad Ru = 142 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг.}$$

2. Кирпичная кладка на цементно-песчаном растворе толщиной в 1,5 кирпича:

$$\delta = 0,38 \text{ м}; \quad \lambda = 0,81; \quad S = 10,12 \quad \gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3; \quad Ru = 27 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг.}$$

3. Жесткие минераловатные плиты:

$$\delta = 50 \text{ мм}; \quad \lambda = 0,07; \quad S = 0,73 \quad \gamma_0 = 100 \text{ кг/м}^3; \quad Ru = 2 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг.}$$

4. Кирпичная кладка на цементно-песчаном растворе толщиной в 0,5 кирпича:

$$\delta = 0,12 \text{ м}; \quad \lambda = 0,87; \quad S = 10,12 \quad \gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3; \quad Ru = 2 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг.}$$

Климатические параметры для г. Москвы.

$$t_{\text{ср.от.}} = -2,2^\circ; \quad Z_{\text{от}} = 231 \text{ сут. } t_1 = -32^\circ; \quad t_5 = -25^\circ.$$

Определяем требуемую толщину утеплителя:

ГСОП =  $(20+2,2) \cdot 231 = 5128,2$  По табл. 2.7 по интерполяции находим для стен жилых зданий  $R_0^{TP} = 3,19 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C/Вт.}$

$$3,19 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,87} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{X}{0,07} + \frac{0,12}{0,81} + \frac{1}{23};$$

$$R_0 = R_e + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_n$$

$$3,19 = 0,11 + 0,02 + 0,47 + \frac{X}{0,07} + 0,15 + 0,04$$

$$2,4 = \frac{X}{0,07}; \quad X = 0,17 \text{ м}; \quad R_3 = 2,4.$$

Тепловая инерция стены равна:

$$D = \frac{0,015}{0,87} \cdot 10,42 + \frac{0,38}{0,81} \cdot 10,12 + \frac{0,17}{0,07} \cdot 0,73 + \frac{0,12}{0,81} \cdot 10,12$$

$$D = 0,21 + 4,77 + 1,77 + 1,52 = 8,27. \text{ Стена массивная.}$$

Расчетная зимняя температура  $t_n = t_5 = -25^\circ$ .

Требуемое сопротивление воздухопроницанию:

$$R_u^{TP} = \frac{\Delta p}{G^H}; \text{ по табл. 3.4 } G^H = 0,5 \text{ кг/(м}^2 \text{ ч)}$$

$$\Delta p = 0,55 \cdot H(\gamma_n - \gamma_v) + 0,03 \gamma_n v^2$$

$H = 3 \cdot 5 = 15 \text{ м}$  (при высоте этажа 3 м).

$$\gamma_n = \frac{3463}{273 - 25} = 13,96 \text{ Н/м}^3; \quad \gamma_v = \frac{3463}{273 + 20} = 11,82 \text{ Н/м}^3 \quad v = 4,9 \text{ м/с};$$

$$\Delta p = 0,55 \cdot 15(13,96 - 11,82) + 0,03 \cdot 13,96 \cdot 4,9^2 = 27,71 \text{ Па.}$$

$$R_u^{TP} = \frac{27,71}{0,5} = 55,42 \text{ Па}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ч}/\text{кг}.$$

$$R_u = R_{u,1} + R_{u,2} + R_{u,3} + R_{u,4} = 2 + (0,17/0,05)\cdot 2 + 18\cdot(0,38/0,25) + 142 = 177,8 \text{ Па}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ч}/\text{кг}$$

$$55,42 = R_u^{TP} < R_u = 177,8 \text{ Па}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ч}/\text{кг}.$$

Конструкция удовлетворяет требованиям по воздухопроницанию в СНиП.

Рассчитаем температурное поле по толщине стены с учетом воздухопроницания ее слоев. Температуры на границах слоев с учетом воздухопроницания определяются по формуле (3.19)

$$\tau_x = t_n + (t_{\text{в}} - t_n) \cdot \frac{e^{cGRx} - 1}{e^{cGRo} - 1},$$

где  $R_x$  – сопротивление теплопередаче слоев до сечения  $x$  от плоскости, подверженной воздействию холодного воздуха.

Количество воздуха, которое фильтруется через конструкцию в единицу времени:

$$G = \frac{\Delta p}{R_u} = \frac{27,71}{177,8} = 0,16 \text{ кг}/\text{м}^2 \text{ ч}.$$

Удельная теплоемкость воздуха в системе СИ:  $c = 1$

$$\tau_{\text{в}} = -25 + (20 + 25) \cdot \frac{e^{1\cdot 0,16\cdot 3,08} - 1}{e^{1\cdot 0,16\cdot 3,19} - 1} = -25 + 45 \cdot \frac{0,64}{0,17} = 18,25^\circ;$$

$$\tau_1 = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1\cdot 0,16\cdot 3,06} - 1}{0,67} = 17,42^\circ;$$

$$\tau_2 = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1\cdot 0,16\cdot 2,59} - 1}{0,67} = 9,49^\circ;$$

$$\tau_3 = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1\cdot 0,16\cdot 0,19} - 1}{0,67} = -22,93^\circ;$$

$$\tau_4 = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1\cdot 0,16\cdot 0,04} - 1}{0,67} = -24,71^\circ = \tau_n.$$

Рассчитаем температурное поле по толщине стены без учета воздухопроницания ее слоев.

$$\tau_x = t_{\text{в}} - \frac{t_{\text{в}} - t_n}{R_o} \cdot R_x.$$

Здесь  $R_x$  в отличие от формулы (2.5) – сумма сопротивлений теплопередаче слоев от теплового к расчетному.

$$\tau_{\text{в}} = 20 - \frac{20 + 25}{3,19} \cdot 0,11 = 18,45^\circ \rangle 18,25^\circ;$$

$$\tau_1 = 20 - \frac{20 + 25}{3,16} \cdot 0,13 = 18,17^\circ \rangle 17,42^\circ;$$

$$\tau_2 = 20 - 14,2 \cdot 0,6 = 11,45^\circ \rangle 9,49^\circ;$$

$$\tau_3 = 20 - 14,2 \cdot 3 = -22,60^\circ - 22,93^\circ;$$

$$\tau_4 = 20 - 14,2 \cdot 3,15 = -24,71^\circ = -24,71^\circ.$$

Понижение температуры слоев незначительное. Самое большое понижение – на внутренней границе утеплителя. Оно опасно тем, что плоскость конденсации водяного пара, о которой будет рассказано в следующем параграфе, отодвинется вглубь конструкции и увеличит опасность ее увлажнения.

Если бы не было внутренней штукатурки, то фильтрация воздуха была бы значительно больше:

$$Ro = 3,17; G = \frac{\Delta p}{Ru} = \frac{27,71}{177,8 - 142} = 0,77 \text{ кг/м}^2 \text{ ч};$$

$$\tau_6 = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1 \cdot 0,77 \cdot 3,06} - 1}{e^{1 \cdot 0,77 \cdot 3,17} - 1} = -25 + 45 \cdot \frac{9,55}{10,48} = 16,01^\circ;$$

$$\tau_2 = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1 \cdot 0,77 \cdot 2,59} - 1}{10,48} = 2,25 < 11,45^\circ;$$

$$\tau_3 = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1 \cdot 0,77 \cdot 0,19} - 1}{10,48} = -24,32^\circ;$$

$$\tau_4 = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1 \cdot 0,77 \cdot 0,04} - 1}{10,48} = -24,87^\circ = \tau_H.$$

При наличии штукатурки с наружной стороны стены количество фильтрующегося через стену воздуха было бы таким же, как в случае штукатурки с внутренней стороны стены.

$$G = 0,16 \text{ кг/м}^2 \text{ ч};$$

$$\tau_6 = -25 + 45 \cdot \frac{0,64}{0,67} = 18,25^\circ;$$

$$\tau_2 = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1 \cdot 0,16 \cdot 2,61} - 1}{0,67} = 9,81^\circ;$$

$$\tau_3 = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1 \cdot 0,16 \cdot 0,21} - 1}{0,67} = -22,70^\circ;$$

$$\tau_4 = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1 \cdot 0,16 \cdot 0,06} - 1}{0,67} = -24,35^\circ;$$

$$\tau_H = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1 \cdot 0,16 \cdot 0,04} - 1}{0,67} = -24,57^\circ.$$

Как показывает расчет, температурное поле внутри конструкции практически не зависит от положения слоя с большим сопротивлением воздухопроницанию.

На самом деле, как показывает опыт строительства крыш-мансард, это не так. Можно высказать предположение, что температура на границе слоя зависит не только от количества проходящего через нее фильтрующегося воздуха, но и от коэффициента теплоусвоения этого слоя, а главное - она зависит от направления потока фильтрующегося воздуха и беспрепятственного его движения сквозь поры утеплителя.

*Пример 7.* Рассчитать температурное поле по толщине крыши-мансарды при  $t_n = -25^\circ$ ,  $t_6 = +20^\circ$ . Скорость ветра в воздушной прослойке  $v = 10$  м/с. Состав крыши-мансарды см. рис. 2.13.

Толщину утеплителя принимаем из примера 3. Величины коэффициентов теплопередачи слоев:

$$\alpha_n = 1,16(5 + 10\sqrt{10}) = 42,48 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{С}); R_n = 0,02$$

$$R_{ут} = \frac{0,15}{0,052} = 2,88; R_{подшивки} = \frac{0,02}{0,14} = 0,14; R_{гипсокартона} = \frac{0,04}{0,19} = 0,21$$

$$\alpha_v = 8,7; R_v = 0,11; R_o = 0,02 + 2,88 + 0,14 + 0,21 + 0,11 = 3,36.$$

В расчетах считаем, что воздухопроницаемый слой пароизоляции отсутствует. Величины сопротивлений воздухопроницанию (по табл. 3.2):

$$R_{и.утепл} = 2 \cdot \frac{150}{50} = 6 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{кг}; R_{и.досок} = 0,1; R_{и.г/к} = 20 \cdot 4 = 80$$

$$R_{и} = 6 + 0,1 + 80 = 86,1$$

Принимаем скорость движения воздуха в воздушной прослойке равной скорости ветра. Скорость поперек кровли при угле наклона кровли  $60^\circ$  составит

$$v = 10 \frac{\text{м}}{\text{сек}} \cdot \cos 60^\circ = 5 \frac{\text{м}}{\text{сек}}.$$

$$\Delta p = 0,03 \gamma_n \cdot v^2 = 0,03 \cdot 13,96 \cdot 5^2 = 10,47$$

$$G = \frac{\Delta p}{R_{и}} = \frac{10,47}{86,1} = 0,12 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}.$$

Без учета воздухопроницания:

$$\tau_v = 20 - \frac{20 + 25}{3,36} \cdot 0,11 = 18,53^\circ$$

$$\tau_{гран.досок} = 20 - 13,39 \cdot 0,32 = 15,71^\circ$$

$$\tau_{гран.утепл} = 20 - 13,39 \cdot 0,46 = 13,84^\circ$$

$$\tau_{внеш.гр.утепл} = 20 - 13,39 \cdot 3,34 = -24,72^\circ = \tau_n$$

С учетом воздухопроницания:

$$\tau_v = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1 \cdot 0,12 \cdot (3,36 - 0,11)} - 1}{e^{1 \cdot 0,12 \cdot 3,36} - 1} = 18,63^\circ$$

$$\tau_{гран.досок} = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1 \cdot 0,12 \cdot (3,36 - 0,11 - 0,21)} - 1}{e^{1 \cdot 0,12 \cdot 3,36} - 1} = 14,40^\circ$$

$$\tau_{гран.утепл} = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1 \cdot 0,12 \cdot (3,36 - 0,11 - 0,21 - 0,14)} - 1}{0,497} = 12,39^\circ$$

$$\tau_{внеш.гр.утепл} = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1 \cdot 0,12 \cdot (3,36 - 0,11 - 0,21 - 0,14 - 2,88)} - 1}{0,497} = -23,18^\circ$$

Если снять наиболее воздухопроницаемые слои гипсокартона;

$R_n = 0,02; R_{ут} = 2,88; R_{подш} = 0,14; R_v = 0,11; R_o = 3,15;$

$R_{и.ут} = 6; R_{и.подш} = 0,1; R_{и} = 6,1; \Delta p = 10,47.$

$$G = \frac{10,47}{6,1} = 1,72 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$$



$$\tau_{в} = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1,72 \cdot 3,04} - 1}{e^{1,72 \cdot 3,15} - 1} = -25 + 45 \cdot \frac{185,57}{224,43} = 12,41^{\circ}$$

$$\tau_{\text{гран.досок и утепл.}} = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1,72 \cdot 2,90} - 1}{224,43} = 4,20^{\circ}$$

$$\tau_{\text{наруж.гран. утепл.}} = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1,72 \cdot 0,02} - 1}{224,43} = -24,98^{\circ}$$

То есть усиление потока холодного воздуха через конструкцию приведет к сильному охлаждению стены мансарды, несмотря на то что сопротивление теплопередаче практически не изменилось и без учета воздухопроницаемости крыша-мансарда почти удовлетворяет требованиям СНиП.

Если положить поверх утеплителя обычные бумажные обои, то их сопротивление воздухопроницанию  $R_{н.обоев} = 20$ .

$$R_u = 20 + 6 + 0,1 = 26,1; G = 10,47/26,1 = 0,40 \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ ч});$$

$$\tau_{в} = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1,0,4 \cdot 3,04} - 1}{e^{1,0,4 \cdot 3,15} - 1} = 17,39^{\circ}$$

$$\tau_{\text{гран.досок и утепл.}} = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1,0,4 \cdot 2,90} - 1}{2,52} = 14,10^{\circ}$$

$$\tau_{\text{гран.обоев.и.утеплителя}} = -25 + 45 \cdot \frac{e^{1,0,4 \cdot 0,02} - 1}{2,52} \cong -24,64^{\circ}$$

Таким образом, уменьшение воздухопроницаемости значительно увеличивает теплозащиту конструкции.

Приведенные расчеты позволяют говорить о том, что если в конструкции имеется воздухопроницаемый слой, то фильтрация воздуха через нее прекращается и температурное поле в ней соответствует температурному полю без учета воздухопроницаемости. Практика показывает, что это не совсем так. В крышах-мансардах и современных вентилируемых фасадах при большом ветровом напоре в вентилируемых воздушных прослойках движение холодного воздуха в пористом утеплителе идет не только в направлении теплового потока навстречу ему, но и перпендикулярно направлению теплового потока. При этом не обязательно иметь фильтрацию воздуха через всю конструкцию. Для значительного ослабления теплозащитных качеств достаточно, чтобы холодный воздух фильтровался через утеплитель. На практике для защиты утеплителя в вентилируемых крышах-мансардах от продувания применяют специальные пленочные материалы (ТАЙВЕК и др.). Их укладывают поверх утеплителя рулонами сверху вниз с нахлестом снаружи или с проклейкой стыков. Это значительно улучшает теплозащитные качества мансард при воздействии ветра. В расчете надо также учитывать теплоусвоение и теплопередачу границы, разделяющей утеплитель и внутренние более плотные слои ограждающей конструкции, через которые фильтрация резко снижается. Эти вопросы нуждаются в проведении дополнительных исследований.

## 4. ЗАЩИТА ОТ ВЛАЖНОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ПОМЕЩЕНИЙ

Виды влаги, влияющие на влажностный режим ограждающих конструкций и помещений, представлены на органограмме (рис. 4.1).

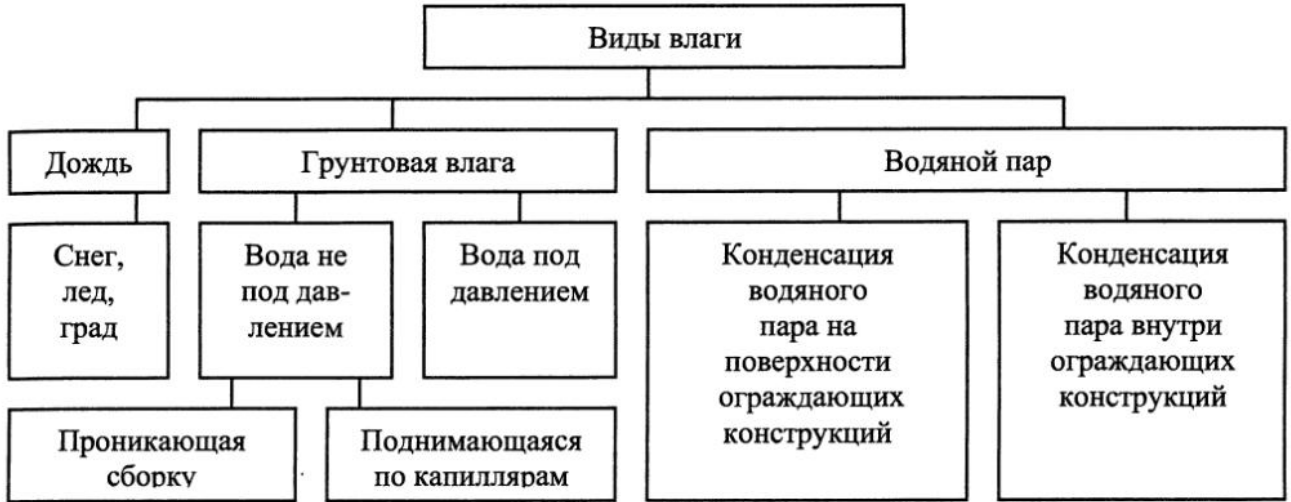


Рис. 4.1.

### 4.1. Агрегатные состояния влаги

Физически и химически влага – это вода в одном из трех агрегатных состояний: твердом, жидком и газообразном. Причем при изменении агрегатного состояния нельзя перескочить через какое-либо из них, так как они расположены именно в этой последовательности.

Круговорот изменения агрегатных состояний, представленный на схеме рис. 4.2, всегда происходит по часовой стрелке:

- если твердое тело нагревать, то оно начинает плавиться, т.е. становится жидким. Каждое тело плавится при определенной температуре;
- растворы имеют более низкую температуру замерзания и более высокую температуру кипения, чем вода. (Посыпка солью мостовых зимой);
- если газ охлаждать, то он превращается в жидкость – сжижается или конденсируется;
- при конденсации и затвердевании тело отдает тепло, воспринятое при плавлении или испарении;
- испарение может происходить и при температуре ниже температуры кипения (например  $100^{\circ}$ ) – образование тумана;
- испарение проходит тем быстрее:
  - чем больше площадь испарения
  - чем сильнее движение воздуха у поверхности испарения
  - чем выше температура испаряющейся жидкости.
- в окружении испаряющейся воды воздух охлаждается, так как у него отнимается тепло, необходимое для испарения. В этом проявляется закон сохранения энергии.

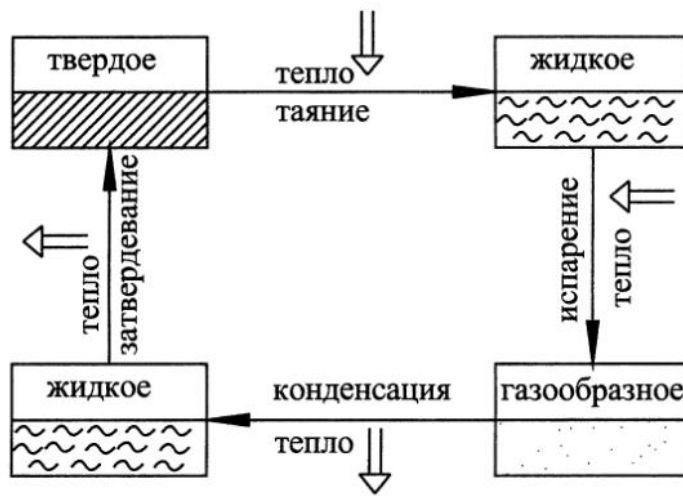


Рис. 4.2. Круговорот изменений агрегатных состояний воды

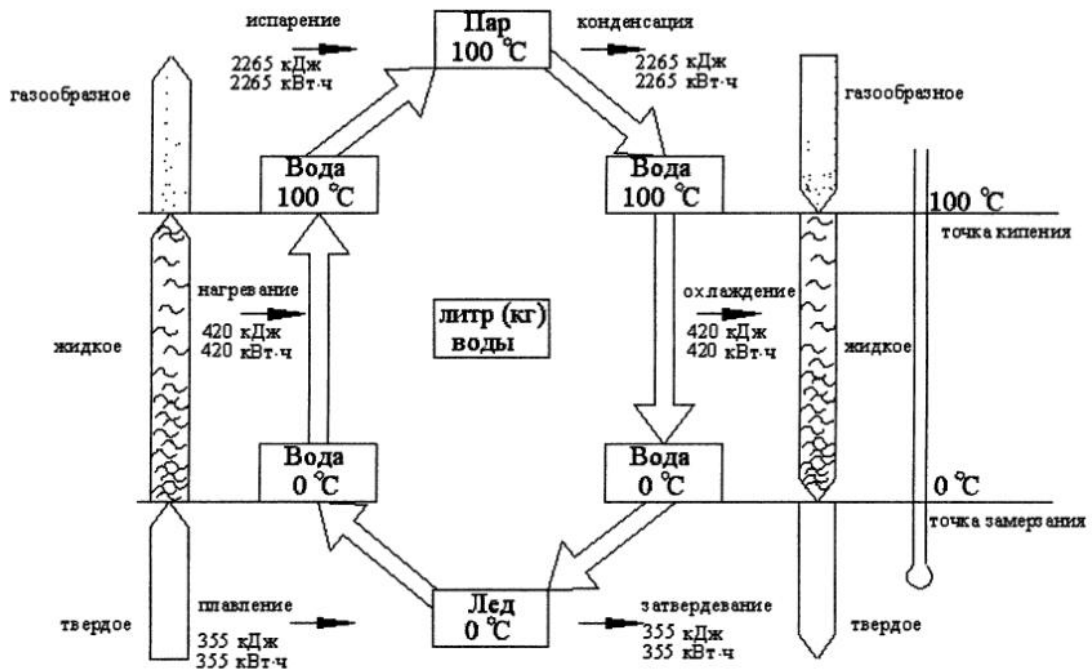


Рис. 4.3. Диаграмма энергетического баланса при изменении агрегатных состояний воды

На рис. 4.3 приведена диаграмма энергетического баланса при изменении агрегатного состояния воды.

## 4.2 Вода и ее значение в строительстве



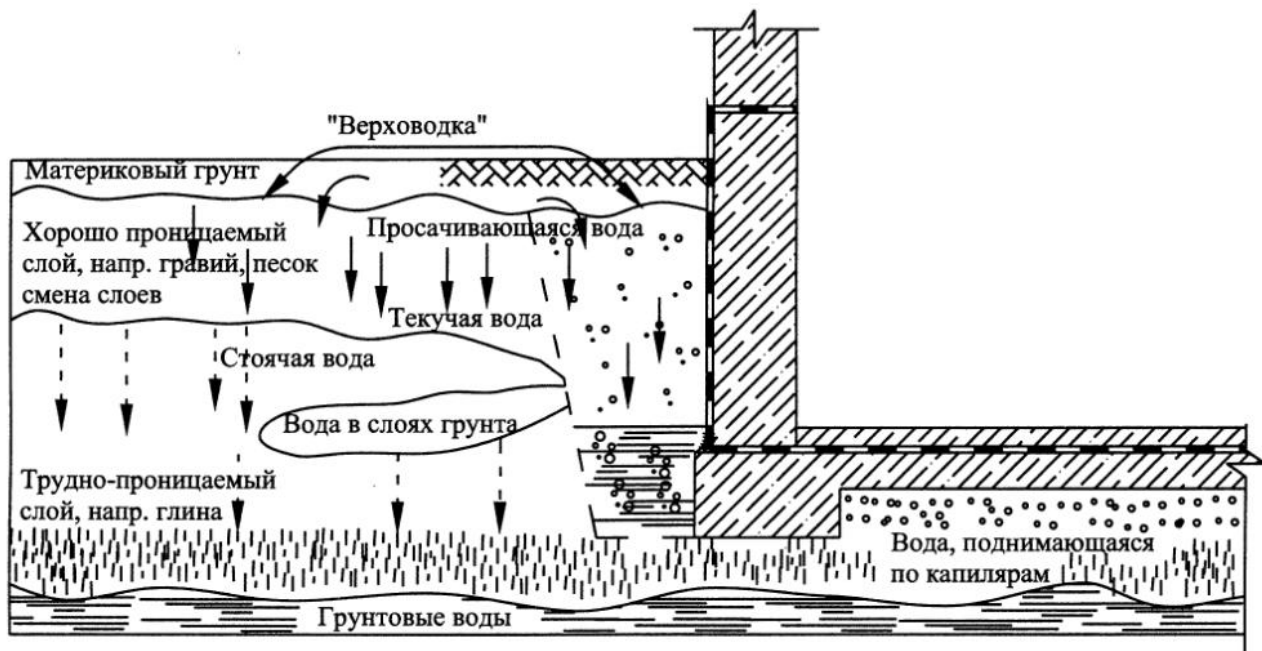


Рис. 4.4. Виды воды в грунте

Наглядно эти виды воды в грунте представлены на рис. 4.4. От этих видов воды необходимо защитить подземную часть здания.

- Вода является необходимой для поддержания жизни.
- Вода проводит электрический ток.
- Вода проводит звук и тепло.
- Вода растворяет большинство материалов.
- Может содержать растворенные в ней твердые вещества, а также газы, кислоты, щелочи.
- Имеет при температуре  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$  наибольшую плотность около  $1\text{ кг/дм}^3$ .
- Является предпосылкой для эрозии почвы и осадочных отложений.

При водоотведении надо учитывать:

- дождевую воду;
- загрязненную воду, которая может загрязняться механически (песок, земля), бактериологически или биологически (фекалии, остатки мертвых животных) и химически (моющие средства, кислоты, щелочи, металлы).

Вода – это не предмет потребления, а предмет использования, т.е. это возобновляемый продукт, который может использоваться снова и снова. Загрязнение окружающей среды требует постоянной очистки используемой воды. Для этого строятся очистные сооружения, водозаборные и водоприготовительные станции. Если раньше достаточно было природного кругооборота воды, то в настоящее время в него включаются водоприготовительные станции и очистные сооружения.

Вода в строительстве рассматривается:

1. Как средство для затвердения растворов и бетонов.
2. Как средство очистки и растворения материалов.

3. Как фактор самочувствия человека. Влажные помещения вызывают аллергии и различные болезни (ревматизм, туберкулез, артриты).
4. Как фактор, вызывающий повреждение строительных конструкций (капиллярность, выпадение конденсата, коррозия металлических конструкций и арматуры в бетоне, высолы, действие замораживания и оттаивания, грибки и плесень в древесине и на каменной кладке, агрессивные воды, содержащие кислоты и щелочи, уменьшение теплоизолирующей способности материалов из-за воды в порах).

### 4.3. Капиллярность

Капиллярность материала, т.е. способность его всасывать влагу, в том числе поднимать влагу по капиллярам, зависит от их пористости, когезии и адгезии.

#### *Пористость*

Только пористые материалы могут насыщаться влагой. Преимущества пористых материалов в их легкости, хорошей теплозащитной способности, высоких звукоизоляционных качествах. Эти материалы хорошо «дышат», т.е. через них происходит воздухообмен и влагообмен.

Недостатками пористости являются малая прочность на сжатие и растяжение, малая морозостойкость, капиллярное всасывание. Они – водопроницаемы и подвержены опасности разложения.

#### *Когезия*

Когезия (от лат. *cohere* – удерживаться вместе) является предпосылкой для свойства капиллярности: у твердых тел молекулы сильно связаны между собой, тогда как у жидкостей молекулы связаны между собой слабо и поэтому они очень подвижны.

Однако вода обладает свойством когезии на ее поверхности за счет сил поверхностного натяжения. Они так велики, что булавка или бритва на поверхности воды не тонет. Газы не имеют свойства когезии и быстро улетучиваются в воздухе. В грунтах свойством когезии объясняется угол естественного откоса.

#### *Адгезия*

Не только молекулы одного материала притягиваются друг к другу, но и два различных материала могут притягиваться и удерживаться вместе. Это свойство называется адгезией или силой сцепления. Адгезия имеет место между двумя твердыми телами, между твердым телом и жидкостью, между твердым телом и газообразным веществом (например, сигаретный дым в одежде).

Если рассматривать стеклянную трубочку, заполненную водой как пору в материале, то внутри этой поры будет иметь место равновесие сил: силы адгезии направлены вверх, т.к. стекло сверху сухое. Сила тяжести воды направлена вниз. Сила тяжести также зависит от когезии материала (в данном случае – воды).

Величина сил адгезии зависит от свойств материала и от диаметра трубочки (поры). Чем больше поры, тем меньше силы адгезии. В мелких порах силы адгезии становятся больше сил когезии и силы тяжести. Поэтому вода поднимается по капиллярам вверх. Подъем капиллярной влаги по стенке фундамента может происходить на высоту первого этажа и выше. Он зависит от уровня грунтовых вод и, как показали исследования, от атмосферного давления. Для предотвращения подъема капиллярной влаги устраивается горизонтальная гидроизоляция, а под подошвой фундамента и под плитой пола подвала укладывается разбивающий капиллярность слой крупного гравия.

Таким образом, вода может перемещаться:

- вниз: под действием силы тяжести;
- вверх: под действием капиллярности;
- вбок: в соответствии с силой тяжести, разностью плотностей и перепадом

высот.

Максимальный подъем воды может быть рассчитан по формуле

$$h_{\max} = \frac{0,15}{R_{\text{пор}}}, \quad (4.1)$$

где  $R_{\text{пор}}$  – радиус пор в см;  $h_{\max}$  – максимальный подъем воды по капиллярам, см.

Радиусы пор:

- 1) в бетоне –  $R_{\text{пор}} = 0,02 \mu\text{м} \div 10 \mu\text{м}$  в зависимости от водоцементного отношения и степени гидратации.
- 2) в кирпиче –  $R_{\text{пор}} = 0,01 \mu\text{м} \div 100 \mu\text{м}$  в зависимости от температуры обжига.

Пример 8: Кирпич:  $R_{\text{пор}} = 10 \mu\text{м} = 0,000010 \text{ м} = 0,0010 \text{ см}$ .

$$h_{\max} = 0,15/0,001 = 150 \text{ см}.$$

Бетон:  $R_{\text{пор}} = 1 \mu\text{м} = 0,000001 \text{ м} = 0,0001 \text{ см}$ .

$$h_{\max} = 0,15/0,0001 = 1500 \text{ см} = 15 \text{ м}.$$

Исследования, проведенные во второй половине прошлого столетия в различных странах мира, показали, что поднятие влаги в капиллярно-пористой системе имеет не просто физическую, но также электрофизическую природу: капиллярный эффект дополняется электроосмотической составляющей. Поднятие влаги, возникающее в капиллярно-пористой системе с небольшим радиусом пор, увеличивается за счет потенциала протекания.

Сущность этого процесса заключается в следующем.

В узких капиллярах радиусом менее  $10^{-5}$  м в центре капилляра практически нет свободной жидкости, пристенный же слой жидкости в капилляре связан с его поверхностью следующим образом: на границе раздела двух фаз (твердое тело – жидкость) положительные ионы раствора собираются вблизи отрицательно заряженной стенки капилляра. В целом раствор остается электрически нейтральным. Если же под действием капиллярных сил раствор в капилляре поднимается на некоторую высоту, то сдвигается пристенный слой положи-

тельно заряженных ионов раствора, что приводит к созданию разности потенциалов (потенциал протекания), за счет чего происходит дополнительное поднятие влаги.

С другой стороны, если к капилляру приложить извне постоянное напряжение, то положительные зоны будут двигаться к отрицательному полюсу источника тока, при этом в движение втягиваются молекулы воды в силу их дипольных свойств. Такое перемещение жидкости в капилляре называется электроосмотическим потоком. Из сказанного можно сделать очень важный вывод о том, что если поднятие влаги, а вместе с ней и растворенных солей, имеет электрофизическую природу, то и бороться с увлажнением можно, используя силу электрического тока. Это особенно важно при санировании памятников архитектуры.

В Московском инженерно-строительном институте (МИСИ, теперь МГСУ) при изучении этой проблемы В.А. Объедковым и И.В. Аксеновой были обнаружены совершенно неожиданные возможные причины локального увлажнения стен:

1. Так, различие водородного показателя в старой кладке ( $pH = 7$ ) и в новой цементной вставке ( $pH = 13$ ) создает разность потенциалов между участками порядка 350 мВ. При этом было отмечено поднятие влаги на высоту, в 3 раза превышающую капиллярное поднятие в обычных условиях.
2. Любой оставленный в стене металлический элемент (например, крепление распорок или оттяжек), способный к электрохимической коррозии с изменением значения водородного показателя среды, может явиться причиной локального увлажнения. Поэтому все вводимые в кладку на продолжительное время металлические элементы должны быть предварительно покрыты изоляторами.
3. Изменение водородного показателя среды может произойти и в результате обработки отдельного участка поверхности стен не нейтральными растворами (например, флюатами), а также в результате появления грибов, выделяющих кислоту.
4. Был зафиксирован случай локального увлажнения стены нового коттеджа до высоты второго этажа.

#### 4.4. Гидроизоляция

Присутствие воды в порах строительных материалов приводит к их разрушению, поэтому их стараются защитить от влаги всеми возможными способами. От воздействия грунтовых вод и атмосферных осадков можно защититься только путем устройства гидроизоляционных слоев в конструкциях.

Гидроизоляция от влаги в грунте подразделяется на два вида:

- гидроизоляция от воды, не оказывающей давление на конструкцию (это вода, просачивающаяся с поверхности в грунт, находящаяся в порах грунта и воздействующая на конструкцию как влага в грунте);

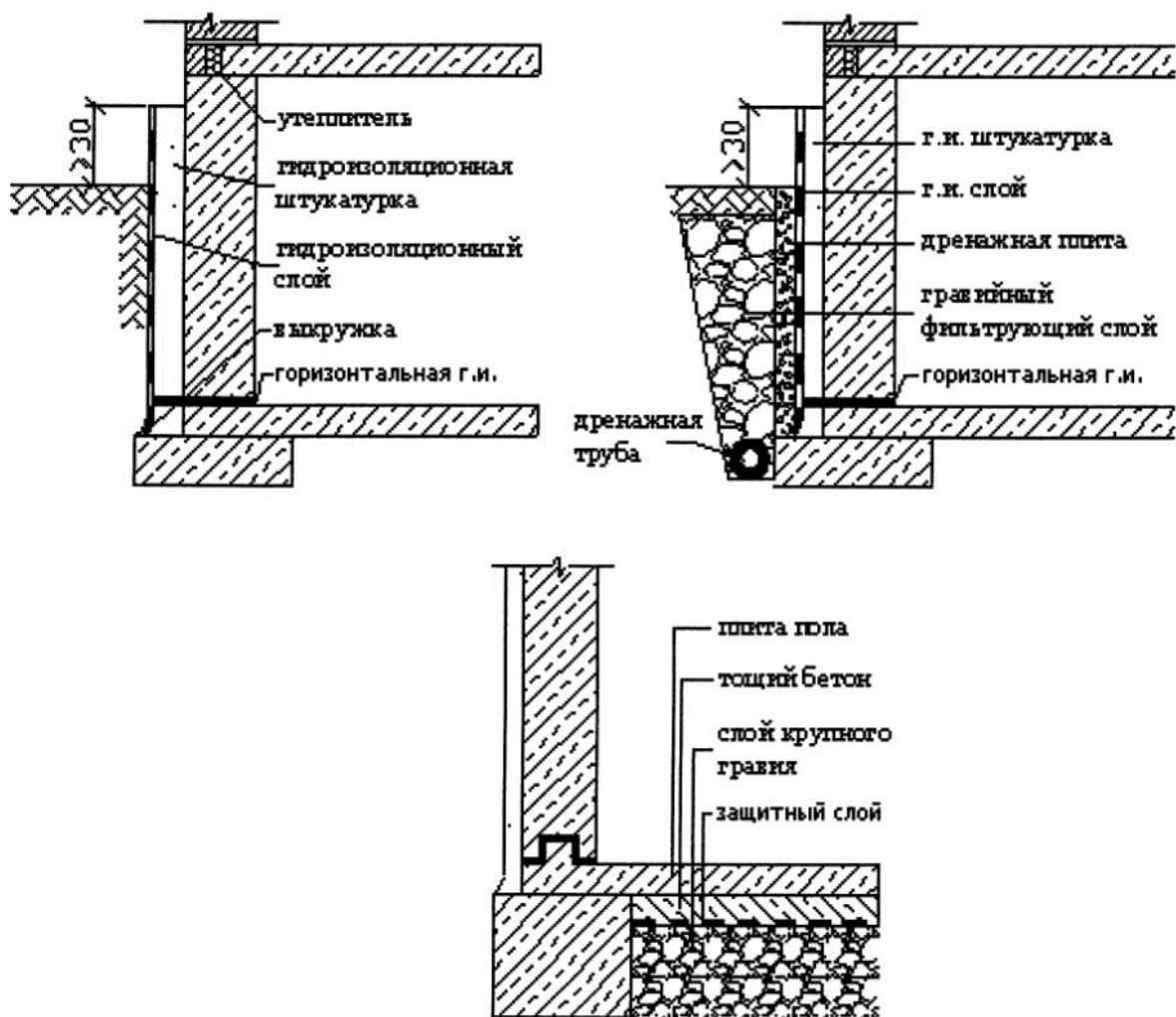


Рис. 4.5. Мероприятия по защите от воды, не оказывающей давление на конструкцию

- гидроизоляция от воды под давлением (это вода, которая, как водяной столб, давит на конструкцию сбоку или снизу).

Мероприятия по защите от воды, не оказывающей давления на конструкцию, показана на рис. 4.5.

Назначение отдельных слоев:

**Крупный гравий:** между крупными камнями гравия имеются большие пустоты. В них вода не может, как по капиллярам, подниматься вверх.

**Защитный слой** из любого материала, препятствующий проникновению раствора при бетонировании в слой крупного гравия. Он же должен обеспечивать свободную от земли поверхность для укладки арматуры.

**Бетонная плита по грунту:** она воспринимает нагрузку от здания и образует плотный слой против проникновения воды снизу.

**Гидроизоляционная штукатурка** – многослойная штукатурка жирным цементным раствором (с меньшим содержанием песка и большим – цемента, чем в обычных штукатурных растворах). Поверх нее наносится обмазка битумной мастикой.



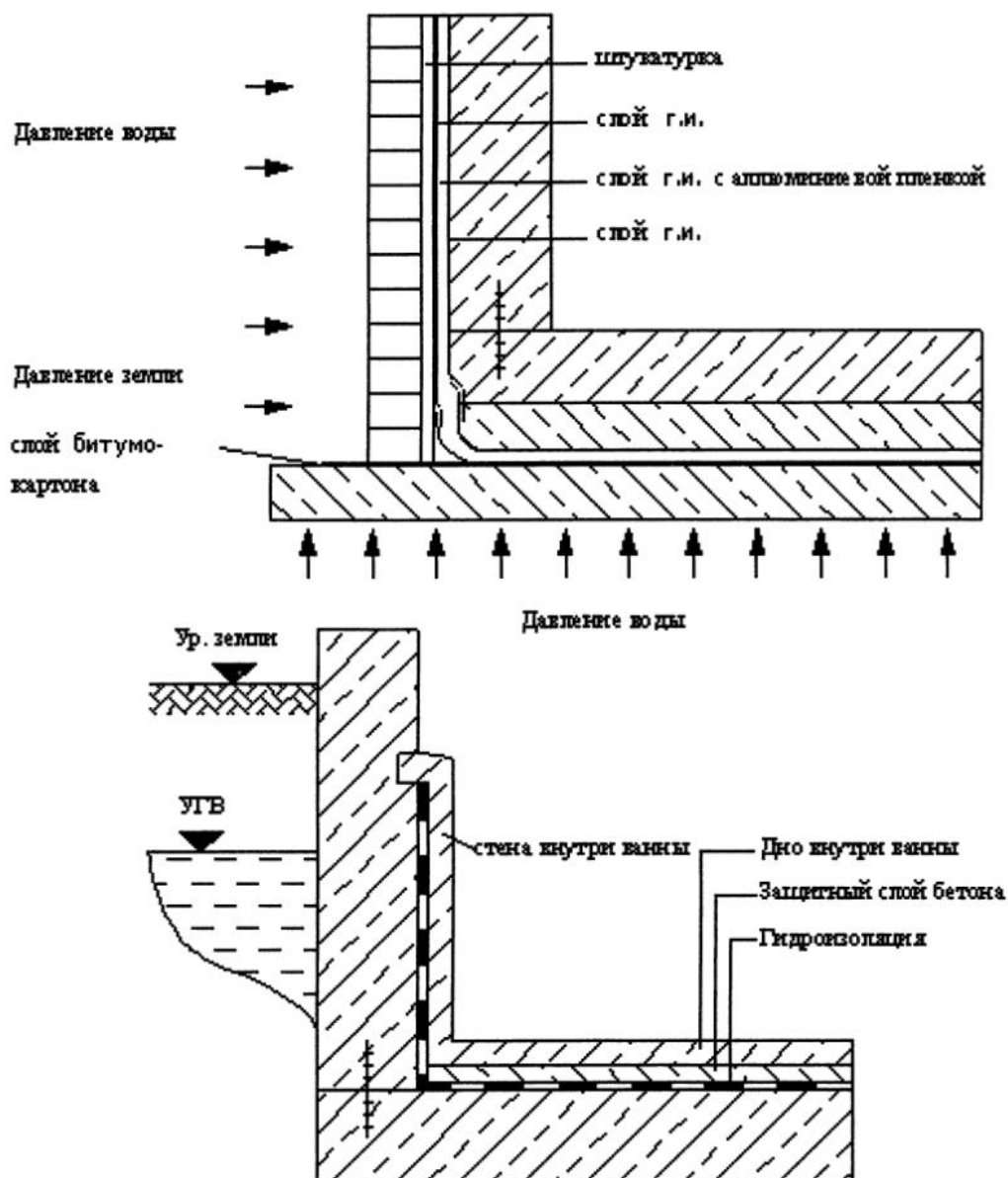


Рис. 4.6. Мероприятия по защите от воды под давлением

**Дренажная прослойка:** она должна немедленно отводить воду вниз, если дождевая вода или верховодка проникнет через отмостку к стене подвала.

Мероприятия по защите подвалов от воды под давлением (напорные грунтовые воды) показаны на рис. 4.6. Гидроизоляционная ванна изнутри имеет существенные недостатки:

- давление воды отрывает гидроизоляцию от конструкции;
- конструкция стенки подвала остается влажной, что приводит к более быстрому ее разрушению, особенно у поверхности грунта.

Ниже уровня грунтовых вод необходимо применение современных гидроизоляционных шпалмов, молекулы которых проникают в материал стены подвала. Обмазка отталкивает воду и оставляет внутреннюю поверхность стены подвала сухой. Сама же стена подвала на всю толщину остается влажной. Современные материалы, например

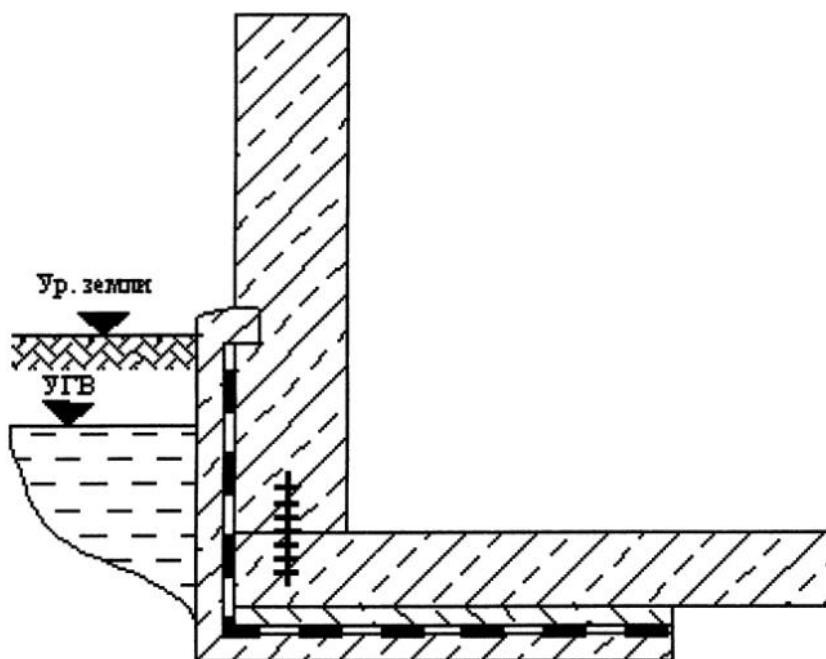
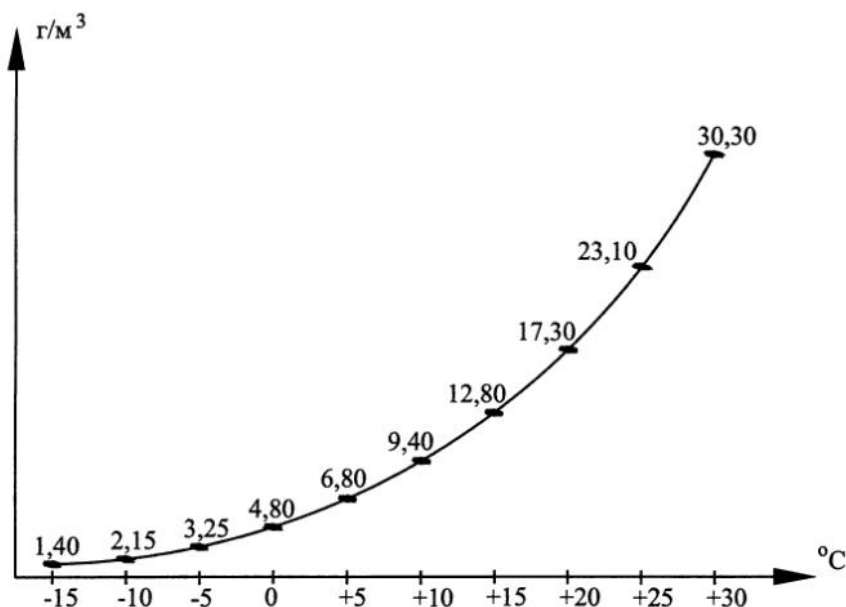


Рис. 4.7. Мероприятия по защите от воды под давлением в виде наружной железобетонной ванны



Рис. 4.8. Разные способы уплотнения стыков

«Акватрон», позволяют производить гидроизоляцию изнутри без возведения железобетонной внутренней ванны. Гидроизоляция изнутри применяется исключительно в уже существующих сооружениях при невозможности открытия котлована до глубины подошвы фундамента по всему примеру.



**Рис. 4.9.** График максимального содержания влаги в воздухе в зависимости от температуры

Наружная гидроизоляция не имеет отмеченных выше недостатков. Гидроизоляционные слои, в том числе и снизу, прижимаются к несущей конструкции. Защитные слои (кирпичная стенка на *рис. 4.6.* или железобетонная ванна на *рис. 4.7.*) защищают гидроизоляцию от повреждений при обратной засышке котлована. Железобетонная плита пола подвала, заведенная под стенку подвала, препятствует всплытию пола подвала по закону Архимеда.

Современная гидроизоляция швов показана на *рис. 4.8.* Для температурно-осадочных швов применяются длительно-эластичные ленты с компенсаторами. Такая же гидроизоляция применяется для уплотнения рабочих швов (при стыковке различных материалов, при перерывах в бетонировании, при переходе от бетонирования горизонтальной плиты к бетонированию вертикальных стенок).

В случае наличия напора грунтовых вод необходимо дополнительное уплотнение таких швов. Разные способы такого уплотнения показаны на *рис. 4.8.* Наилучшим является первый способ – снаружи. Однако при таком способе уплотнения необходимо защитить эластичную ленту шва от повреждений при обратной засышке котлована.

#### **4.5. Влажность воздуха и ее влияние на самочувствие человека и состояние ограждающих конструкций**

Влага всегда содержится в воздухе. Причем в жилых и общественных зданиях влага образуется:

- за счет дыхания людей 20-70 г/ч;
- приготовления пищи (по числу конфорок) 50-500 г/ч;
- душа, ванны 500-800 г/ч;
- сушки белья (в зависимости от его влажности) 50-500 г/ч;

- комнатных растений (в зависимости от величины и вида) 5-20 г/ч.

За счет ускорения движения молекул при повышении температуры и за счет действия ветра некоторые молекулы воды отрываются от поверхности воды и уносятся воздухом.

Испарение тем больше:

- чем выше температура воздуха и воды (молекулы воды более подвижны, теплый воздух их легче воспринимает и держит);
- чем сильнее ветер (сильный ветер отрывает молекулы с поверхности и уносит, освобождая место для отрыва новых молекул);
- чем больше поверхность испарения (испарение происходит только с поверхности);
- чем меньше атмосферное давление.

Влагу могут содержать в своих порах различные строительные материалы. Но и воздух может содержать влагу. В зависимости от температуры он может максимально накапливать большее или меньшее число молекул воды. На рис. 4.9 приведен график максимального содержания влаги в воздухе в г/м<sup>3</sup>.

Самочувствие человека зависит от содержания влаги в воздухе. Уже после немногих часов разговора в сухом воздухе наступает повреждение голосовых связок. Наоборот, влажный воздух утомляет человека, создает давящее впечатление.

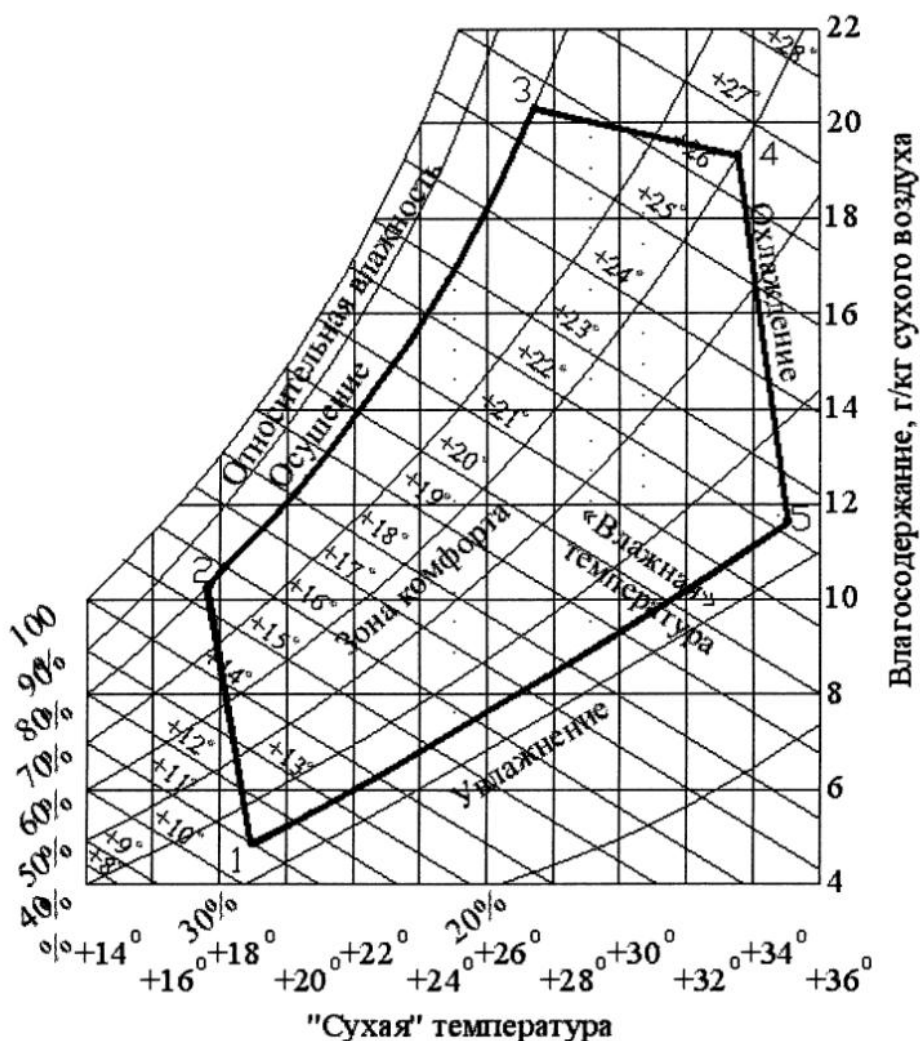
Также неоднозначно сказывается содержание влаги в воздухе на различных производственных процессах. Так, например, на текстильных фабриках, чтобы не рвалась пряжа, влажность воздуха должна быть очень высокой.

Таким образом, для ощущения комфорта и обеспечения нормального производственного процесса в помещении должна быть определенная влажность воздуха, не больше и не меньше, чем это необходимо. На рис. 4.10 показана диаграмма, связывающая ощущения человека с температурой и влажностью воздуха. Эта диаграмма построена на основе психофизических исследований многих испытуемых.

Создание требуемых условий температурно-влажностного режима в помещениях – задача специалистов по отоплению и вентиляции, разрабатывающих установки кондиционирования воздуха. Задача инженера-строителя и архитектора-проектировщика зданий – обеспечить правильный температурно-влажностный режим ограждающих конструкций.

Различают несколько видов влаги, повышающей нежелательное влагосодержание строительных материалов в ограждающих конструкциях:

- технологическая (начальная) влага, вносимая в конструкцию при ее бетонировании или при применении влажных материалов;
- грунтовая (капиллярная) и от напорной грунтовой воды. О ней было сказано выше;
- атмосферная влага в виде косых дождей или инея на стенах и внутренней поверхности кровли в чердачных крышах. При повышении температуры иней тает и увлажняет ограждающие конструкции;



**Рис. 4.10.** Зона комфорта человека в повседневной одежде в состоянии малой физической активности (граница зоны комфорта – многоугольник 1, 2, 3, 4, 5); - «Влажная температура» - показания термометра с шариком, обернутым влажным батистом; разность между «сухой» и «влажной» температурами тем больше, чем суше воздух

- парообразная влага, диффундирующая сквозь ограждение отапливаемых помещений и при неблагоприятных условиях конденсирующаяся в их толще.

Любой из видов влаги может быть причиной повреждения конструкций (замерзание и оттаивание воды в порах, уменьшение теплопроводности влажных материалов, развитие грибков и микроорганизмов).

Летом влага испаряется, зимой материалы снова набирают влагу. В результате длительных и постепенно затухающих процессов влагообмена новой конструкции с окружающей средой ее слои приобретают равновесное влагосодержание, которое в правильно запроектированных конструкциях должно приближаться к воздушно-сухому состоянию.

В слоях ограждающих конструкций, граничащих с достаточно сухой воздушной средой, влажность материала быстро уменьшается и достигает предела сорбционного увлажнения, т.е. увлажнения за счет поглощения материалом влаги из окружающей среды. Этим заканчивается первый период естественной

сушки. В дальнейшем процесс существенно замедляется. Завершением его является достижение материалом равновесной влажности (нормальной для данных условий и условий эксплуатации зданий).

Этот процесс называется десорбцией.

Продолжительность естественной сушки зависит от наружной и внутренней температуры и ее колебаний, влажности наружного и внутреннего воздуха в летний и зимний период, характерного размера ограждающей конструкции и от свойств материалов, из которых она выполнена.

Материалы бывают медленно и быстро высыхающие. Это зависит от того, какая энергия необходима для отрыва влаги от поверхности материала, т.е. от свойств адгезии.

Характерным размером считается наибольшее расстояние по поперечному сечению конструкции, на которое надо переместиться влаге, для того чтобы достигнуть поверхности, с которой происходит испарение. При испарении с обеих поверхностей имеется два характерных размера, величина которых зависит от положения плоскости конденсации. Это может быть, например, летом, когда испарение идет как в направлении наружу, так и в направлении вовнутрь помещения.

### Влажность воздуха

На *рис. 4.9* показана диаграмма максимального содержания влаги в воздухе. Она означает, что при данной температуре в воздухе может содержаться такое количество водяного пара, которое не превышает некоторого максимального значения ( $\text{г/м}^3$ ), указанного на диаграмме. Это значение называется количеством насыщения или объемной концентрацией насыщения водяного пара в воздухе. Если количество пара в воздухе достигнет насыщения, из воздуха начнут выделяться капельки воды в виде росы или тумана.

Водяной пар, входящий в состав паровоздушной смеси, занимает тот же объем, что и сама смесь, температура пара и смеси одинаковы. Однако пар повышает давление в данном объеме.

Энергетический уровень молекул водяного пара, содержащийся во влажном воздухе, выражается давлением водяного пара, которое называется парциальным давлением или упругостью водяного пара.

$$e = \frac{MeR}{\mu_M v} \cdot T \text{ (Па)}, \quad (4.2)$$

где  $Me$  – масса водяного пара, кг;  $\mu_M$  – молекулярный вес, кг/моль;  $T$  – температура пара или паровоздушной смеси, °С;  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $\text{кг}\cdot\text{м}^3/\text{°С}\cdot\text{моль}$ ;  $v$  – объем,  $\text{м}^3$ .

Размерность зависит от размерности  $R$ .

$$1 \text{ Бар} = 100\,000 \text{ Па} = 100\,000 \text{ Н/м}^2 = 0,1 \text{ Н/мм}^2.$$

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2 = 0,1 \text{ кг/м}^2.$$

Степень насыщенности влажного воздуха водяным паром выражается относительной влажностью:

$$\varphi = \frac{e}{E} \cdot 100\% = \frac{Me}{M_{\max}} \cdot 100\%, \quad (4.3)$$

где  $E$  – парциальное давление насыщения при данной температуре. Величина  $E$  при различных температурах воздуха приведена в табл. 4.1.

Наоборот, температура, при которой давление водяного пара в воздухе достигает давления насыщения, называется точкой росы. По-другому можно сказать, что точка росы – это температура, при которой при данной влажности воздуха из него начинают выделяться капли влаги в виде росы или тумана (конденсат).

Для того чтобы избежать выпадения конденсата на внутренней поверхности стены, необходимо, чтобы температура этой поверхности была выше точки росы. Для этого надо, чтобы стена обладала необходимым сопротивлением теплопередаче.

*Пример.* Определить требуемую толщину утеплителя в совмещенном покрытии ткацкого цеха в г. Москве  $t_{в} = +22^{\circ}$ ;  $\varphi = 80\%$  (рис. 4.11).

Определяем упругость водяного пара в помещении

$$\varphi = \frac{e}{E} \cdot 100\% \quad \text{По табл. 4.1 при } t = +22^{\circ}, E = 2644 \text{ Па}$$

$$e = \frac{\varphi \cdot E}{100} = \frac{80 \cdot 2644}{100} = 2115,2 \text{ Па.}$$

При такой упругости водяного пара на потолке покрытия конденсат начнет выпадать при  $\tau_p = 18,40$  (см. табл. 4.1)

$$R_o^{TP} = \frac{t_g - t_n}{(t_g - \tau_g) \cdot \alpha_g}$$

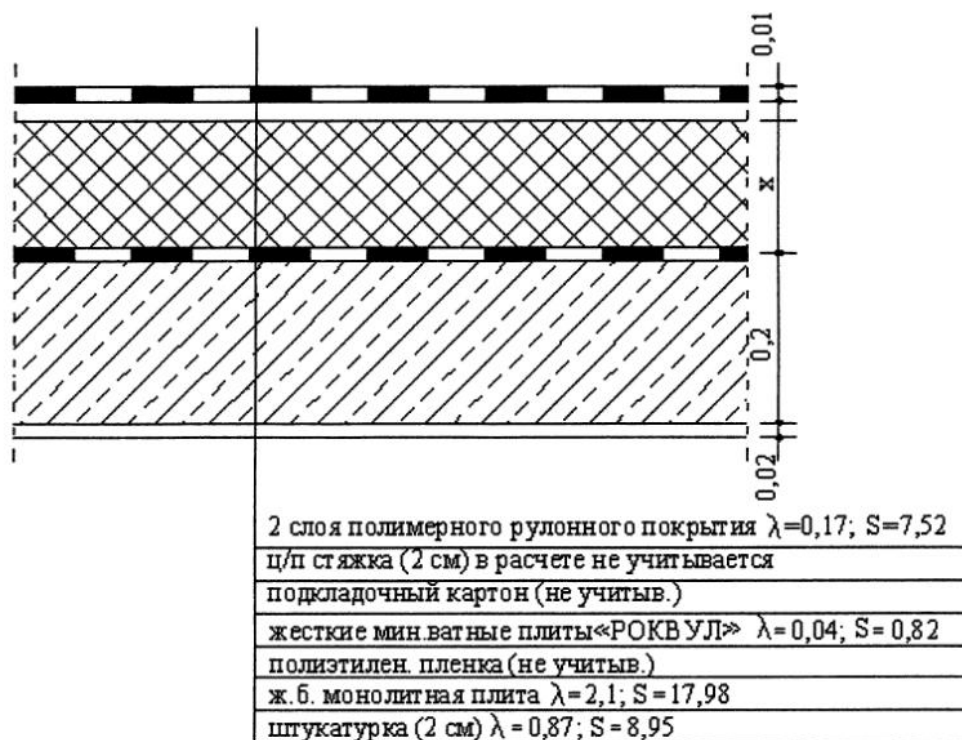
Необходимо выбрать расчетную наружную температуру. Для этого определяем массивность конструкций: условно принимаем толщину утеплителя  $x = 0,1$  м.

$$D = \frac{0,01}{0,17} \cdot 7,52 + \frac{0,10}{0,04} \cdot 0,82 + \frac{0,2}{2,1} \cdot 17,98 + \frac{0,02}{0,87} \cdot 8,95 = 0,44 + 2,05 + 1,71 + 0,21 = 4,41$$

$4 < D = 4,41 < 7$ ; Конструкция средней массивности.

Наружная расчетная температура принимается равной средней температуре из трех самых холодных суток:  $t_3 = -30^{\circ}$ .

$$R_o^{TP} = \frac{22 + 30}{(22 - 18,4) \cdot 8,7} = 1,66;$$



**Рис. 4.11.** Расчетная схема к примеру расчета возможности образования конденсата на внутренней поверхности кровли ткацкого цеха (состав кровли)

$$1,66 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,2}{2,1} + \frac{x}{0,04} + \frac{0,01}{0,17} + \frac{1}{23} = 0,11 + 0,02 + 0,09 + \frac{x}{0,04} + 0,06 + 0,04;$$

$$x = (1,66 - 0,32) \cdot 0,04 = 0,0536 \text{ м.}$$

Принимаем толщину утеплителя равной 0,06 м.

Проверка массивности:

$$D = \frac{0,01}{0,17} \cdot 7,52 + \frac{0,06}{0,04} \cdot 0,82 + \frac{0,2}{2,1} \cdot 17,98 + \frac{0,02}{0,87} \cdot 8,95$$

$$0,44 + 1,23 + 1,71 + 0,21 = 3,59$$

По расчету получается покрытие легкое.

$$t_n = t_1 = -32^\circ$$

$$R_o^{TP} = \frac{22 + 32}{(22 - 18,4) \cdot 8,7} = 1,72$$

$$1,72 = 0,11 + 0,02 + 0,09 + \frac{x}{0,04} + 0,06 + 0,04$$

$$x = (1,72 - 0,32) \cdot 0,04 = 0,056 \text{ м.}$$

Принятая толщина плиты утеплителя 0,06 м больше, чем требуемая по расчету. Это означает, что при средней температуре самых холодных суток на потолке цеха не будет выпадать конденсат.



Таблица 4.1

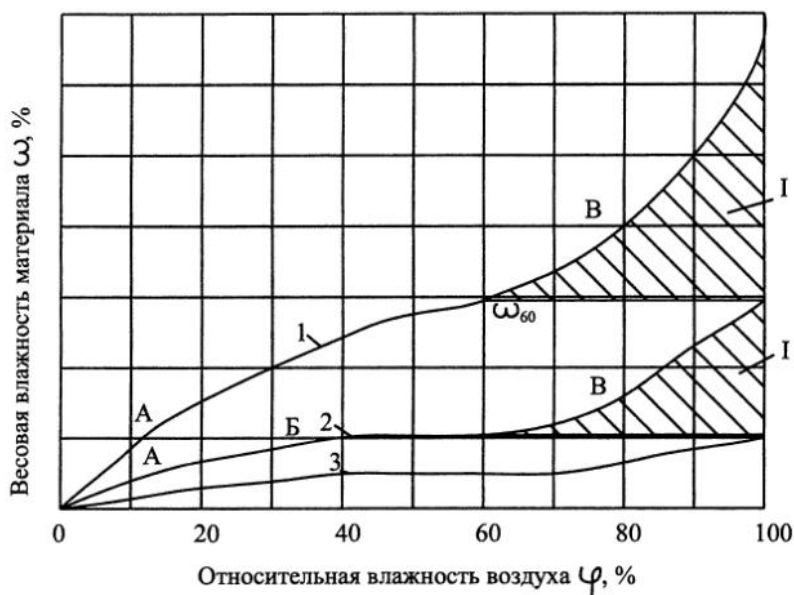
Упругость насыщенного водяного пара  $E$ , Па для температур от 0 до 30 °С (над водой)

°С	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	611	615	620	624	629	633	639	643	648	652
1	657	661	667	671	676	681	687	691	696	701
2	705	711	716	721	727	732	737	743	748	753
3	759	764	769	775	780	785	791	796	803	808
4	813	819	825	831	836	843	848	855	860	867
5	872	879	885	891	897	904	909	916	923	929
6	935	941	948	956	961	968	975	981	988	995
7	1001	1009	1016	1023	1029	1037	1044	1051	1059	1065
8	1072	1080	1088	1095	1103	1109	1117	1125	1132	1140
9	1148	1156	1164	1172	1180	1188	1196	1204	1212	1220
10	1228	1236	1244	1253	1261	1369	1279	1287	1285	1304
11	1312	1321	1331	1339	1348	1355	1365	1375	1384	1323
12	1403	1412	1421	1431	1440	1449	1459	1468	1479	1488
13	1497	1508	1517	1527	1537	1547	1557	1568	1577	1588
14	1599	1609	1619	1629	1640	1651	1661	1672	1683	1695
15	1705	1716	1727	1739	1749	1761	1772	1784	1795	1807
16	1817	1829	1841	1853	1865	1877	1889	1901	1913	1925
17	1937	1949	1962	1974	1986	2000	2012	2025	2037	2050
18	2064	2077	2089	2102	2115	2129	2142	2156	2169	2182
19	2197	2210	2225	2238	2252	2266	2281	2294	2309	2324
20	2338	2352	2366	2381	2396	2412	2426	2441	2456	2471
21	2488	2502	2517	2533	2542	2564	2580	2596	2612	2628
22	2644	2660	2676	2691	2709	2725	2742	2758	2776	2792
23	2809	2826	2842	2860	2877	2894	2913	2930	2948	2965
24	2984	3001	3020	3038	3056	3074	3093	3112	3130	3149
25	3168	3186	3205	3224	3244	3262	3282	3301	3321	3341
26	3363	3381	3401	3421	3441	3461	3481	3502	3523	3544
27	3567	3586	3608	2628	3649	3672	3692	3714	3796	3758
28	3782	3801	3824	3846	3869	3890	3913	3937	3960	3982
29	4005	4029	4052	4076	4100	4122	4146	4170	4194	4218
30	4246	4268	4292	4317	4341	4366	4890	4416	4441	4468

Упругость несущего водяного пара  $E$ , Па для температур от 0 до  $-40$  °С (над льдом)

7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	-41
12	12,1	12,2	12,3	12,4	12,5	12,6	12,7	12,8	12,9	-40
13	13,3	13,6	13,9	14,2	14,5	14,8	15,1	15,4	15,7	-39
16	16,1	16,2	16,3	16,4	16,5	16,6	16,7	16,8	16,9	-38
17	17,3	17,6	17,9	18,2	18,5	18,8	19,1	19,4	19,7	-37
20	20,1	20,2	20,3	20,4	20,5	20,6	20,7	20,8	20,9	-36
21	21,3	21,6	21,9	22,2	22,5	22,8	23,1	23,4	23,7	-35
24	24,3	24,6	24,9	25,2	25,5	25,8	26,1	26,4	26,7	-34
27	27,2	27,4	27,6	27,8	28	28,2	28,4	28,6	28,8	-33
29	29,4	29,8	30,2	30,6	31	31,4	31,8	32,2	32,6	-32
33	33,4	33,8	34,2	34,6	35	35,4	35,8	36,2	36,6	-31
37	37,4	37,8	38,2	38,6	39	39,4	39,8	40,2	40,6	-30
41	41,4	41,8	42,2	42,6	43	43,4	43,8	44,2	44,6	-29
45	45,6	46,2	46,8	47,4	48	48,6	49,2	49,8	50,4	-28
51	51,5	52	52,5	53	53,5	54	54,5	55	55,5	-27
56	56,7	57,4	58,1	58,8	59,5	60,2	60,9	61,6	62,3	-26
63	63,6	64,2	64,8	65,4	66	66,6	67,2	67,8	68,4	-25
69	69,8	70,6	71,4	72,2	73	73,8	74,6	75,4	76,2	-24
77	77,8	78,6	79,4	80,2	81	81,8	82,6	83,4	84,2	-23
85	85,8	86,6	87,4	88,2	89	89,8	90,6	91,4	92,2	-22
93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	-21
103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	-20
113	114,2	115,4	116,6	117,8	119	120,2	121,4	122,6	123,8	-19
125	126,2	127,4	128,6	129,8	131	132,2	133,4	135,6	136,6	-18
137	138,4	139,8	141,2	142,6	144	145,4	146,8	148,2	149,6	-17
151	152,4	154,8	156,2	157,6	159	160,4	161,8	163,2	164,6	-16
165	166,6	168,2	169,8	171,4	173	174,6	176,2	177,8	179,4	-15
181	182,8	184,6	186,4	188,2	190	191,8	193,6	195,4	197,2	-14
199	200,8	202,6	204,4	206,2	208	209,8	211,6	213,4	215,2	-13
217	219	221	223	225	227	229	231	233	235	-12
237	239,3	241,6	243,9	246,2	248,5	250,8	253,1	255,4	257,7	-11
260	262,4	264,8	267,2	269,6	272	274,4	276,8	279,2	281,6	-10
284	286,5	289	291,5	294	296,5	299	301,5	304	306,5	-9
309	310,2	311,4	312,6	313,8	315	316,2	317,4	318,6	319,8	-8
321	322,6	324,2	325,8	327,4	329	330,6	332,2	333,8	335,4	-7
337	343,4	349,8	356,2	362,6	369	375,4	381,8	388,2	394,6	-6
401	406	411	416	421	426	431	436	441	446	-5
451	453,5	456	458,5	461	463,5	466	468,5	471	473,5	-4
476	480,1	484,2	488,3	492,4	496,5	500,6	504,7	508,8	512,9	-3
517	521,6	526,2	530,8	535,4	540	544,6	549,2	553,8	558,4	-2
563	567,8	572,6	577,4	582,2	587	591,8	596,6	601,4	606,2	-1
0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0	

Для предотвращения конденсата на поверхности стены очень важно обеспечить свободную циркуляцию воздуха около стены. Если циркуляция нарушена, например за шкафами или за ковром у наружной стены, то абсолютная влажность в таких местах повышается и быстрее приближается к влажности насыщения при данной температуре. По этой же причине при установке в крупнопанельных домах новых герметичных



**Рис. 4.12.** Изотермы сорбции влаги для характерных групп строительных материалов; 1 – смачиваемые; 2 – ограниченно смачиваемые; 3 – несмачиваемые; I – зона капиллярной конденсации

окон без одновременного утепления стен, обязательно снаружи по всему дому, возможно в таких местах выпадение конденсата. В таких случаях необходимо неоднократное проветривание помещений в течение дня.

### Влажностное состояние ограждающих конструкций

Влажный материал стен и перекрытий резко снижает свои теплозащитные качества, поскольку теплопроводность увлажненных материалов больше.

Влажная конструкция быстрее разрушается от морозов, коррозии, биологических процессов. Сухая конструкция, в том числе и из дерева, может служить столетия. В первый период службы конструкции в ней может содержаться технологическая («строительная») влага, а в дальнейшем происходит ее увлажнение влагой внутреннего воздуха и атмосферной влагой. Увеличение влажности вызывает дальнейшую активизацию конденсации водяного пара внутри конструкции и еще большее ее увлажнение.

Влага, поглощаемая пористым материалом из окружающего воздуха, называется сорбционной, а процесс увлажнения сорбцией. В отличие от сорбционной влажности гигроскопической влажностью называется влажность материала, которую он набирает за 10 дней нахождения в воздухе с относительной

влажностью 100%. В строительной теплофизике влагосодержание материала часто выражается в процентах. В этом случае оно называется весовой влажностью.

$$\omega = \frac{P_v - P_c}{P_c} \cdot 100\%, \quad (4.4)$$

где  $P_v$  и  $P_c$  – соответственно вес воздушно-сухого и абсолютно сухого материала.

При длительном пребывании образца материала или строительного изделия в воздухе с постоянной температурой и относительной влажностью количество влаги, содержащейся в нем, становится неизменным (равновесным). Если температура или влажность окружающего воздуха изменилась, постоянно приходит в соответствие с этими изменениями и количество влаги, содержащееся в материале.

Закономерность изменений равновесного влагосодержания материала, находящегося в воздушной среде с постоянной температурой, но постоянно возрастающей относительной влажностью, выражается изотермой сорбции (рис. 4.12).

На рис. 4.12 представлены три изотермы сорбции:

- для материалов со смачиваемой поверхностью пор и капилляров;
- для материалов с промежуточными свойствами;
- для материалов с несмачиваемой (гидрофобной) поверхностью.

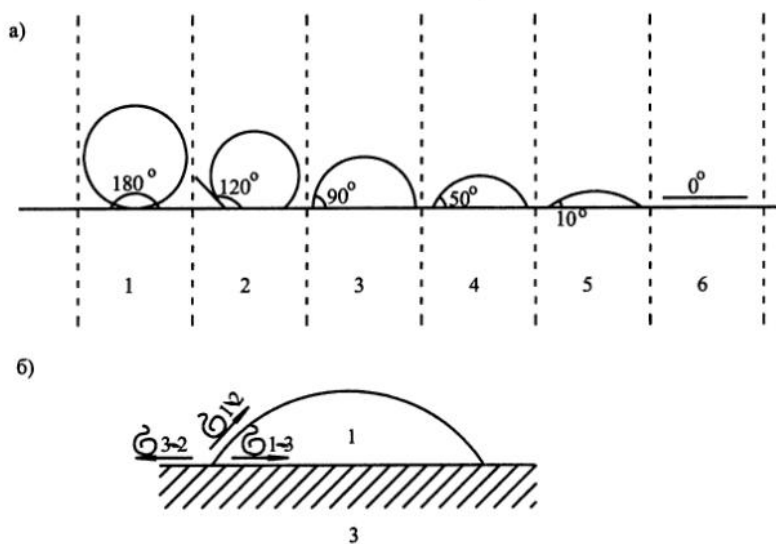
Наглядно смачивание поверхности твердого материала по теории П.А. Ребиндера представлено на рис. 4.13.

Для капиллярно пористых материалов, хорошо смачиваемых влагой (основная часть строительных материалов) характерны выпукло-вогнутые изотермы сорбции. Выпуклая часть изотерм указывает на присутствие внутри материала только адсорбированной влаги в один слой. Средняя часть изотерм, близкая к прямой линии, соответствует наслоению адсорбированной влаги в несколько слоев молекул. При дальнейшем повышении влажности воздуха пленки влаги утолщаются, заполняют капилляры, образуя в смачиваемых материалах мениски с вогнутой поверхностью. Это приводит к понижению над ними насыщающей величины парциального давления и конденсации влаги в незаполненных частях тонких капилляров (капиллярная конденсация). При этом влажность материала резко возрастает.

Наибольшее сорбционное увлажнение:

- у древесины  $\omega_{100}$  30- 35%;
- у ячеистых бетонов  $\omega_{100}$  10- 15%;
- у легких бетонов  $\omega_{100}$  5- 6%;
- у хорошо обожженного кирпича и керамики  $\omega_{100}$  0,5- 5%;
- у асфальта, битумов  $\omega_{100}$  0,2- 2%.

От сорбционных свойств материала зависит количество влаги, необходимое для увлажнения воздушно-сухого материала до полного сорбционного насыщения, которое часто является верхним допустимым пределом влагосодержания конструкции, после достижения которого теплозащитные качества конструкции перестают удовлетворять любым требованиям.



**Рис. 4.13.** Смачивание поверхности твердого материала каплями воды (по П.А. Ребиндеру):  
 а) степень смачивания, зависящая от величины краевого угла; б) мера полноты смачивания, выражаемая как  $B = \cos \alpha$

### Диффузионный процесс увлажнения ограждающих конструкций

Процесс сорбционного увлажнения и десорбции происходит при изменении, например, величины относительной влажности воздуха, соприкасающегося с материалом. Величина, характеризующая этот процесс для данного материала, называется относительной влагоемкостью в пределах сорбционного увлажнения.

При изменении относительной влажности от 60% до 100% увеличение сорбционной влажности материала по изотерме сорбции (см. рис. 4.12) составит  $\omega_{100} - \omega_{60}$ . Величина относительной влагоемкости равна:

$$\xi_0 = \frac{\omega_{100} - \omega_{60}}{100 - 60} \cdot 1000 \text{ г / кг} . \quad (4.5)$$

При таком смачивании значительная часть влаги внутри материала является жидкой (зона капиллярной конденсации). Это имеет место при  $\varphi > 80\%$ .

До относительной влажности, равной 80%, можно говорить об относительной пароемкости материала.

$$\xi'_0 = \frac{\omega_{80} - \omega_{60}}{80 - 60} \cdot 1000 \text{ г / кг} .$$

Таким образом, количество водяного пара в конструкции зависит от разности относительных влажностей, начальной и конечной, а следовательно, зависит от разности давлений водяного пара, которая может быть во времени или в пространстве (по разные стороны от ограждающей конструкции).

Ограждающие конструкции отделяют друг от друга две воздушные среды, отличающиеся между собой температурой и влажностью. Наибольшая разница давлений водяного пара имеет место зимой.

Например, в г. Москве в жилых домах температура внутреннего воздуха  $t_g = +20$  °С. Относительная влажность  $\varphi = 60\%$ . По табл. 4.1:  $E = 2338$  Па. Из формулы (4.3) имеем:

$$e_g = \frac{\varphi_g \cdot E_g}{100} = \frac{60 \cdot 2338}{100} = 1402,8 \text{ Па}.$$

По СНиП 23.01-99 при средней относительной влажности в январе  $\varphi_n = 84\%$  и средней температуре самой холодной пятидневки  $t_5 = -28$  °.

$$e_n = \frac{\varphi_n \cdot E_n}{100} = \frac{2,7 \cdot 47}{100} = 1,269 \text{ Па}.$$

Разница составляет  $e_g - e_n = 1402,8 - 1,269 = 1401,53$  Па.

Это очень большое давление, под которым пар просачивается (диффундирует) из теплого помещения в холодную внешнюю среду через ограждающую конструкцию. Навстречу ему идет фильтрация холодного воздуха. Поток тепла идет в направлении диффузии водяного пара. При этом температура материала ограждающей конструкции снижается. В каком-то сечении она достигнет точки росы при том давлении водяного пара, которое имеет место в этом сечении. При этом начинается конденсация пара, приводящая в худшем случае к намоканию конструкции.

Задача инженеров и архитекторов-проектировщиков так запроектировать ограждающую конструкцию, чтобы конструкция при диффузном увлажнении не намокала или могла бы высушиваться за летний период.

Диффузию водяного пара через слой материала называют паропрооницанием. Для различных материалов оно различно. В материалах с открытыми порами (газобетон, минераловатные плиты без оболочки и т.п.) паропрооницание происходит легко, без значительного торможения потока водяного пара. В плотных материалах торможение водяного пара, а следовательно – снижение парциального давления может быть очень значительным (это такие материалы, как битумные строительные материалы, рубероид, флизол, синтетические рулонные материалы и др.). Однако сквозь такие слои, которые служат надежной гидроизоляцией, какое-то количество водяного пара все-таки проходит, так как молекулы пара гораздо меньше молекул воды. Наименее паропрооницаемым материалом является полиэтиленовая пленка. Поэтому только ее или современные специальные материалы рекомендуется применять для пароизоляции плоских совмещенных покрытий при условии тщательной сварки краев полос рулонного материала и тщательного уплотнения примыканий.

Абсолютно паронепроницаемыми являются только металлы, в том числе алюминиевая фольга, которая применяется как для пароизоляции, так и для отражения лучистой составляющей теплового потока.

Свойство материала пропускать водяной пар характеризуется коэффициентом паропрооницания материала ( $\mu$ ).

Коэффициент паропроницаемости показывает количество пара (в мг), проходящего за 1 час через 1 м<sup>2</sup> плоского слоя толщиной в 1 м при разности парциальных давлений на поверхностях слоя, равной 1 Па. Эти значения приведены в таблице СНиП «Строительная теплотехника» или в СП 23-101-2000 (прил. 2.2). Они имеют большие значения для рыхлых паропроницаемых материалов и меньшие – для плотных. В нормах СНиП приведены значения коэффициента паропроницаемости для различных материалов при их сорбционной влажности, соответствующей влажности воздуха около 80%. Коэффициент паропроницаемости такого же материала, но более сухого, будет меньшим, поскольку перемещение пленочной влаги уменьшится или исчезнет. Его значение

$$\mu_x = \mu_{80} \frac{\omega_x}{\omega_{80}}$$

определяется из закономерностей термодинамики. Прямая связь величин коэффициентов паропроницаемости с равновесной влажностью материалов, т.е. с их сорбционными свойствами, позволяет считать, что для отдельных групп материалов, характеризующихся изотермами сорбции различного вида, изменения  $\mu$  в зависимости от  $\omega$  будут различными: для смачиваемых материалов с высокой сорбционной способностью эти изменения весьма существенны, для несмачиваемых (например, минеральный войлок, минераловатные плиты) они практически неощутимы. Для этих материалов большее влияние на паропроницаемость имеет температура, а не влажность. Однако эти закономерности еще недостаточно изучены.

Для некоторых листовых материалов и тонких слоев пароизоляции в СНиП приведены сразу значения сопротивления паропроницаению  $R_{II}$  (табл. 4.2).

По аналогии с сопротивлением теплопередаче при установившемся потоке водяного пара через конструкцию сопротивление паропроницаению какого-либо слоя ограждения определяется по формуле

$$R_{II} = \frac{\delta}{\mu}; \text{ Па м}^2 \text{ ч/мг.} \quad (4.6)$$

Общие сопротивления паропроницаению многослойной ограждающей конструкции определяются по формуле

$$R_{II} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\mu_n}, \quad (4.7)$$

где  $n$  – число слоев.

Эта формула не учитывает сопротивление влагообмену на внутренней и наружной поверхностях ограждающей конструкции. (Сравните с формулой общего сопротивления теплоотдаче).

Величина сопротивления влагообмену на внутренней поверхности  $R_{в.п.}$  зависит не только от условий движения воздуха у поверхности, но и от влажности материала, и может быть определена по формуле

$$R_{в.п.} = RT \ln \frac{E}{e} \cdot \frac{1}{\alpha \beta} \text{ Па м}^2 \text{ ч/мг}, \quad (4.8)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная (0,008314 Па м<sup>3</sup>/(°С мг мол.);  $T$  – температура, °С;  $E$  – парциальное давление насыщенного пара при температуре  $T$ , Па;  $e$  – равновесное давление при рассматриваемой влажности материала.

$\alpha \beta = \frac{\alpha_k}{0,92 \cdot c \cdot \gamma} \approx 3,72 \alpha_k = 18,60 \text{ м/ч}$  – коэффициент теплообмена на поверхности,

пропорциональный коэффициенту тепловосприятости (без учета радиационной составляющей),  $\alpha_k \approx 5,84 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$  отнесенный к теплоемкости смеси воздуха с паром ( $c$ , кДж/(кг °С)) и объемной массе этой смеси ( $\gamma$ , кг/м<sup>3</sup>).

**Таблица 4.2**

Сопротивление паропроницанию листовых материалов и тонких слоев пароизоляции

Материал	Толщина слоя, мм	Сопротивление паропроницанию $R_{п.}$ , м <sup>2</sup> ч Па/мг
1. Картон обыкновенный	1,3	0,016
2. Листы асбестоцементные	6	0,3
3. Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка)	10	0,12
4. Листы древесно-волоконистые жесткие	10	0,11
5. Листы древесно-волоконистые мягкие	12,5	0,05
6. Окраска горячим битумом за один раз	2	0,3
7. Окраска горячим битумом за два раза	4	0,48
8. Окраска масляная за два раза с предварительной шпатлевкой и грунтовкой	-	0,64
9. Окраска эмалевой краской	-	0,48
10. Покрытие изольной мастикой за один раз	2	0,60
11. Покрытие битумно-кукерсольной мастикой за один раз	1	0,64
12. Покрытие битумно-кукерсольной мастикой за два раза	2	1,1
13. Пергамин кровельный	0,4	0,33
14. Полиэтиленовая пленка	0,16	7,3
15. Рубероид	1,5	1,1
16. Толь кровельный	1,9	0,4
17. Фанера клееная трехслойная	3	0,15

Вычисленные из выражения (4.8) для температуры внутренней поверхности  $\tau_e = T = +18$  °С величины сопротивления влагообмену  $R_{н.в.}$  на поверхности конструкций с различной равновесной влажностью материала приведены в табл. 4.3.



Величины сопротивления влагообмену на поверхностях конструкции  
в помещениях с различной влажностью

Характеристика влажности помещения	Относительная влажность воздуха на поверхности конструкции, %	Сопротивление влагообмену, Па м <sup>2</sup> ч/мг
Сухие с избыточными выделениями тепла	25	0,184
Сухие отапливаемые	40	0,121
С нормальной влажностью	55	0,080
Влажные	70	0,045
Мокрые	85	0,021
С постепенной конденсацией влаги на поверхности конструкции	100	0

Как видно из приведенных в таблице результатов, величины сопротивления влагообмену могут изменяться в широких пределах. Например, при изменении величины влажности на поверхности конструкций от 25% до 85% величина  $R_{в.п.}$  уменьшается почти в 10 раз. На очень сухой поверхности величина  $R_{в.п.}$  примерно соответствует величине сопротивления паропроницанию слоя цементно-песчаной штукатурки толщиной 1,6 см.

При обычной влажности около 55% сопротивление влагообмену составляет 0,06–0,08 м<sup>2</sup> ч Па/мг. Эта величина является несущественной при расчетах влажностного режима конструкций.

Сопротивление влагообмену на наружной поверхности конструкции также зависит от относительной влажности теперь уже наружного воздуха и весовой влажности материала у наружной поверхности. При высокой влажности наружного воздуха и при низких наружных температурах в период конденсации эта величина очень незначительна. В расчетах она, как правило, не учитывается.

Таким образом, полное сопротивление паропроницанию ограждающей поверхности конструкции – это разность парциальных давлений в Па во внутреннем и наружном воздухе, при которой через 1 м<sup>2</sup> конструкции за 1 час проходит поток пара, равный 1 мг.

$$R_{оп} = R_{вп} + \sum \frac{\delta}{m} + R_{нп} \text{ (м}^2 \text{ ч Па/мг)}, \quad (4.9)$$

где  $R_{вп}$  и  $R_{нп}$  учитываются только в редких случаях.

При температуре внутренней поверхности +18 °С величину сопротивления влагообмену на внутренней поверхности можно определить по приближенной формуле

$$R_{вп} = K \left( 1 - \frac{\varphi}{100} \right), \quad (4.10)$$

где  $K = 0,134$  при размерности Па м<sup>2</sup> ч/мг;  $\varphi$  – относительная влажность воздуха помещения, %.

Из формулы (4.10) следует, что поток водяного пара встречает меньшие сопротивления при прохождении через увлажненные поверхности сухих конструкций. Величину  $R_{нп}$  также можно приближенно определить по формуле (4.10)

По аналогии с прохождением теплового потока через конструкцию (см. формулу (2.4)), количество водяного пара, проходящего через конструкцию площадью 1 м<sup>2</sup> в течение 1 часа

$$G = \frac{e_s - e_n}{R_{он}} = \frac{e_s - e_x}{R_{nx}} \cdot \frac{mz}{m^2 \cdot ч}, \quad (4.11)$$

где  $e_s$ ,  $e_n$  и  $e_x$  – давление водяного пара во внутреннем, наружном воздухе и на границе какого-либо сечения или слоя конструкции, начиная от внутренней ее поверхности;  $R_{он}$  и  $R_{nx}$  – сопротивление паропрооницанию, общее и в сечении  $x$ , считая от внутренней поверхности конструкции.

Из формулы (4.11):

$$e_x = e_s - \frac{e_s - e_n}{R_{он}} \cdot R_{nx}. \quad (4.12)$$

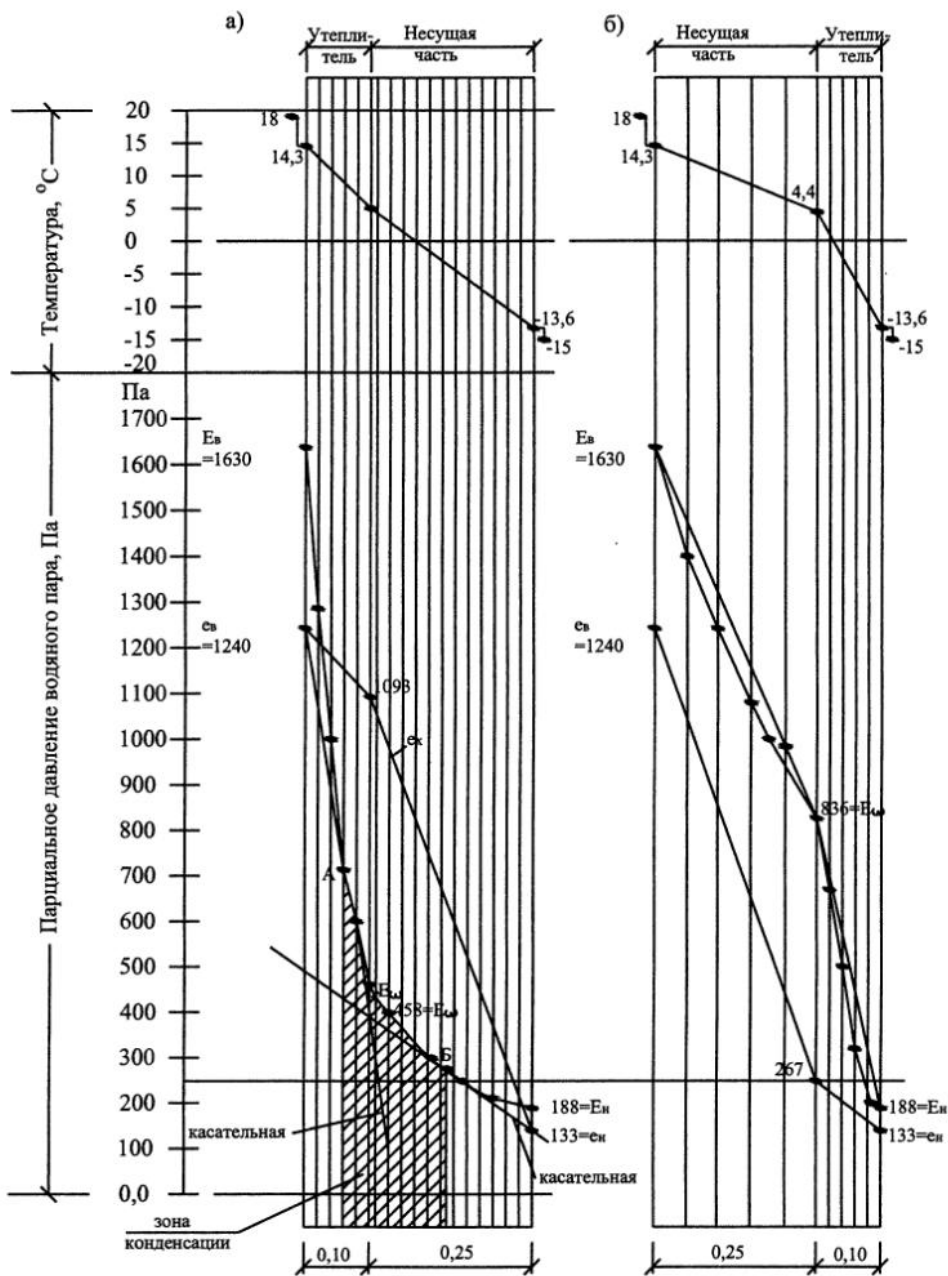
Аналогично температура в каком-либо сечении  $x$  ограждающей конструкции

$$\tau_x = \tau_s - \frac{t_s - t_n}{R_o} \cdot R_x, \quad (2.5)$$

где  $t_s$ ,  $t_n$  – внутренняя и наружная температура;  $R_o$  и  $R_x$  – общее сопротивление теплопередаче конструкции и сопротивление теплопередаче слоев конструкции, включая сопротивление тепловосприятию  $R_b$  от внутреннего воздуха к сечению  $x$ .

Оценку влажностного состояния ограждений при установившемся потоке диффузии пара удобно проводить графически по методу О.Е. Власова и К.Ф. Фокина. Метод заключается в следующем:

1. На схематическом разрезе ограждающей конструкции (рис. 4.14) строится линия распределения температур в толще конструкции. Температура наружного воздуха может быть различной: это может быть наружная средняя температура самого холодного зимнего месяца, средняя температура периода увлажнения и т.д. в зависимости от задачи, которая ставится в расчете.



**Рис. 4.14.** Графо-аналитический расчет возможности конденсации водяного пара внутри многослойной конструкции при данных значениях температуры и влажности наружного воздуха и внутри помещения:

- а) пример, когда конденсация влаги в толще конструкции будет иметь место (утеплитель изнутри); б) пример, когда конденсации в толще конструкции не будет (утеплитель снаружи)

Использование для влажностных расчетов наружных зимних расчетных температур (средняя температура самых холодных суток, средняя температура самой холодной пятидневки или средняя температура самых холодных трех суток) в зависимости от массивности конструкций нецелесообразно, так как процесс диффузии водяного пара очень продолжительный и за 5 суток он только начинается.

- Значения температур могут быть рассчитаны графически или по формуле (2.5).
2. В соответствии со значениями вычислительных температур строится линия величин насыщенного парциального давления  $E$ , которые определяются по табл. 4.1.
  3. По формуле (4.12) вычисляются значения парциальных давлений  $e$  в характерных сечениях конструкции и строится линия, выражающая постепенное падение этих давлений в соответствии с сопротивлением паропроницанию отдельных слоев конструкции. Этот расчет может быть сделан графически аналогично графическому определению температур в толще стены. Сечение стены строится в масштабе сопротивлений паропроницанию. Значения внутреннего парциального давления ( $e$ ), откладываемые по оси ординат, соединяются прямой. Значения максимальных парциальных давлений, соответствующих температуре в соответствующих точках сечения ( $E$ ), наносятся на этот график.

Если внутри конструкции не происходит пересечения линий  $E$  и  $e$ , то это указывает на невозможность конденсации влаги внутри ограждающей конструкции при данных температурно-влажностных условиях внутри помещения и в наружном воздухе. То есть при этих условиях фактическое парциальное давление во всей толще конструкции не превысит давлений насыщения, и конденсации влаги не будет. Наоборот, при пересечении линий  $E$  и  $e$  внутри ограждающей конструкции возможна конденсация влаги при данных условиях, соответствующих установившемуся потоку водяного пара.

Оба варианта представлены на рис. 4.14, а и б. Зона возможной конденсации располагается между точками  $E_1$  и  $E_2$  пересечения линии  $E$  касательными, проведенными из точек  $e_{вн}$   $e_{нп}$  на поверхностях конструкции.

Фактически зона по толщине конструкции от внутренней поверхности до плоскости конденсации – это зона еще сухого материала, где давление водяного пара постепенно приближается к давлению насыщения. При установившемся потоке водяного пара можно рассчитать его количество, которое будет превращаться в воду за период конденсации.

По формуле (4.11) при продолжительности периода конденсации  $Z_k$  в часах масса сконденсировавшейся за этот период влаги ( $G_k$ ) равна:

$$G_k = \frac{e_s - e_x}{R_{пк}} \cdot Z_k \text{ (мг/м}^2\text{)}, \quad (4.13)$$

где  $e_s$  – давление водяного пара внутреннего воздуха, Па,

$$e_s = \frac{\varphi_s \cdot E_s}{100},$$

$\varphi_s$  – относительная влажность внутреннего воздуха, %;  $E_s$  – давление насыщения водяного пара при температуре внутреннего воздуха, Па, определяется по табл. 4.1 по величине  $t_s$ ;  $e_x$  – давление водяного пара в плоскости конденсации, Па, определяется по формуле (4.12);  $R_{пк}$  – сопротивление паропроницанию части ограждающей конструкции от внутренней поверхности до плоскости

конденсации, включая  $R_{вн}$ ;  $Z_k$  – продолжительность периода конденсации в часах.

За летний период (период высыхания) количество испарившейся вовнутрь помещения и наружу влаги из конструкции ( $G_u$ ) может быть также определена по формуле, аналогичной формуле (4.13):

$$G_u = \left( \frac{e'_k - e_s}{R_{нк}} + \frac{e'_k - e_n}{R_{он} - R_{нк}} \right) \cdot Z_u \text{ (мг/м}^2\text{)}. \quad (4.14)$$

Здесь  $e'_k$  – давление насыщенного водяного пара при средней температуре высыхания, определяется по табл. 4.1;  $e_s$  – расчетная влажность в помещении, Па, при  $\varphi_s = 55^\circ$  и  $t_s = t_{ср}$  периода высыхания;  $e_n$  – то же снаружи, Па, при  $\varphi_n$ , равной средней относительной влажности за период высыхания и  $t_n$ , равной средней температуре наружного воздуха за летний период высыхания,  $R_{он}$  – общий коэффициент паропроницания конструкции.

Если за летний период из конструкции будет испаряться столько же или больше влаги, чем будет конденсироваться за зимний период, то конструкция будет постепенно высыхать или находиться в состоянии равновесной влажности, т.е. не будет разрушаться и терять свои теплозащитные качества.

Основное условие:

$$\boxed{G_k \leq G_u} \quad (4.15)$$

Такое определение количества сконденсировавшейся и испарившейся влаги является приближенным, так как формулы (4.13) и (4.14) составлены исходя из допущения стационарности температурно-влажностного режима. Кроме того, в толще ограждающей конструкции от внутренней поверхности до плоскости конденсации материал сухой. Его сопротивление паропроницанию не равно сопротивлению паропроницанию влажного материала. В данной методике влажность материала не учитывается, хотя было бы более правильным использовать для периода влагонакопления коэффициент паропроницания  $\mu$  для сухого материала, а для периода высыхания  $\mu$  для влажного материала.

Неопределенными параметрами также являются продолжительность периода влагонакопления и продолжительность периода высыхания, и соответствующие средние значения температуры и относительной влажности.

Для приближенных расчетов, как принято в СНиП, можно считать за период влагонакопления период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха. При этом наружная температура равна средней величине из отрицательных среднемесячных температур. Относительная влажность равна средней из значений по этим месяцам.

В нормах по Строительной теплотехнике сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции  $R_{нк}$  м<sup>2</sup>·ч·Па/мг (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации) должно быть не менее требуемой

величины  $R_{нк}^{mp}$  из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за год эксплуатации:

$$R_{нк}^{\phi} \geq R_{нк}^{mp} = \frac{(e_s - E)R_{нн}}{E - e_n}, \quad (4.16)$$

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

Это уравнение составлено из условия равенства диффузионных потоков водяного пара в зоне конденсации и в зоне испарения в течение года:

$$G_k = (e_s - E) / R_{нк} = G_n = (E - e_n) / R_{нн},$$

где  $e_s$  – парциальное давления внутреннего воздуха при расчетной температуре и влажности;  $e_n$  – то же наружного воздуха, среднее за год;  $E$  – упругость водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации, определяемая по формуле

$$E = \frac{1}{12} (E_1 \cdot Z_1 + E_2 \cdot Z_2 + E_3 \cdot Z_3), \quad (4.17)$$

где  $E_1, E_2, E_3$  – предельные упругости водяного пара, Па, принимаемые по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов;  $Z_1, Z_2, Z_3$  – продолжительность, мес, зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, определяемая согласно СНиП 23.01-99:

- к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже минус 5 °С;
- к весенне-осеннему периоду относятся месяцы со средней температурой наружного воздуха от -5 °С до +5 °С;
- к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха выше +5 °С.

В Нормам приведена также методика определения требуемого сопротивления паропрооницанию  $R_{нк}^{mp}$   $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$  в пределах от ее внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха:

$$R_{нк}^{mp} = \frac{0,0024 Z_0 (e_s - E_0)}{\gamma_{\omega} \delta_{\omega} \Delta W_{cc} + \eta}, \quad (4.18)$$

где

$$\eta = \frac{0,0024 (E_0 - e_{но}) Z_0}{R_{нн}}, \quad (4.19)$$

здесь  $e_{но}$  – средняя упругость водяного пара наружного воздуха, Па, периода с отрицательными среднемесячными температурами, определяемая по СНиП 23.01-99;  $\gamma_{\omega}$  – плотность материала увлажняемого слоя кг/м<sup>3</sup>, равная  $\gamma_0$  (см. прил. 3 СНиП «Строительная теплотехника» или табл. в СП 23-101-2000) (прил. 2.2);  $\delta_{\omega}$  – толщина увлажняемого слоя, м, принимаемая, согласно Нормам, равной 2/3 толщины однородной (однослойной) ограждающей конструкции или толщине теплоизоляционного слоя многослойной конструкции. Более точно толщину увлажняемого слоя можно принять равной расстоянию от плоскости возможной конденсации до наружной поверхности ограждающей конструкции;  $\Delta Wc$  – предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя, % за период влагонакопления  $Z_0$ , принимаемое по табл. 4.4. В формуле величина  $\Delta Wc$  берется не в %, а как отношение.

Предельные упругости  $E_1, E_2, E_3$ , и  $E_0$  для конструкций помещений с агрессивной средой следует принимать с учетом агрессивной среды.

$$E_{aa} = E \cdot \frac{\varphi_{ac}}{100},$$

где  $\varphi_{ac}$  зависит от засоленности. Например, для материала, содержащего  $NaCl$ , условия для выпадения конденсата воздух достигает уже при относительной влажности  $\varphi_{ac} = 75\%$ .

То есть конденсат в засоленных конструкциях выпадает при меньших значениях относительной влажности, чем 100%.

При определении упругости водяного пара  $E_3$  для летнего периода температуру в плоскости возможной конденсации во всех случаях следует принимать не ниже средней температуры наружного воздуха за летний период, упругость водяного пара внутреннего воздуха  $e_e$  – не ниже средней упругости водяного пара наружного воздуха за этот период.

Плоскость возможной конденсации в Нормах приближенно принимается в однородной (однослойной) ограждающей конструкции на расстоянии 2/3 ее толщины от ее внутренней поверхности, а в многослойной конструкции – совпадает с наружной поверхностью утеплителя.

Для чердачных перекрытий или части конструкций вентилируемого покрытия между внутренней поверхностью покрытия и воздушной прослойкой, в зданиях со скатами кровли шириной до 24 м, сопротивление паропроонианию,  $R_n^{mp}$  м<sup>2</sup> ч Па/мг, определяется по формуле

$$R_n^{mp} = 0,0012(e_e - e_{но}). \quad (4.20)$$

Предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя, % за период влагонакопления  $Z_0$

Материал ограждающей конструкции	Предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале $\Delta w_{ср}, \%$
1. Кладка из глиняного кирпича и керамических блоков	1,5
2. Кладка из силикатного кирпича	2,0
3. Легкие бетоны на пористых заполнителях (керамзитобетон, шунгизитобетон, перлитобетон, пемзобетон и др.)	5,0
4. Ячеистые бетоны (газобетон, пенобетон, газосиликат и др.)	6,0
5. Пеногазостекло	1,5
6. Фибролит цементный	7,5
7. Минераловатные плиты и маты	3,0
8. Пенополистирол и пенополиуретан	25,0
9. Теплоизоляционные засыпки из керамзита, шунгизита, шлака	3,0
10. Тяжелые бетоны	2,0

#### 4.6. Примеры анализа влажностного состояния конструкций

В однослойных конструкциях, например в сплошных кирпичных стенах, как правило, проблем с влажностью не возникает.

*Пример 9:* Кирпичная стена с внутренней и наружной штукатуркой. Место строительства: г. Москва.

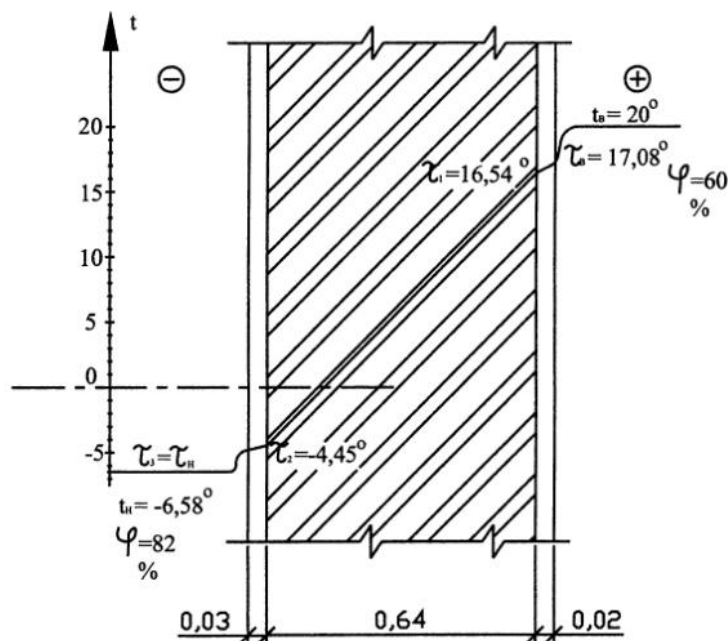


Рис. 4.15. Состав стены к примеру 1. Распределение температур в толще стены при  $t_{ср}^H = -6,58^\circ$  (средняя наружная температура за период влагонакопления)



Состав стены и характеристики примененных материалов приведены на рис. 4.15.

Период влагонакопления (период с отрицательными среднемесячными температурами):

Месяц, №	1	2	3	11	12	Средн. значение
Температура, °С	-10,2	-9,2	-4,3	-1,9	-7,3	-6,58 °С
Относительная влажность, %	84	81	78	82	85	82%
Продолжительность в сут	31	28	31	30	31	Σ=181 сут

Период зимний.

Зимний ( $t_n < -5$  °С)

Месяц, №	1	2	12	Средн. значение
Температура, °С	-10,2	-9,2	-7,3	-8,9 °С
Относительная влажность, %	84	81	85	83,3%
Продолжительность в сут	31	28	31	Σ=90 сут

Весенне-осенний: ( $-5 \leq t_n \leq +5$  °)

Месяц, №	3	4	10	11	Средн. значение
Температура, °С	-4,3	4,4	4,3	-1,9	+0,6 °С
Относительная влажность, %	78	66	78	82	76%
Продолжительность в сут	31	30	31	30	Σ=122 сут

Летний: ( $t_n > +5$  °)

Месяц, №	5	6	7	8	9	Средн. значение
Температура, °С	11,9	16,0	18,1	16,3	10,7	+14,6 °С
Относительная влажность, %	58	59	63	68	73	64,2%
Продолжительность в сут	31	30	31	31	30	Σ=153 сут

За годовой период:  $t_{cp} = 4,1$  °С;  $\varphi_{cp} = 72,9\%$ ;  $E_{cp} = 819$  Па.

$$e_{cp} = \frac{72,9 \cdot 819}{100} = 597,05 \text{ Па}$$

Расчет возможности конденсации влаги в стене при  $t_n$  – средней за период влагонакопления.

1. Рассчитаем распределение температур по сечению стены:

$$R_o = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,64}{0,81} + \frac{0,03}{0,81} + \frac{1}{23} =$$

$$0,11 + 0,02 + 0,79 + 0,04 + 0,04 = 1 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт.}$$

$$t_e = 20 \text{ °}; \tau_e = 17,08; \tau_1 = 16,54; \tau_2 = -4,45; \tau_3 = -5,52 = \tau_n; t_n = -6,58.$$

2. По табл. 4.1 определяем соответствующие значения упругости насыщенного водяного пара при этих температурах:

$$E_e = 2339; E_{e_{cm}} = 1949; E_1 = 1880; E_2 = 462; E_3 = 428 = E_{n_{cm}} E_n = 372.$$

3. Фактическую упругость водяного пара в точках сечения стены определяем по формуле (4.12) При этом

$$e_e = E_e \cdot \varphi_e / 100 = 2339 \cdot 60 / 100 = 1402,8 \text{ Па,}$$

$$e_{no} = 372 \cdot 82 / 100 = 305 \text{ Па. } R_{en} \text{ по формуле (4.10)}$$

$$R_{\text{вн}} = 0,134 \left( 1 - \frac{\gamma}{100} \right) = 0,134 \left( 1 - \frac{60}{100} \right) = 0,054;$$

$$R_{\text{нн}} = 0,134 \left( 1 - \frac{82}{100} \right) = 0,016;$$

$$R_{\text{он}} = R_{\text{вн}} + \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} + R_{\text{нн}}$$

$$R_{\text{он}} = 0,054 + \frac{0,02}{0,09} + \frac{0,64}{0,11} + \frac{0,03}{0,098} + 0,016$$

$$R_{\text{он}} = 0,054 + 0,22 + 5,82 + 0,31 + 0,016 = 6,42 .$$

$$e_s = 1402,8; e_{\text{в.см.}} = 1393,5; e_1 = 1355,5; e_2 = 357,8; e_3 = e_{\text{н.см.}} = 305,33; e_{\text{но}} = 305.$$

На рис. 4.16. показано распределение величин фактической и максимальной упругости водяного пара по сечению стены. Фактическая упругость водяного пара ( $e$ ) ни в одной точке сечения не превышает максимальные значения упругости насыщения ( $E$ ). Следовательно, конденсат в конструкции не будет накапливаться в течение года. Это не значит, что в самые холодные месяцы года в стене не будет выпадать конденсат.

Рассмотрим температурно-влажностный режим этой конструкции при средней температуре самой холодной пятидневки в Москве

$$t_n = -28^\circ; \varphi = 8\%; E_n = 47 \text{ Па}; e_n = 37,6 \text{ Па.}$$

$$t_s = 20; \tau_{\text{в}} = 14,7; \tau_1 = 13,8; \tau_2 = -24,2; \tau_3 = -26,08 = \tau_n; t_n = -28;$$

$$E_{\text{в}} = 2338; E_{\text{в.см.}} = 1674; E_1 = 1572; E_2 = 68; E_3 = 57 = E_{\text{н.см.}}; E_n = 47;$$

$$e_s = 1403; e_{\text{в.см.}} = 1391; e_1 = 1344; e_2 = 106; e_3 = 40,2 = e_{\text{н.см.}}; e_n = 37,6.$$

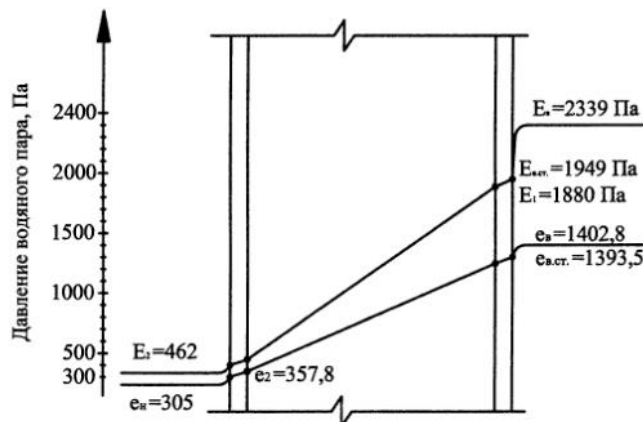
Таким образом, при температуре  $t_n = -28^\circ$  будет происходить выпадение конденсата внутри стены. Плоскость конденсации и зона увлажнения показаны на рис. 4.17.

$$\text{При наружной температуре } t_n = -18^\circ\text{C}; \varphi = 80\%; E_n = 125 \text{ Па}; e_{\text{в}} = 100 \text{ Па.}$$

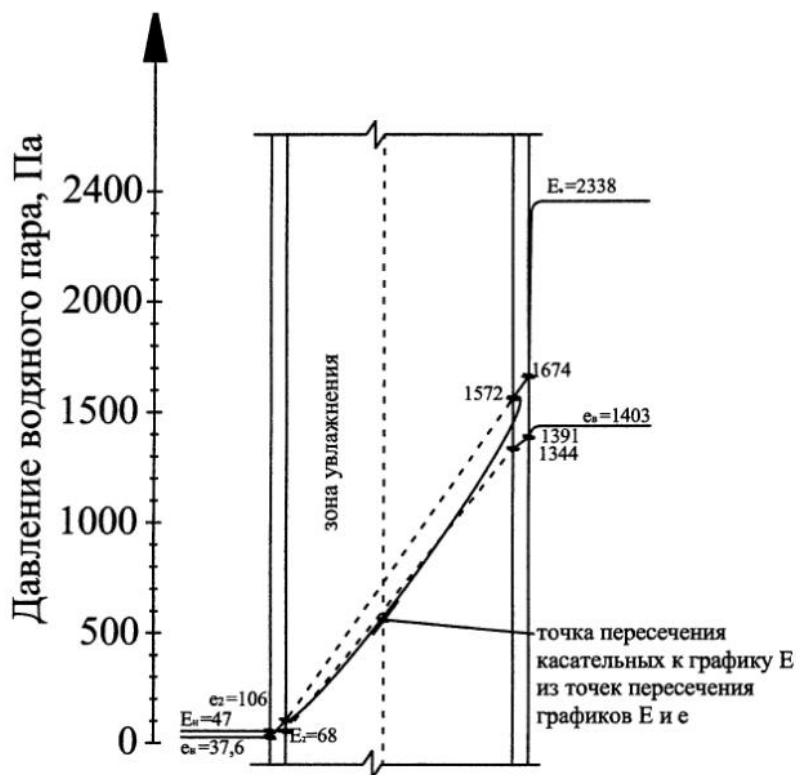
$$t_s = 20^\circ\text{C}; \tau_{\text{в}} = 15,8; \tau_1 = 15,1; \tau_2 = -14,9; \tau_3 = -16,5 = \tau_n; t_n = -18^\circ\text{C};$$

$$E_{\text{в}} = 2338; E_{\text{в.см.}} = 1797; E_1 = 1710; E_2 = 165; E_3 = 144 = E_{\text{н.см.}}; E_n = 125;$$

$$e_s = 1402,8; e_{\text{в.см.}} = 1391,8; e_1 = 1346,7; e_2 = 165,41 \approx E_2; e_3 = 103,3 = e_{\text{н.см.}}; e_n = 100.$$



**Рис. 4.16.** Распределение величин фактической и максимальной упругости водяного пара по сечению стены при средних значениях температуры и влажности за период влагонакопления ( $t_{\text{ср}} = -6,58^\circ; \varphi_{\text{ср}} = 82\%$ )



**Рис. 4.17.** Распределение величин фактической и максимальной упругости водяного пара по сечению стены при  $t_n = -28^\circ$ ;  $\varphi = 80\%$  (пример 1).

В однослойной конструкции особенно заметно нелинейное распределение парциального давления насыщенного водяного пара  $E$ . Для более точного построения кривой  $E$  следует разбить конструкцию по толщине на несколько слоев

Расчет показал, что выпадение конденсата в толще стены начинается при  $t_n = -18^\circ\text{C}$  в плоскости между кирпичной стеной и наружной штукатуркой. Эффективная толщина увлажняемых слоев конструкции и их сопротивление паропрооницанию настолько малы, что пар, не успевая конденсироваться, будет выдавливаться наружу. Если же окраска штукатурки будет выполнена красками, образующими паронепроницаемую пленку, то пар не будет выходить наружу. Давление водяного пара и расширение замерзающего конденсата будут отрывать штукатурный слой от кирпичной стены, и штукатурка будет отваливаться. Проверим конструкцию стены по условию недопустимости накопления влаги за годовой период эксплуатации и по условию недопустимости превышения влажности стены за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха.

По формуле (4.16)

$$R_{нк}^{mp} = \frac{(e_s - E) \cdot R_{нн}}{E - e_n}$$

За годовой период:

$e_s = 1402,8$  Па;  $\varphi_{н.ср.} = 72,9\%$ ;  $t_{н.ср.} = 4,1^\circ\text{C}$ ;  $E_{ср} = 819$  Па;  $e_{н.ср.} = 597,05$  Па;  $R_{оп} = 6,42$ .

$$R_{нн} = \frac{0,21}{0,11} + \frac{0,03}{0,098} + 0,016 = 2,23;$$

$$R_{\text{пвк}}^{\text{факт}} = 0,054 + \frac{0,02}{0,09} + \frac{0,43}{0,11} = 4,18.$$

В зимний период:  $t_{н1} = -8,9^\circ$ ;  $\varphi_{н1} = 83,3\%$ ;  $E_{н1} = 319,8$  Па.  
 $e_{н1} = (319,8 \cdot 83,3)/100 = 266,4$  Па;  $Z_1 = 3$  мес.

$$E_1 = e_e - \frac{(e_e - e_{н1})}{R_{\text{оп}}} \cdot R_{\text{пвк}} = 1402,8 - \frac{1402,8 - 266,4}{6,42} \cdot 4,18 = 662,9 \text{ Па}.$$

В весенне-осенний период:  $t_{н2} = +0,6^\circ$ ;  $\varphi_{н2} = 76\%$ ;  $E_{н2} = 639$  Па.  
 $e_{н2} = (639 \cdot 76)/100 = 485,64$  Па;  $Z_2 = 4$  мес.

$$E_2 = 1402,8 - \frac{1402,8 - 485,64}{6,42} \cdot 4,18 = 805,65 \text{ Па}.$$

В летний период:  $t_{н3} = +14,6^\circ$ ;  $\varphi_{н3} = 64,2\%$ ;  $E_{н3} = 1661$  Па.  
 $e_{н3} = (1661 \cdot 64,2)/100 = 1066,3$  Па;  $Z_3 = 5$  мес.

$$E_3 = 1402,8 - \frac{1402,8 - 1066,3}{6,42} \cdot 4,18 = 1183,71 \text{ Па}.$$

Согласно формуле (4.17.):

$$E = 1/12 (662,9 \cdot 3 + 805,65 \cdot 4 + 1183,71 \cdot 5) = 927,49 \text{ Па}.$$

$$R_{\text{нк}}^{\text{мп}} = \frac{(1402,8 - 927,49) \cdot 2,23}{927,49 - 597,05} = 3,21 < R_{\text{пвк}}^{\text{факт}} = 4,18.$$

Это значит, что за годовой период накопления влаги происходить не будет.

Нормы требуют также определить требуемое сопротивление паропрооницанию конструкции в пределах от ее внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации из условия ограничения влаги, скапливающейся в ней за период с отрицательными среднемесячными температурами. Согласно примечанию 3 к п.6.1 СНиП II-3-79\* плоскость возможной конденсации в однородной (однослойной) ограждающей конструкции располагается на расстоянии 2/3 толщины ограждающей конструкции от ее внутренней поверхности, а в многослойной конструкции совпадает с наружной поверхностью утеплителя.

$$R_{\text{нк}}^{\text{мп}} = \frac{0,0024 Z_0 (e_e - E_0)}{\gamma_\omega \delta_\omega \Delta W_{\text{ср}} + \eta},$$

где  $Z_0$  – продолжительность периода влагонакопления, сут, равная периоду с отрицательными среднемесячными температурами.  $Z_0 = 157$  сут.

$$e_e = 1402,8 \text{ Па};$$

$$\gamma_\omega = 1800 \text{ кг/м}^3;$$

$$\delta_\omega = 0,46 \text{ м}.$$

$\Delta W_{\text{ср}}$  определяется по табл. 4.4;  $\Delta W_{\text{ср}} = 1,5\% = 0,015$ .

Величина  $\eta$  определяется по формуле (4.19)

$$\eta = \frac{0,0024 Z_0 (E_0 - e_{но})}{R_{\text{н.н}}}.$$

Здесь  $e_{но}$  – средняя упругость водяного пара наружного воздуха, Па, за период влагонакопления  $e_{но} = 305$  Па,

$$R_{нк} = 4,18; R_{пн} = 2,23; R_{он} = 6,42.$$

$$E_0 = 1402,8 - \frac{1402,8 - 305}{6,42} \cdot 4,18 = 688,03 \text{ Па.}$$

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot 151(688,03 - 305)}{2,23} = 62,25$$

$$R_{нк}^{mp} = \frac{0,0024 \cdot 151(1402,8 - 688,03)}{1800 \cdot 0,46 \cdot 0,015 + 62,25} = 3,5 < R_{нк}^{\phi} = 4,18$$

Это значит, что за период влагонакопления влажность материала стены не превысит предельно допустимого значения приращения массового отношения влаги в материале.

*Пример 10.* Кирпичная трехслойная стена со слоем утеплителя. Место строительства: г. Москва. Здание жилое:  $t_e = +20^\circ$ ;  $\phi_e = 55\%$

Состав стены и характеристики применяемых материалов приведены на *рис. 4.18*.

Параметры внутреннего воздуха:  $t_e = +20^\circ$ ;  $\phi = 55\%$ .

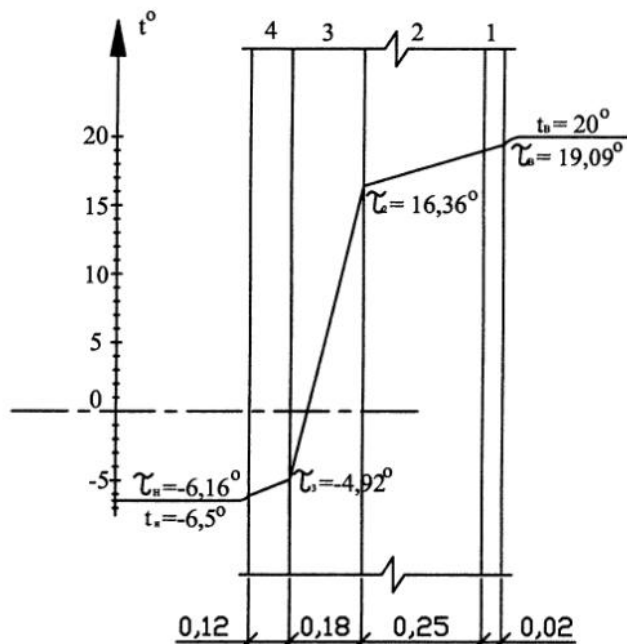
Климатические данные – те же, что и в примере 9.

Расчет возможности конденсации влаги в стене при  $t_n$  – средней за период влагонакопления (при отрицательных среднемесячных температурах).

1. Расчет требуемой по СНиП толщины утеплителя:  $t_{cp.om.} = -3,1^\circ$ ;  $Z_{om} = 214$  сут.

$$GCOП = (20 + 3,1) \cdot 214 = 4943,4; \quad R_0^{mp} = 3,13;$$

$x = 0,175$  м; Принимаем толщину плиты из мин. ваты  $\delta = 0,18$  м.



**Рис. 4.18.** Состав стены к примеру 10 и распределение температур в стене при  $t_n = -6,5^\circ$ , где

1 – внутр.ц/п штукатурка  $\lambda_1 = 0,93$ ;  $\mu_1 = 0,09$ ;

2 – кирпич глиняный обыкновенный  $\lambda_2 = 0,81$ ;  $\mu_2 = 0,11$ ;

3 – минеральная вата  $\lambda_3 = 0,07$ ;  $\mu_3 = 0,56$ ;

4 – кирпич глиняный обыкновенный  $\lambda_2 = 0,81$ ;  $\mu_2 = 0,11$ .

$$R_0 = 3,13 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,25}{0,81} + \frac{x}{0,07} + \frac{0,12}{0,81} + \frac{1}{23}.$$

$$R_0 = 3,13 = 0,11 + 0,02 + 0,31 + \frac{x}{0,07} + 0,15 + 0,04.$$

$$R_0 = 0,11 + 0,02 + 0,31 + 2,57 + 0,15 + 0,04 = 3,20.$$

Толщина стены составит:

$$\delta = 0,12 + 0,18 + 0,25 + 0,02 = 0,57 \text{ м}.$$

2. Расчет распределения температур по сечению стены при наружной температуре, равной средней температуре за период влагонакопления:  $t_{cp.} = -6,5^\circ$  (см. рис. 4.18).

$$t_e = +20^\circ; \quad \tau_e = 20 - \frac{20 + 6,5}{3,2} \cdot 0,11 = 19,09^\circ; \quad \tau_1 = 19,09 - \frac{20 + 6,5}{3,20} \cdot 0,02 = 18,92^\circ;$$

$$\tau_2 = 16,36^\circ; \quad \tau_3 = -4,92^\circ; \quad \tau_4 = -6,16^\circ = \tau_n; \quad t_n = -6,5^\circ.$$

3. По табл. 4.1 определяем соответствующие значения упругости насыщенного водяного пара при этих температурах.

$E_e = 2339 \text{ Па}; E_{e,cm} = 2211 \text{ Па}; E_1 = 2183 \text{ Па}; E_2 = 1859 \text{ Па}; E_3 = 474 \text{ Па}; E_4 = E_{n,cm} = 347 \text{ Па}; E_n = 329 \text{ Па}.$

4. Фактическую упругость водяного пара в точках сечения стены при средних значениях наружной температуры и влажности за период влагонакопления определяем по формуле (4.12).

При этом  $e_e = E_e \cdot \varphi_e / 100 = 2339 \cdot 55 / 100 = 1286,45 \text{ Па}.$

$e_n = E_{n,cm} \cdot \varphi_{n,cm} / 100 = 329 \cdot 82 / 100 = 269,78 \text{ Па}.$

$R_{e,n}$  по формуле (4.10) = 0,054.

$R_{n,n}$  по формуле (4.10) = 0,016.

$$R_{o,n} = 0,054 + \frac{0,02}{0,09} + \frac{0,25}{0,11} + \frac{0,18}{0,56} + \frac{0,12}{0,11} + 0,016 = 0,054 + 0,22 + 2,27 + 0,32 + 1,09 + 0,016 = 3,97$$

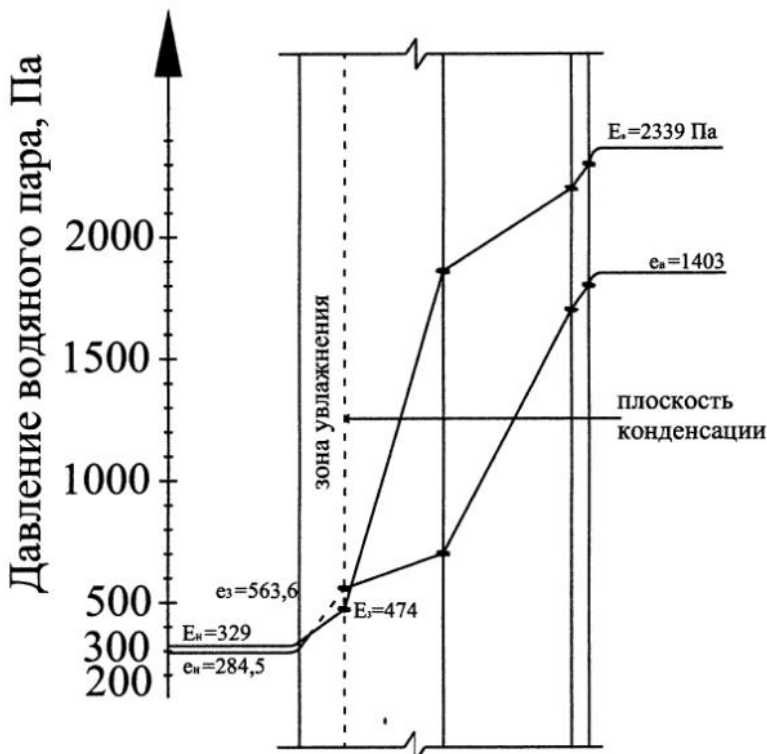
$$e_e = 1286,45 \text{ Па}; \quad e_{e,cm} = 1286,45 - \frac{1286,45 - 269,78}{3,97} \cdot 0,054 = 1272,62 \text{ Па}$$

$$e_1 = 1272,62 - \frac{1286,45 - 269,78}{3,97} \cdot 0,22 = 1216,28 \text{ Па}$$

$$e_2 = 634,96 \text{ Па}; \quad e_3 = 553,01 \text{ Па}; \quad e_4 = 273,88 \text{ Па} = e_{n,cm}; \quad e_n = 269,78 \text{ Па}$$

5. Распределение температур, а также плоскость и зона возможной конденсации при средних значениях наружной температуры и влажности за период влагонакопления в г. Москве в рассматриваемой стене показаны на рис. 4.18 и 4.19.

Как видно из рис. 4.19, плоскость конденсации расположена в утеплителе вблизи его наружной поверхности. Зона конденсации расположена во внешней части утеплителя и в облицовочном слое кирпича.



**Рис. 4.19.** Распределение величин фактической и максимальной упругости водяного пара в толще конструкции при средних значениях температуры и влажности за период влагонакопления в г. Москве ( $t_n = -6,5^\circ$ ;  $\varphi_{cp} = 82\%$ )

6. Количество влаги, конденсирующейся в конструкции за период влагонакопления  $Z = 151$  сут определяем по формуле (4.13)

$$G_k = \frac{e_s - e_k}{R_{н.к.}} \cdot Z_k = \frac{1286,45 - 480}{2,86} \cdot 3624 = 1021879 \text{ мг} / \text{м}^2 = 1021,88 \text{ г} / \text{м}^2$$

здесь

$e_s = 1286,45 \text{ Па}$ ,  $e_k \cong 480 \text{ Па}$ ,  $R_{н.к.} \cong 0,054 + 0,22 + 2,27 + 0,32 = 2,86$ ;  $Z_k = 151 \cdot 24 = 3624 \text{ час}$   
 Таким образом, за период влагонакопления в стене может конденсироваться около одного литра воды на  $1 \text{ м}^2$ . Если наружная поверхность паропроницаема, то не вся эта влага остается в стене. Большая ее часть, не успев сконденсироваться, будет выдавливаться из стены наружу новыми порциями поступающего изнутри водяного пара.

7. Количество влаги, которое может испариться из конструкции за период высыхания вовнутрь и наружу помещения, определяется по формуле (4.14)

$$G_u = \left( \frac{E_k - e_v}{R_{пк}} + \frac{E_k - e_n}{R_{оп} - R_{пк}} \right) \cdot Z_u$$

В качестве периода высыхания принимаем летний период (см. пример 9).

$t_{cp} = +14,6^\circ$ ;  $\varphi_{cp} = 64,2\%$ ;  $E_n = 1661 \text{ Па}$ ;  $e_n = 1661 \cdot 64,2 / 100 = 1066,36 \text{ Па}$ ;  $Z = 153 \text{ сут}$ ;  
 $Z_u = 153 \cdot 24 = 3672 \text{ час}$ ;  $E_k = E_n = 1661 \text{ Па}$ .

$$G_u = \left( \frac{1661 - 1272,82}{2,86} + \frac{1661 - 1066,36}{3,97 - 2,86} \right) \cdot 3672 = (135,73 + 540,58) \cdot 3672 \cong 2483 \text{ г} / \text{м}^2$$

Таким образом, за период высыхания из стены может испариться до 2,5 л. воды с  $1 \text{ м}^2$ , т.е. примерно в 2,5 раза больше, чем может сконденсироваться. Это означает, что

за летний период стена полностью освобождается от остатков конденсационной влаги. Проблем с накоплением влаги в конструкции не возникает.

8. Проверяем первое нормативное условие СНиП по требуемому сопротивлению паропроницанию из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации (4.16):

$$R_{нк}^{\phi} = 2,86 \geq \frac{(e_s - E)R_{нн}}{E - e_n};$$

$$e_s = 1286,45 \text{ Па}; R_{нн} = 3,97 - 2,86 = 1,11; t_{н.ср} = 3,72^{\circ}; E_{н.ср} = 797 \text{ Па}; \\ \varphi_{ср} = 83,3/3 + 76/4 + 64,2/5 = 59,6\% \text{ (см. пример 1)} \quad e_n = 797 \cdot 59,6/100 = 475 \text{ Па} \\ E = 1/12(E_1 \cdot Z_1 + E_2 \cdot Z_2 + E_3 \cdot Z_3)$$

В летний период  $E_3 = E_k = 1661 \text{ Па}; Z_3 = 5$ .

В весенне-осенний период  $t_s = +20^{\circ}; e_s = 1286,45 \text{ Па}$ .

Согласно данным примера 9:  $t_n = +0,6^{\circ}; e_n = 639 \text{ Па} \cdot 76/100 = 485,64 \text{ Па}$ .

$$E_2 = 1286,45 - \frac{1286,45 - 556,32}{3,97} \cdot 2,86 = 760,46 \text{ Па} \quad Z_2 = 4.$$

В зимний период:  $t_b = +20^{\circ}; e_b = 1286,45 \text{ Па}$ .

Согласно данным примера 9:  $t_n = -8,9^{\circ}; e_n = 286,5 \cdot 83,3/100 = 238,65 \text{ Па}$ .

$$E_1 = 1286,45 - \frac{1286,45 - 238,65}{3,97} \cdot 2,86 = 531,61 \text{ Па} \quad Z_1 = 3.$$

$$E = 1/12(536,61 \cdot 3 + 709,54 \cdot 4 + 1661 \cdot 5) = 1062,75 \text{ Па}.$$

$$R_{нк}^{\phi} = 2,86 > \frac{(1286,45 - 1062,75) \cdot 1,11}{1062,75 - 475} = 0,38.$$

Условие выполняется.

*Пример 11 (рис. 4.20).* Утеплитель расположен у внутренней поверхности стены.

1. Расчет необходимой толщины плит утеплителя:

$$R_0 = 3,13 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,04}{0,21} + \frac{x}{0,07} + \frac{0,64}{0,81} + \frac{0,04}{0,81} + \frac{1}{23} = 0,11 + 0,19 + \frac{x}{0,07} + 0,79 + 0,049 + 0,043;$$

$$x = 0,14 \text{ м}; \text{ принимаем плиту } \delta = 0,15 \text{ м}; \quad \frac{\delta}{\lambda} = 0,15/0,07 = 2,14.$$

$$R_0 = 0,11 + 0,19 + 2,14 + 0,79 + 0,037 + 0,043 = 3,31 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

2. Расчет распределения температур по сечению стены при наружной температуре, равной средней за период влагонакопления:  $t_{ср} = -6,5^{\circ} \text{C}$

$$t_s = 20^{\circ}; T_s = 20 - (20+6,5)/3,31 \cdot 0,11 = 19,12^{\circ}; T_1 = 19,12 - (20+6,5)/3,31 \cdot 0,19 = 17,60^{\circ}; \\ T_2 = 0,46^{\circ}; T_3 = -5,86^{\circ}; T_4 = -6,15^{\circ} = T_n; t_n = -6,5 \text{ (рис. 4.20)}$$

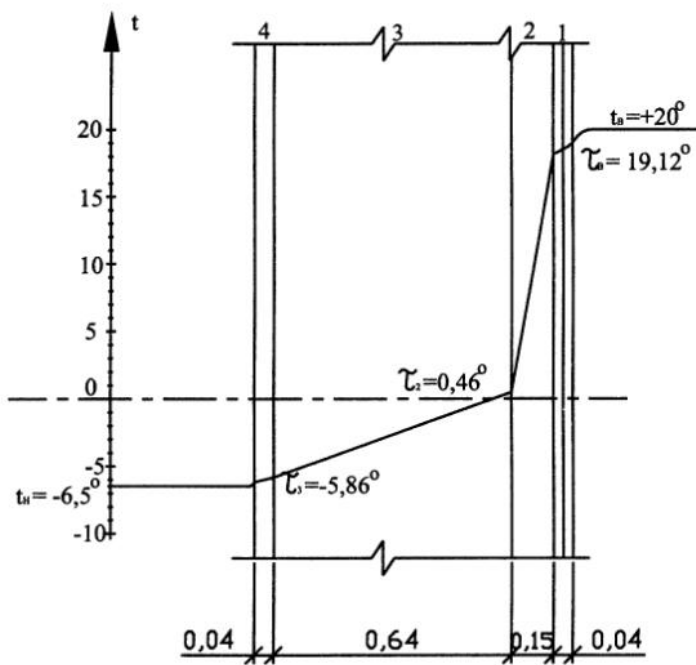
3. По табл. 4.1 определяем соответствующие упругости насыщенного пара при этих температурах.

$$E_s = 2339 \text{ Па}; E_{с.сз} = 2213; E_1 = 2012; E_2 = 631; E_3 = 346,6; E_4 = 332 = E_{н.ст.}; E_n = 329 \text{ Па}.$$

4. Фактическая упругость водяного пара определяется в соответствии с величинами сопротивления слоев паропроницанию:

$$R_{с.н.} = 0,054; R_{н.н.} = 0,016.$$





**Рис. 4.20.** Схема к расчету стены по данным примера 11 и распределение температур в стене при  $t_n = -6,5^\circ$ , где

- 1 – 2 листа ГКЛ  $\lambda_1 = 0,21$ ;  $\mu_1 = 0,075$ ;
- 2 – минеральная вата  $\lambda_2 = 0,07$ ;  $\mu_2 = 0,56$ ;
- 3 – кирпич глиняный обыкновенный  $\lambda_3 = 0,81$ ;  $\mu_3 = 0,11$ ;
- 4 – штукатурка  $\lambda_4 = 0,81$ ;  $\mu_4 = 0,12$ .

$$R_{on} = 0,054 + \frac{0,04}{0,075} + \frac{0,15}{0,56} + \frac{0,64}{0,11} + \frac{0,03}{0,12} + 0,016 = 0,054 + 0,533 + 0,268 + 5,818 + 0,25 + 0,016 = 6,94.$$

$$e_s = 1286,54 \text{ Па}; e_{в.ст} = 1286,45 - \frac{1286,45 - 269,78}{6,94} \cdot 0,054 = 1278,54 \text{ Па}.$$

$$e_1 = 1278,54 - 146,49 \cdot 0,533 = 1200,46; e_2 = 1161,20; e_3 = 308,92; e_4 = 272,12 = e_{н.ст};$$

$$e_n = 269,78 \text{ Па}.$$

5. Распределение температур, а также плоскость и зона конденсации в стене представлены на *рис. 4.21*.

Плоскость конденсации расположена, как и в примере 10, близко от наружной поверхности утеплителя. Но в этом примере эта плоскость расположена перед внутренней поверхностью кирпичной стены, т.е. практически вся стена находится в зоне конденсации и будет увлажняться.

Уже на этом этапе анализа можно сказать, что стена будет иметь очень большие проблемы, связанные с увлажнением. К ним относятся:

- отсыревание кирпича и его разрушение при замерзании и оттаивании;
- отсыревание и даже намокание утеплителя и уменьшение его теплопроводности;
- отсыревание обоев или внутренней окраски и их разрушение, а также разрушение гипсокартонной штукатурки.

6. Количество влаги, которое конденсируется в конструкции за период влагонакопления:

$$G_k = \frac{1286,45 - 631}{0,054 + 0,533 + 0,268} \cdot 3624 = 2778188,07 \frac{\text{мг}}{\text{м}^2} \approx 2778 \frac{\text{г}}{\text{м}^2}.$$

То есть за период конденсации в  $1 \text{ м}^2$  конструкции сконденсируется  $2,76 \text{ л}$  воды, и практически вся она будет скапливаться между кирпичной стеной и утеплителем.

7. Количество влаги, которое может испариться из конструкции за период высыхания вовнутрь и наружу:

$$e_s = 1272,82 \text{ Па}; e_n = 1066,36 \text{ Па}; E_k = E_n = 1661 \text{ Па}.$$

$$Z_u = 3672 \text{ час}. R_{nk} = 0,054 + 0,533 + 0,268 = 0,855; R_{nn} = 6,94 - 0,855 = 6,085.$$

$$G_u = \left( \frac{1661 - 1272,82}{0,855} + \frac{1661 - 1066,36}{6,085} \right) \cdot 3672 = 1667124,72 + 358836 = 1667 \text{ г} / \text{м}^2 + 359 \text{ г} / \text{м}^2 = 2026 \text{ г} / \text{м}^2.$$

То есть за летний период из конструкции испарится  $2,03 \text{ л}$  воды с  $1 \text{ м}^2$ , причем вовнутрь испарится в 4 раза больше влаги, чем наружу. За год в конструкции с учетом испарения будет скапливаться  $2,78 - 2,03 = 0,75 \text{ л} / \text{м}^2$  воды.

За 5 лет стена промокнет. В ней на  $1 \text{ м}^2$  скопилось бы,  $3,65 \text{ л}$ . воды, однако разрушение стены наступит гораздо раньше. Для того чтобы предотвратить массивованное попадание водяного пара, необходимо между двумя листами гипсокартона проложить эффективный пароизоляционный материал, например полиэтиленовую пленку.

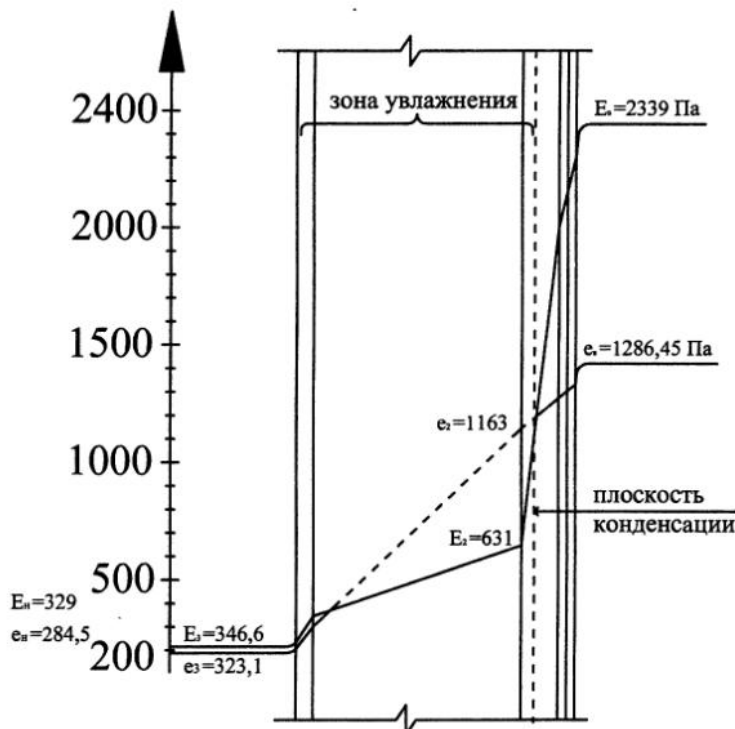
В этом случае сопротивление конструкции паропрооницанию будет равно:

$$R_{o.n.} = 0,054 + 0,533 + 7,3 + 0,268 + 5,818 + 0,25 + 0,016 = 14,24.$$

$$R_{nk} = 0,054 + 0,533 + 7,3 + 0,268 = 8,155.$$

$$R_{nn} = 14,24 - 8,155 = 6,085.$$

$$G_k = \frac{1286,45 - 631}{8,155} \cdot 3624 = 291275,39 \text{ мг} / \text{м}^2 \approx 291 \text{ г} / \text{м}^2.$$



**Рис. 4.21.** Распределение величин фактической и максимальной упругости водяного пара в толще конструкции (пример 11) при значениях наружной температуры и влажности воздуха, средних за период влагонакопления

$$G_u = \left( \frac{1661 - 1272,82}{8,155} + \frac{1661 - 1066,36}{6,085} \right) \cdot 3672$$

$$G_u = 174787,2 \text{ мг/м}^2 + 358836,17 \text{ мг/м}^2 \cong 174 \text{ г/м}^2 + 358,8 \text{ г/м}^2 \cong 533,6 \text{ г/м}^2.$$

Таким образом, количество влаги, которое может испариться за лето, намного больше, чем то, которое конденсируется в конструкции за период увлажнения и влагонакопления. Конструкция останется сухой см. *рис. 4.21*.

Однако все остальные теплотехнические проблемы, связанные с резким снижением тепловой инерции и с мостиками холода в местах опирания конструкции перекрытий на наружные стены, в такой конструкции останутся.

Приведенные примеры показывают, что наилучшими по температурно-влажностному режиму являются однородные ограждающие конструкции. В многослойных конструкциях решающим является расположение слоев.

Расположение массивных плотных слоев с наружной стороны конструкции приводит к ее намоканию и разрушению. Устройство пароизоляции с внутренней стороны утеплителя может сохранить конструкцию сухой, но не ликвидирует других ее недостатков (понижения тепловой инерции и мостиков холода).

### **Список литературы к разделу «Строительная теплотехника»**

1. В. Блази. Справочник проектировщика. Строительная физика (2-е дополненное издание). Перевод с немецкого под редакцией и с дополнением А.К. Соловьева. Техносфера. Москва, 2005.
2. В.В. Холщевников, А.В. Луков. Климат местности и микроклимат помещений. Издательство АСВ. Москва, 2001.
3. В.Н. Куприянов. Строительная климатология и физика среды. Издательство Каз. ГАСУ. Казань, 2007.
4. В.М. Ильинский. Строительная теплофизика. Москва. Высшая школа, 1974.
5. В.А. Обьедков, А.К. Соловьев, А.Н. Кондратенков, А.В. Захаров, М.С. Терзибашьянц. Лабораторный практикум по строительной физике. Москва. Высшая школа, 1979.
6. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. Москва, 2004.
7. СП 23-101-2000. Проектирование тепловой защиты зданий (свод правил по проектированию и строительству). Москва, 2004.

# СВЕТ В АРХИТЕКТУРЕ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ

## 5. ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ И ИНСОЛЯЦИЯ

Естественное освещение и инсоляция рассматриваются разделом строительной физики, который называется «Строительная светотехника». Этот раздел включает в себя следующие вопросы:

**Проектирование систем естественного освещения зданий.** Это особенно важно при проектировании промышленных зданий, где светопроемы имеют очень большие площади.

**Проектирование городской застройки.** Проверка соблюдения норм естественного освещения и инсоляции при затенении жилых помещений зданиями окружающей застройки. Эта задача является особенно важной в современных условиях, когда только соблюдение норм ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ и ИНСОЛЯЦИИ позволяет избежать недопустимого переуплотнения застройки современных городов.

**Проектирование солнцезащиты помещений.** Таким образом, «Строительная светотехника» охватывает в основном технические вопросы, с которыми связан проектировщик (инженер и архитектор) в процессе проектирования, хотя они тесным образом связаны с архитектурно-художественными задачами, решаемыми при создании проектов зданий и застройки.

### 5.1. Общие положения

Освещение помещений бывает ЕСТЕСТВЕННОЕ, ИСКУССТВЕННОЕ и СОВМЕЩЕННОЕ. Естественными источниками света являются солнце и рассеянный (диффузный) свет небосвода. Искусственными источниками света являются электрические лампы (накаливания, люминесцентные, ртутные, натриевые, ксеноновые, галогенные и др.). При совмещенном освещении помещение одновременно освещается естественным и искусственным светом в определенных соотношениях.

Основным требованием к естественному освещению в помещении является создание наилучшего освещения рабочего места или объекта, который воспринимается человеком при наблюдении. При этом имеют значение не только условия освещения в месте расположения объекта наблюдения, но и так называемое «поле адаптации» (окружающая световая среда). Требуемый световой режим достигается путем учета СВЕТОВОГО КЛИМАТА местности, где предполагается строительство проектируемого здания, правильного выбора размеров, формы и цветовой отделки помещения, расположения и размеров светопроемов (окон и фонарей верхнего света), правильного размещения и выбора источников искусственного света.

Естественное освещение имеет большое значение для человека, улучшения его психофизического состояния и повышения производительности труда. В

30-е годы XX в. США появились люминесцентные лампы, коренным образом изменившие технику искусственного освещения. Появилась возможность обеспечивать на рабочих местах очень высокие уровни освещенности. Электроэнергия была еще дешевой. Поэтому в США началось строительство производственных и общественных зданий, в том числе и школ, полностью лишенных светопроемов. Развитие техники кондиционирования воздуха позволило обеспечить в таких помещениях комфортный температурно-воздушный режим. Такая же тенденция начала развиваться в СССР после Великой Отечественной войны. Однако люди при длительной работе в таких зданиях снижали производительность труда, теряли чувство времени, связь с внешней средой.

Попытки увеличить объем внутренней информации (для предотвращения боязни замкнутого пространства – клаустрофобии) путем устройства фальшивых окон со вставленными в них огромными диапозитивами с изображением горных, морских или городских пейзажей не дали желаемого результата. В настоящее время во всем мире признана гигиеническая и энергетическая роль естественного света. Все большее понимание находит также и экологическое значение естественного света.

Во всем мире там, где это возможно по технологическим соображениям, в зданиях применяют системы естественного освещения, которые с развитием технических возможностей позволяют избежать больших теплопотерь и теплопоступлений, защитить помещения от наружных шумов и сохранить все преимущества естественного света для человека.

Механизмы фотозергетического действия естественного и искусственного света на человеческий организм еще не полностью изучены, но уже сейчас можно сказать, что естественный свет помимо формирования зрительного изображения имеет важное, чисто биологическое значение для здоровья и самочувствия человека. Естественный свет и его ритм в течение суток и в годовом цикле играет доминирующую роль в контроле биологических часов, а также суточных и сезонных физиологических и психологических ритмов человека. Свет оказывает непосредственное стимулирующее воздействие на настроение. В первую очередь это относится к естественному свету.

Опыт работы в помещениях без световых проемов показал, что зрительное отключение человека от внешней среды угнетающе сказывается на его психике и уменьшает производительность труда. Специальными исследованиями установлено, что для обеспечения полноценной световой среды в помещениях с постоянным пребыванием людей в них должно устраиваться естественное освещение. Несмотря на то, что решение определенных зрительных задач может быть достигнуто с помощью одного искусственного освещения, однако общая эффективность освещения дополнительно определяется воздействием света на психику человека и тонус его нервной системы, поэтому роль естественного света в помещении очень велика.

Наличие окон в помещении позволяет человеку получать информацию из внешней среды, позволяет избежать ощущения замкнутого пространства. Од-

нако в больших помещениях, таких как производственные цехи, выставочные залы и т.п., внутренней информации вполне достаточно, чтобы избежать клаустрофобии. Поэтому следует говорить о минимально необходимой информации из внешней среды, которая нужна человеку.

Опросы рабочих показывают, что в таких помещениях для человека достаточно знание состояния погоды и времени дня для того, чтобы не чувствовать себя оторванным от внешней среды и не потерять чувство времени и психологического комфорта, связанного с этими факторами. Такая информация может быть получена даже с помощью систем верхнего естественного освещения.

К таким же выводам пришли специалисты в области инженерной психологии, исследовавшие условия труда в так называемых ландшафтных бюро. Эти помещения имеют свободную планировку при глубине более 12 м и небольшой высоте (около 3 м.). Возможность бросить хотя бы беглый взгляд через окно и получить информацию о времени и погоде обеспечивает положительную оценку световой среды в помещении, хотя естественная освещенность в глубине помещения совершенно недостаточна и приходится постоянно пользоваться искусственным освещением.

Большое психофизиологическое влияние на человека оказывает динамика естественного света как в дневном и годовом цикле, так и в течение коротких промежутков времени. Смена солнечного и диффузного освещения в зависимости от состояния облачности, смена спектрального состава естественного света, положительное воздействие непрерывного спектра естественного света оказывают благоприятное воздействие на психологическое и физиологическое состояние человека, снижают наличие мелатонина (гормон сна) при повышении освещенности и увеличивают уровень кортизола, способствующего активности и бодрости. Это же подтверждают исследования влияния динамики освещенности на производительность зрительной работы. Результаты этих исследований также подтвердили благоприятное влияние естественного света на производительность труда.

Энергетический кризис в странах Запада и повсеместный рост цен на электроэнергию и энергоносители заставили понять роль естественного света как важнейшего источника энергетических ресурсов. Рациональное использование естественного света в зданиях в настоящее время рассматривается как важный фактор экономии электроэнергии. При этом необходим комплексный подход к оптимизации проектирования светопроемов. Современная техника способна создавать эффективные конструкции светопроемов с повышенным сопротивлением теплопередаче, с хорошими теплоотражающими свойствами, с хорошей звукоизоляцией. Несмотря на это, они остаются основным источником теплопотерь и теплопоступлений в здании. Поэтому их типы, форму и размеры следует выбирать с учетом как экономии энергии на освещение, так и с учетом затрат энергии на восполнение теплопотерь зимой и ликвидацию теплопоступлений через светопроемы летом, с учетом строительного решения здания и климата местности.

В последние годы наиболее актуальной становится экологическая роль естественного света. В большинстве стран мира электростанции вырабатывают электроэнергию, используя жидкое и твердое топливо. Электростанции, работающие на газе, являются более чистыми с экологической точки зрения. Наиболее чистыми по выбросам являются атомные и гидроэлектрические станции. Но и они имеют свои опасности и вредные воздействия на окружающую среду. Наиболее экологичным является использование солнечной энергии (солнечные фотоэлектрические батареи). Но этот способ еще не достаточно разработан и является дорогим для широкого использования для осветительных целей. Наиболее загрязняющие окружающую среду выбросами вредных газов электростанции, работающие на жидком и твердом топливе, выделяют от 800 до 1000 г двуокиси углерода на 1 кВт·ч произведенной электроэнергии, до 10 г/кВт·ч двуокиси серы и около 3,5 г/кВт·ч двуокиси азота. Нетрудно подсчитать, как велико значение экономии электроэнергии для снижения загрязнения окружающей среды.

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

Световые проемы – один из основных элементов, определяющих архитектурное решение здания и его интерьеров. От размеров, формы и размещения светопроемов зависит обеспечение оптимального светового режима в здании. Правильное решение естественного освещения имеет большое технико-экономическое значение, поскольку заполнение светопроемов, конструкции фонарей и остекления атриумов имеет относительно высокую стоимость. Кроме того, с ними связаны более высокие эксплуатационные расходы на очистку светопроемов, восполнение теплопотерь через светопроемы зимой и ликвидацию избыточных теплопоступлений летом.

В настоящее время разработаны конструкции светопроемов, имеющие очень высокое сопротивление теплопередаче. Но, несмотря на это, их сопротивление теплопередаче (даже в случае вакуумных стеклопакетов) не менее чем в 3 раза ниже, чем требуемое по нормам сопротивление теплопередаче глухих стен и покрытий. Поэтому формальное применение сплошных остекленных поверхностей фасадов в качестве ограждающих конструкций, часто используемых только по условиям архитектурной композиции, без учета требуемого светового режима, дополнительных теплопотерь и теплопоступлений, приводит не только к увеличению стоимости здания и значительно увеличивает эксплуатационные расходы, но и часто ухудшает температурно-воздушную среду помещений, в основном за счет их перегрева летом.

Требования, предъявляемые к естественному освещению помещений:

1. Равномерность.
2. Обеспечение требуемой освещенности рабочих поверхностей.
3. Устранение направленного прямого и отраженного солнечного света, слепящего работающих.

4. Обеспечение необходимой яркости окружающего пространства за счет достаточного уровня освещенности и цветовой отделки поверхностей интерьера.

## 5.2. Основные понятия, величины, единицы

Всякое тело, обладающее температурой выше абсолютного нуля, излучает в окружающее пространство энергию, называемую лучистой энергией. Примером источника такого излучения является солнце, которое посылает на землю такое количество лучистой энергии, которое обеспечивает жизнь на Земле.

В настоящее время равноправно сосуществуют две теории, объясняющие явление света: корпускулярная, согласно которой свет есть поток мельчайших частиц – корпускул или фотонов, а также волновая, согласно которой свет – это электромагнитные колебания, имеющие определенный диапазон длин волн. Обе эти теории подтверждаются экспериментами, а потому они обе верны.

Строительная светотехника рассматривает излучение в диапазоне длин волн от 100 нанометров (нм) до 780 нм. Этот диапазон представлен на схеме рис.5.1.

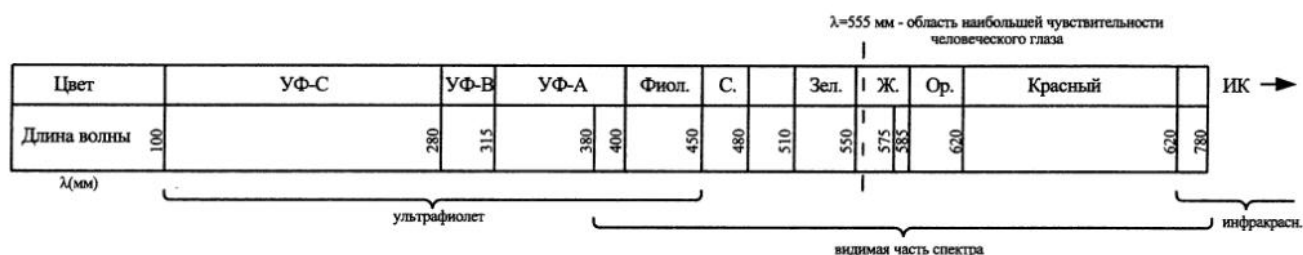


Рис. 5.1. Схема диапазонов излучений, рассматриваемых в строительной светотехнике

Применяемые в строительной светотехнике световые величины и единицы приведены в табл. 5.1, из которой следует, что освещенность поверхности ( $E$ ) представляет собой отношение падающего светового потока ( $\Phi$ ) к площади освещаемой поверхности ( $S$ ). Однако характеризовать освещенность в какой-либо точке помещения в люксах, это значит, что необходимо задаваться фиксированной величиной одновременной наружной освещенности, так как она постоянно меняется в зависимости от времени дня и состояния облачности. На практике это невозможно. Поэтому в строительной светотехнике используется относительная величина, называемая КОЭФФИЦИЕНТОМ ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ, сокращенно КЕО.

Коэффициент естественной освещенности  $e_m$  есть отношение естественной освещенности в лк ( $E_v$ ), создаваемой в какой-либо точке М заданной плоскости внутри помещения светом неба (непосредственно или после отражений), к одновременной наружной горизонтальной освещенности ( $E_n$ ), создаваемой светом полностью открытого небосвода:



## Световые величины и единицы

Название, обозначение и расчетная формула	Единицы в системе СИ	
	Наименование	Обозначение
Сила света $J = \frac{\Phi}{\omega}$	кандела	кд
	Кандела – сила света, испускаемого с площади $1/600000 \text{ м}^2$ сечения полного излучателя в перпендикулярном к этому сечению направлении, при температуре излучателя, равной температуре затвердения платины при давлении $101325 \text{ Па}$	
Световой поток $\Phi = J\omega$	люмен	лм
	Люмен – световой поток, испускаемый точечным источником в телесном угле $1 \text{ ср}$ при силе света $1 \text{ кд}$	
Освещенность $E = \frac{\Phi}{S}$	люкс	лк
	Люкс – освещенность поверхности площадью $1 \text{ м}^2$ при падающем на нее световом потоке $1 \text{ лм}$ .	
Яркость $L_\alpha = \frac{J_\alpha}{S \cos \alpha}$ $L = \frac{E\rho}{\pi} = \frac{M}{\pi}$ (для диффузно излучающей поверхности)	кандела на квадратный метр	кд/ $\text{м}^2$
	Кандела на квадратный метр – яркость (средняя) светящейся поверхности площадью $1 \text{ м}^2$ при силе света, излучаемой этой поверхностью в заданном направлении, равной $1 \text{ кд}$	
Светимость $M = \pi L = \frac{\Phi}{S} = E\rho$	люмен на квадратный метр	лм/ $\text{м}^2$
	Люмен на квадратный метр – светимость поверхности площадью $1 \text{ м}^2$ , испускающей световой поток $1 \text{ лм}$	
Телесный угол $\omega = \frac{S}{r^2}$	стерадиан	ср
	Стерадиан – телесный угол с вершиной в центре сферы, вырезающий на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, по длине равной радиусу сферы	

$$e_m = \frac{E_B}{E_H} \cdot 100\% . \quad (5.1)$$

Чтобы определить абсолютное значение освещенности внутри помещения, можно воспользоваться формулой

$$E_B = \frac{E_H \cdot e_m}{100}, \text{ лк} . \quad (5.2)$$

Значение  $E_H$  можно получить либо непосредственно измерением с помощью специального прибора люксметра, либо по данным многолетних измерений на специальных метеорологических станциях.

### 5.3. Методы расчета КЕО

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

**ОСНОВНОЕ РАСЧЕТНОЕ ДОПУЩЕНИЕ** – пасмурный, т.е. полностью покрытый равномерным слоем облаков, небосвод (при 10-балльной облачности) с распределением яркости, стандартизованным Международной комиссией по освещению (МКО) на основе исследований американских классиков светотехники Р.Муна и Д.Спенсер.

Согласно этим исследованиям, яркость пасмурного неба изменяется только по угловой высоте точки на небосводе. На одной и той же угловой высоте яркость всех точек небосвода постоянна. Распределение яркости по угловой высоте точек небосвода выражено формулой

$$L_{\theta} = L_z(1 + 2\sin\theta)/3, \quad (5.3)$$

где  $L_{\theta}$  и  $L_z$  соответственно яркости неба на угловой высоте  $\theta$  и в зените (рис. 5.2).

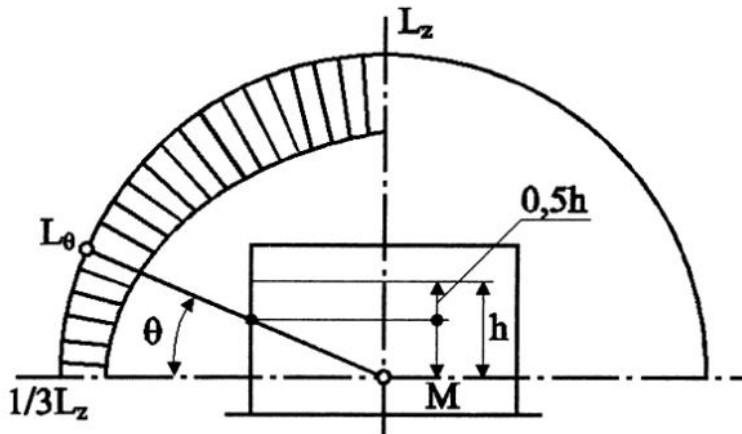


Рис. 5.2

На рис.5.3 представлена схема прохождения света в расчетную точку помещения (М) на столе в помещении с боковыми светопроемами (окнами). Основная часть светового потока приходит в расчетную точку М от прямого света неба. Эта часть определяется прямой составляющей КЕО ( $e_n$ ). При наличии противостоящих зданий другая часть светового потока, приходящего в точку М, является отраженной от этих зданий. Она определяется составляющей КЕО от противостоящих зданий ( $e_{зд}$ ).

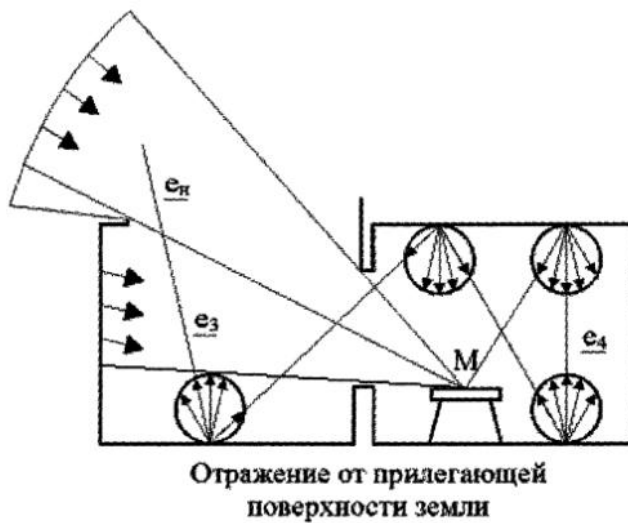


Рис. 5.3. Схема прохождения света в помещении с боковым светопроемом

Часть света отражается от подстилающей поверхности земли. В некоторых случаях вместо земли может быть галерея, балкон или лоджия. Эта часть попадает на потолок и верхнюю часть стен помещения. Оттуда эта часть естественного света отражается в расчетную точку и образует составляющую КЕО от подстилающей поверхности ( $e_n$ ). Весь световой поток, падающий на поверхность окна, проходит внутрь помещения с некоторым ослаблением, обусловленным светопропусканием остекления, затеняющим действием переплетов, балконов, лоджий, солнцезащитных устройств (если они существуют). Для фонарей верхнего естественного света падающий световой поток ослабляется также затеняющим действием несущих конструкций покрытия (ферм, балок), а также коробов вентиляции и других коммуникаций. Кроме того, падающий световой поток ослабляется загрязнением остекления, зависящим не только от загрязненности окружающего и внутреннего воздуха, но и от угла наклона остекления к вертикали.

Прошедший световой поток попадает на пол, нижнюю часть стен, отражается от них на потолок, верхнюю часть стен и оттуда – на рабочую поверхность. Эта часть светового потока образует внутреннюю отраженную составляющую КЕО, которая при светлой отделке помещения может значительно увеличить суммарную величину КЕО ( $e_o$ ):

$$e = e_n + e_{зд} + e_{п} + e_o. \quad (5.4)$$

На рис. 5.4 представлена схема прохождения света в помещении через фонарь системы верхнего естественного освещения. Здесь в расчетную точку приходит прямой свет от небосвода (составляющая КЕО -  $e_n$ ), свет, отраженный от кровли на внутреннюю поверхность фонаря и оттуда – на рабочую поверхность (составляющая КЕО -  $e_n$ ), а также свет, отраженный от пола и нижних частей стен на потолок и на верхнюю часть стен и оттуда на рабочую поверхность (внутренняя отраженная составляющая КЕО -  $e_o$ ). Суммарная величина КЕО определяется по формуле

$$e = e_n + e_{\Pi} + e_o. \quad (5.5)$$

Формула, учитывающая все эти составляющие при расчете КЕО в помещениях с боковыми светопроемами, предложена действующими российскими нормами СНиП «Естественное и искусственное освещение».

$$e_{\delta} = (\varepsilon_{\delta} \cdot q + \varepsilon_{3\delta} \cdot b_{\phi} \cdot \kappa_{3\delta}) \cdot r_o \cdot \tau_o / \kappa_3. \quad (5.6)$$

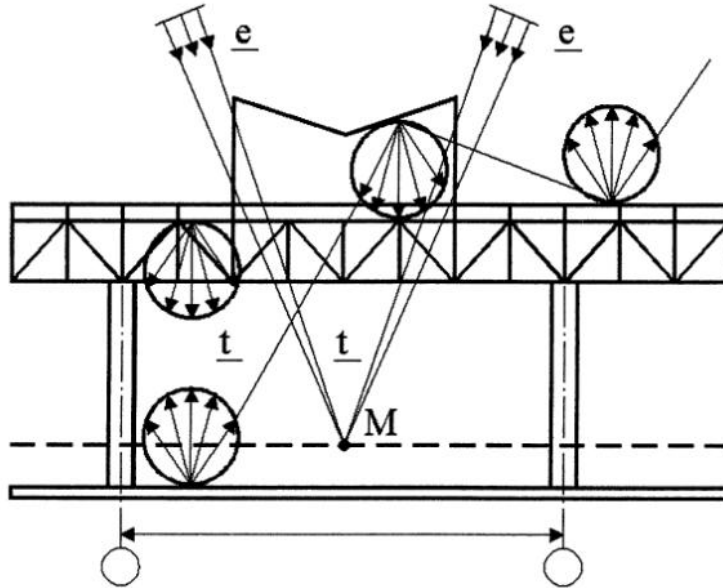


Рис. 5.4. Схема прохождения света в помещении с верхним светопроемом

Здесь,  $\varepsilon_{\delta} q = e_n$ , где  $\varepsilon_{\delta}$  - геометрический КЕО, учитывающий свет неба;  $q$  - коэффициент, учитывающий неравномерную яркость неба согласно основному допущению (5.3):

$$q = \frac{L_{\theta}}{L_Z} \cdot \frac{E_{н.равн.}}{E_{н.МКО}},$$

где  $L_{\theta}$  - яркость неба под углом  $\theta$  к горизонту;  $L_Z$  - яркость неба в зените;  $E_{н.равн.}$  - освещенность под открытым небом с равномерной яркостью  $L_Z$ ;  $E_{н.МКО}$  - освещенность под открытым небом с распределением яркости, нормируемым Международной комиссией по освещению МКО;  $E_{н.равн.} = L_Z \cdot \pi$ ;  $E_{н.МКО} = 7/9 \cdot L_Z \cdot \pi$ .

$$L_{\theta} = L_Z \frac{1 + 2 \sin \theta}{3} \quad (\text{по закону Муна и Спенсер});$$

$$q = \frac{1 + 2 \sin \theta}{3} \cdot \frac{L_Z}{L_Z} \cdot \frac{L_Z \cdot \pi}{L_Z \cdot \pi} \cdot \frac{9}{7};$$

$$q = (1 + 2 \sin \theta) \cdot 3/7; \quad (5.7)$$

$$\varepsilon_{3\delta} \cdot b_{\phi} \cdot \kappa_{3\delta} = e_{3\delta}, \quad (5.8)$$

где  $\varepsilon_{3\delta}$  - геометрический КЕО, учитывающий свет, отраженный от противостоящих зданий;  $b_{\phi}$  - коэффициент, учитывающий яркость фасада противостоящего здания.

Физическая сущность этого коэффициента аналогична коэффициенту  $q$ :

$$b_{\phi} = \frac{L_{з\partial}}{L_Z} \cdot \frac{E_{н.равн.}}{E_{н.МКО}}$$

Он зависит от геометрических параметров противостоящей застройки и ее расстояния до расчетной точки в помещении, а также от окраски фасадов противостоящей застройки и процента их площади, занимаемой окнами. Определение величины  $b_{\phi}$  производится по табл. прил. 5.1. Значение средневзвешенного коэффициента отражения фасада противостоящего здания с учетом окон определяется по формуле

$$\rho_{\phi} = (\rho_m \cdot S_m + \rho_{ок} \cdot S_{ок}) / (S_m + S_{ок})$$

Здесь  $\rho_m$  и  $\rho_{ок}$  - коэффициент отражения материала отделки фасада, см. табл. прил. 5.2 и коэффициент отражения остекленных проемов фасада противостоящего здания с учетом переплетов согласно принимается равным 0,2.

$S_m$  и  $S_{ок}$  - площадь фасада без окон и площадь окон соответственно.

$K_{з\partial}$  - коэффициент, учитывающий перераспределение отраженного света в помещении при наличии противостоящих зданий. Это связано с тем, что свет, отраженный от противостоящих зданий, может попадать не только на пол и нижнюю часть стен, но и на верхнюю часть стен и даже на потолок. Коэффициент  $K_{з\partial}$  также зависит от геометрических параметров противостоящих зданий и расчетного помещения, средневзвешенного коэффициента отражения противостоящих зданий и их расстояния до расчетной точки. Величины  $K_{з\partial.o.}$  определяются по табл. прил. 5.3 в зависимости от величин  $Z_1$  и  $Z_2$ . Расчетные схемы к определению  $b_{\phi}$  и  $K_{з\partial.o.}$  приведены на рис. 5.4. Если расчетная точка полностью затенена противостоящим зданием, то  $K_{з\partial.o.} = K_{з\partial}$ . Если затенение противостоящим зданием только частичное, то

$$k_{з\partial} = 1 + (k_{з\partial.o} - 1) \frac{\varepsilon_{з\partial}}{\varepsilon_{\delta} + \varepsilon_{з\partial}}, \quad (5.9)$$

$r_o$  - коэффициент, учитывающий составляющие  $e_o + e_n$ , т.е. внутреннее отражение и, через него - отражение от подстилающей поверхности (земли или других поверхностей ниже светопроема), табл. прил. 5.4 и 5.5;  $\tau_o$  - общий коэффициент светопропускания проема. Его определение производится по табл. 5.7. Величина  $\tau_o$  зависит от следующих факторов:

1. Вид и количество слоев остекления ( $\tau_1$ ).
2. Вид переплета ( $\tau_2$ ).
3. Наличие и вид несущих конструкций покрытия (только для систем верхнего освещения) ( $\tau_3$ ).
4. Наличие и глубина лоджий, балконов, наличие и вид солнцезащитных устройств ( $\tau_4$ ).

$$\tau_o = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4. \quad (5.10)$$

$K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение остекления, зависит от состояния внутренней и внешней воздушной среды в здании и от нормативного количества чисток остекления в год. (табл. прил. 5.7).

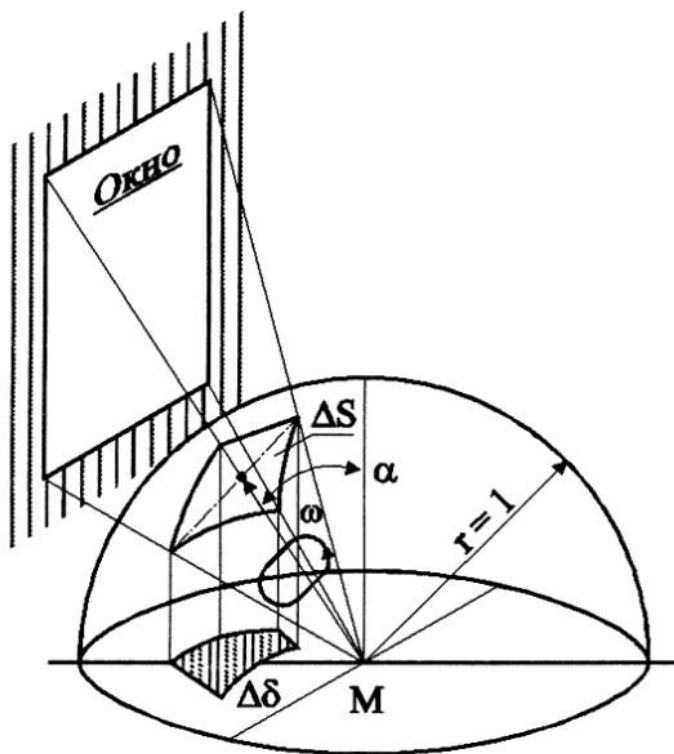


Рис. 5.5. Схема к закону проекции телесного угла.

Величины  $\varepsilon_\delta$  и  $\varepsilon_{3d}$  называются геометрическими КЕО. Они характеризуют величину телесного угла, под которым виден участок неба, или противостоящего здания из расчетной точки: (см. рис.5.5.).

Расчет геометрического КЕО основан на двух законах строительной светотехники:

### 1. Закон проекции телесного угла

Освещенность  $E_m$  в какой-либо точке поверхности помещения (М), создаваемая равнояркой поверхностью небосвода, прямо пропорциональна яркости неба и площади проекции телесного угла, в котором из данной точки виден участок неба (см. рис.5.5).

$$E_m = L \cdot \sigma . \quad (5.11)$$

Следствие 1. Понятие о геометрическом КЕО.

Освещенность под открытым небом по закону проекции телесного угла равна:  $E_n = L \cdot \pi R^2$ .

Здесь  $\pi R^2$  - проекция полусферы на горизонтальную плоскость. При  $R = 1$   $E_n = L \cdot \pi$

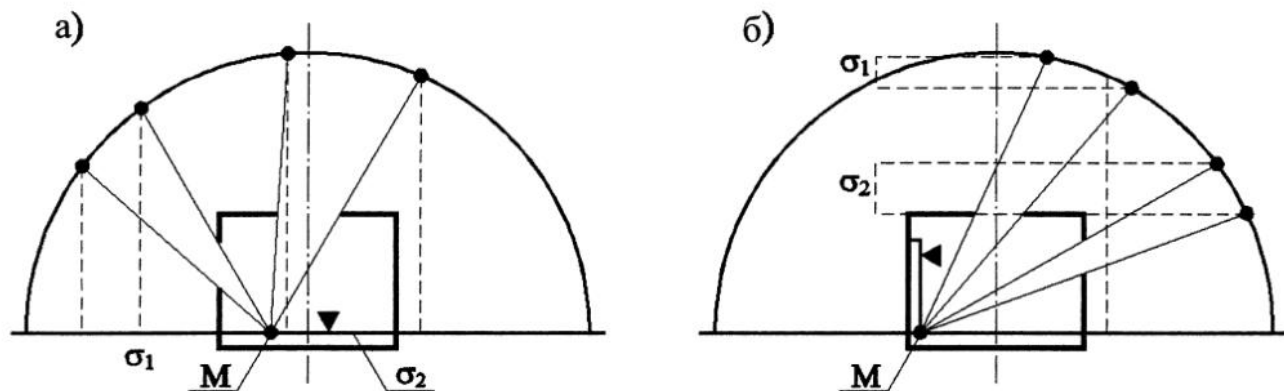
Согласно определению КЕО (5.2):

$$\varepsilon = (E_M / E_H) \cdot 100\% = (\sigma / \pi) \cdot 100\% . \quad (5.12)$$

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

Следствие 2. Понятие о светоактивности проема.

На *рис. 5.6* показано помещение с двумя одинаковыми по площади светопроемами, расположенными на одном расстоянии от расчетной точки  $M$ , но на различной высоте и в различно расположенных ограждающих конструкциях по отношению к расчетной поверхности. Как видно из *рис.5.6*,  $\sigma_2 > \sigma_1$ , следовательно, освещенность, создаваемая светопроемом в потолке помещения на горизонтальной поверхности, гораздо больше, чем освещенность от окна в стене.



**Рис. 5.6.** Схемы к понятию об относительной световой активности светопроемов с помощью закона проекции телесного угла при расположении точки на горизонтальной (а) и в вертикальной (б) плоскости

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

## 2. Закон светотехнического подобия

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

Сущность этого закона показана на *рис.5.7*. Проекция телесного угла в обоих подобных друг другу, но разных по размеру помещениях одинакова. Следовательно, согласно закону проекции телесного угла освещенность в обоих помещениях одинакова.

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

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

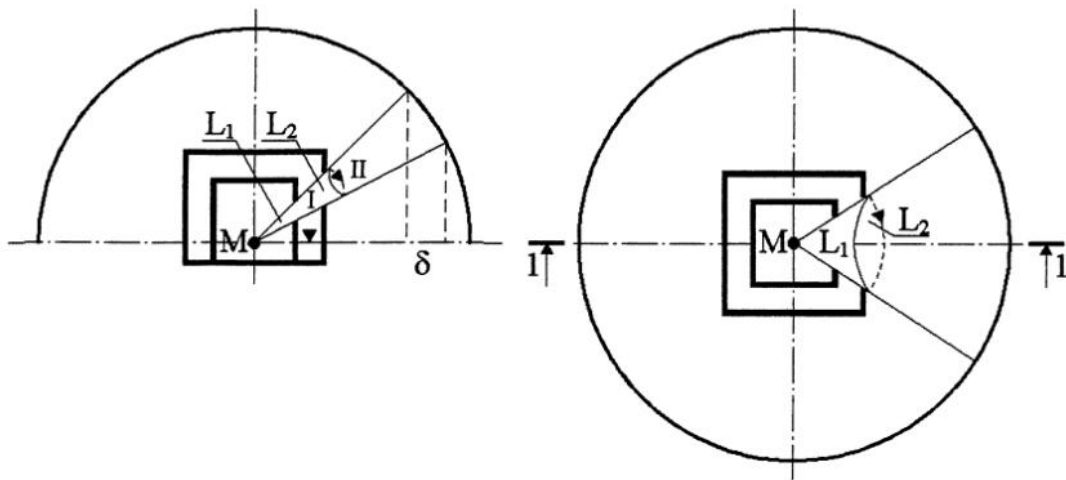


Рис. 5.7. Схема к закону светотехнического подобия

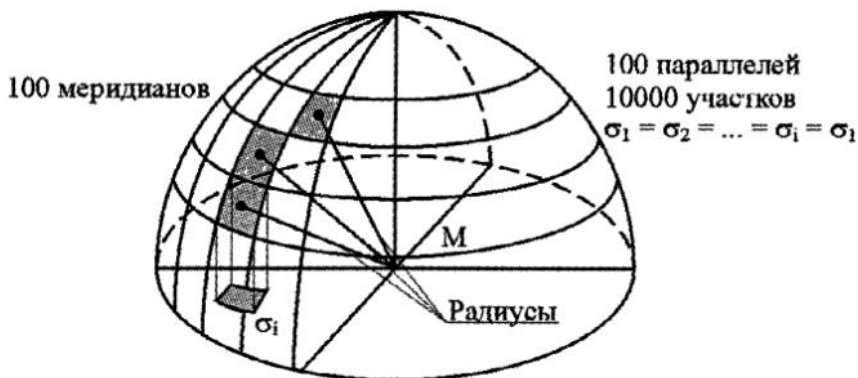


Рис. 5.8. Схема к расчету геометрического КЕО по методу А.М. Данилюка

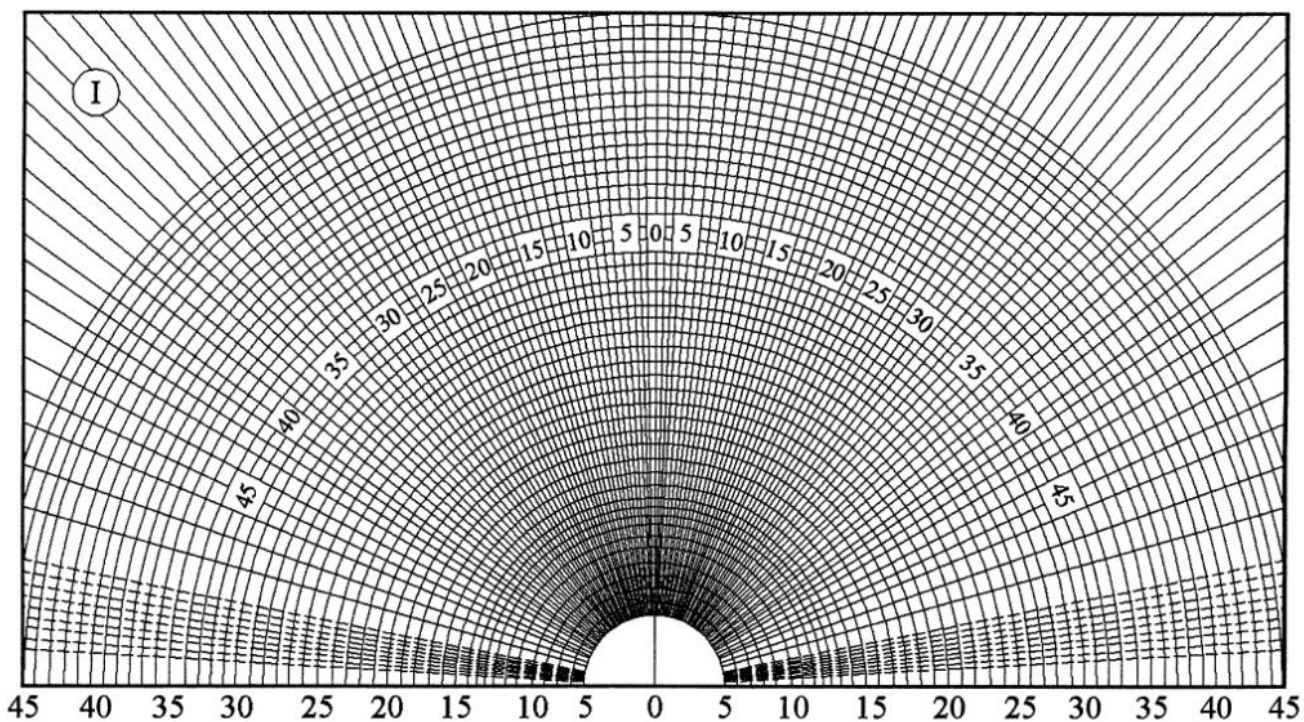


Рис. 5.9. График I для подсчета количества лучей  $n_1$  и  $n'_1$ , проходящих через световой проем на характерном поперечном разрезе помещения в расчетную точку от неба и от противостоящего здания



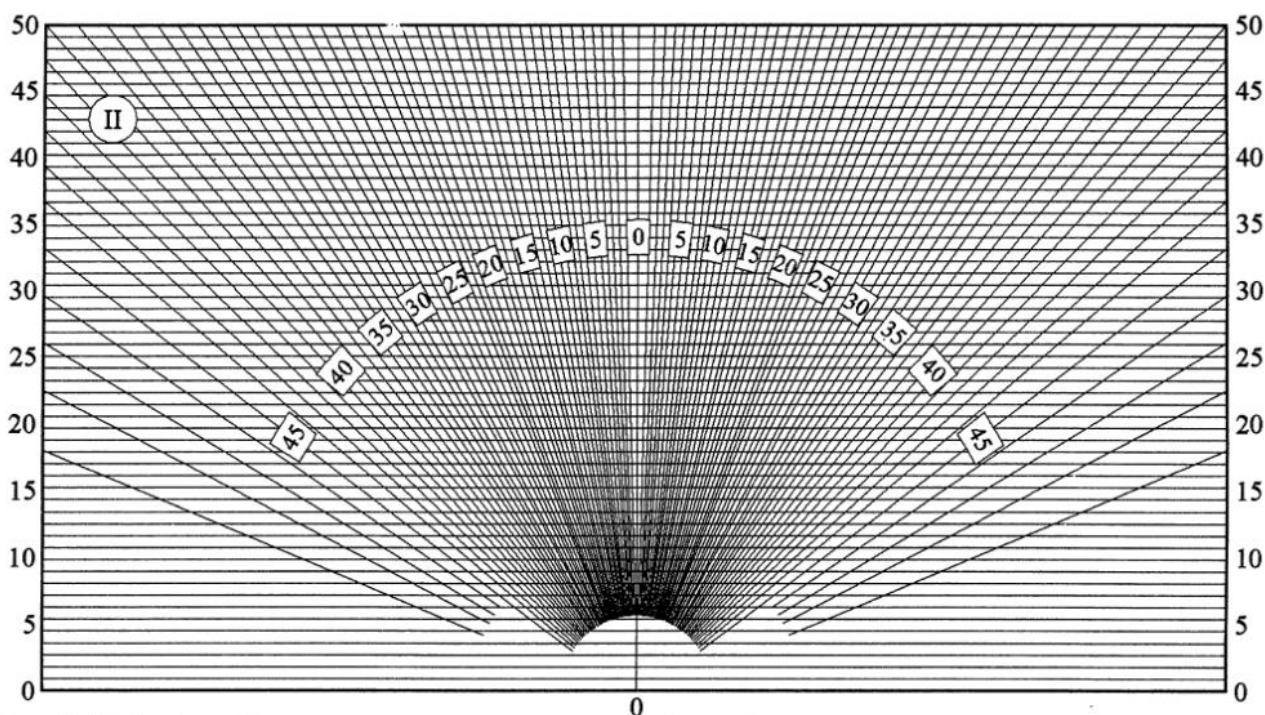


Рис. 5.10. График II для подсчета количества лучей  $n_2$  и  $n'_2$ , проходящих через световой проем на плане (при боковом освещении) или на продольном разрезе (при верхнем освещении)

Расчет геометрического КЕО может производиться по графикам А.М. Данилюка, разработанным в СССР еще в 30-х годах XX века. Этот метод расчета является «инженерным», т.е. пригодным для практических расчетов, так как он позволяет использовать в расчетах основные строительные чертежи: разрезы и планы зданий.

На рис.5.8 изображена полусфера небосвода, разделенная на 10 000 элементарных участков с помощью 100 параллелей и 100 меридианов. Проекция участков на горизонтальную плоскость равны между собой, т.е. каждый участок посылает в центр полусферы  $1/10\ 000$  часть освещенности от всего небосвода. Границы участков соединены с центром полусферы радиусами. Если поместить под такую полусферу модель помещения, то по количеству лучей, образованных этими радиусами, проходящих через окно в расчетную точку, можно определить величину геометрического КЕО.

Однако в архитектурно-строительном проектировании основными документами являются планы и разрезы. Поэтому А.М. Данилюк спроектировал систему радиусов на вертикальную и горизонтальную плоскость, получив, таким образом, графики № 1 и № 2 (рис.5.9 и 5.10). Накладывая на график № 1 характерный разрез помещения так, чтобы полюс совместился с расчетной точкой, подсчитываем количество лучей, проходящих через окно в расчетную точку. На график № 2 накладываем план помещения так, чтобы расчетная точка находилась на линии характерного разреза помещения на расстоянии от центральной оси плоскости проема, равном расстоянию МС на разрезе помещения, т.е. на расстоянии точки М до центра окна по высоте (рис.5.11). Для

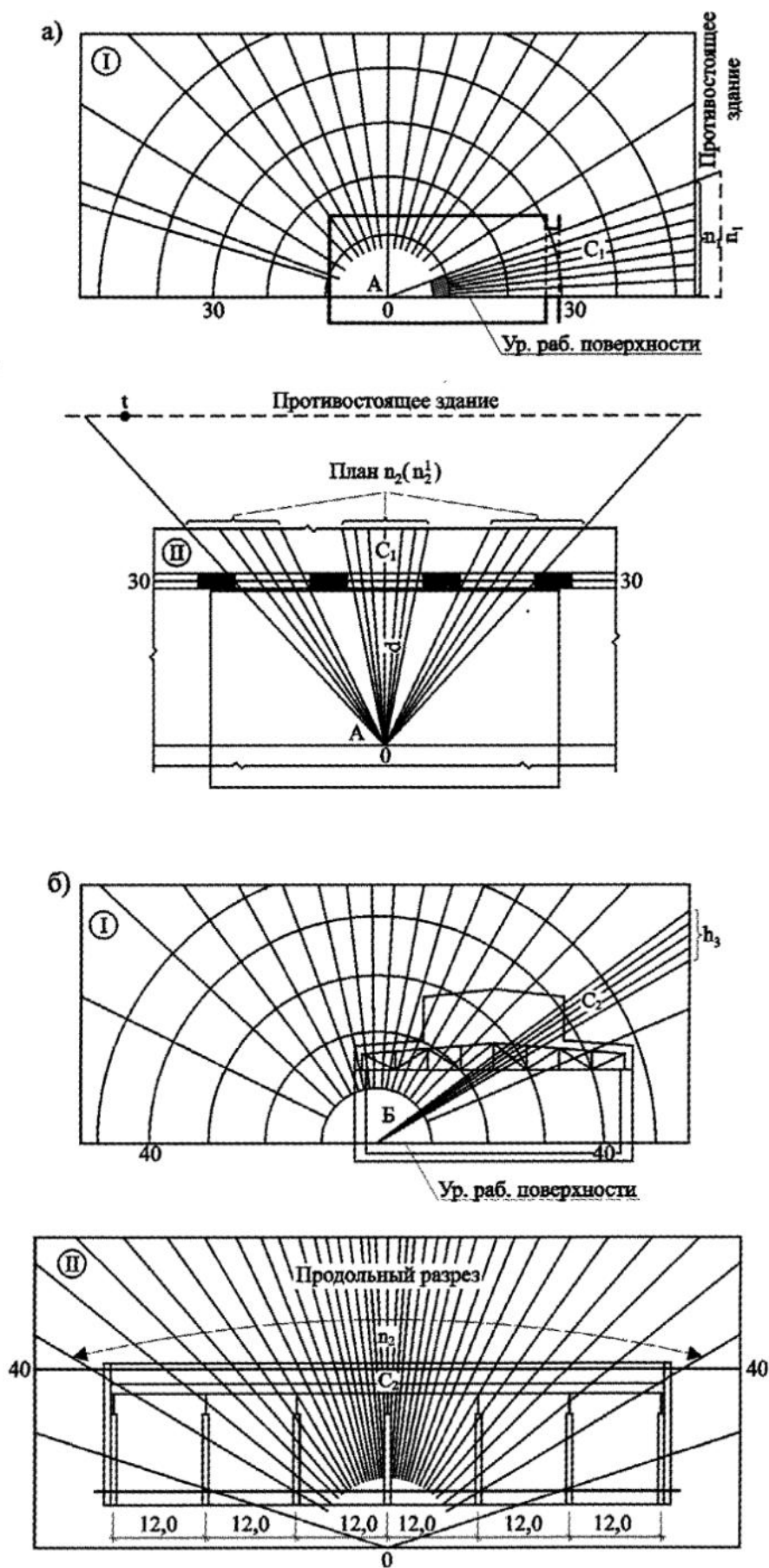


Рис. 5.11. Примеры подсчета количества лучей  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n'_1$  и  $n'_2$  по графикам А.М. Данилюка:  
а) при боковом, б) при верхнем освещении

удобства на график № 1 нанесены полуокружности с номерами. Замечаем номер полуокружности, проходящей на графике № 1 через центр светопроема. На график № 2 накладываем план помещения так, чтобы центральная продольная ось окна на плане совместились с горизонталью на графике № 2, номер которой соответствует номеру полуокружности на графике № 1. Подсчитываем количество лучей, проходящих через окно (или через окна) в расчетную точку.

Величина геометрического КЕО определяется по формуле

$$\varepsilon_{\delta} = \frac{n_1 \cdot n_2}{10000} \cdot 100\% = 0,01 \cdot n_1 \cdot n_2 \% . \quad (5.13)$$

Масштаб чертежей не имеет значения, однако следует учитывать, что при пользовании полуокружностями и параллельными линиями на графиках № 1 и № 2 следует брать чертежи разреза и плана в одном масштабе либо произвести соответствующую корректировку расстояния МС.

Величины  $n_1$  и  $n_2$  могут быть рассчитаны аналитически по следующим формулам, заменяющим графики А.М. Данилюка:

$$n_1 = \frac{\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2}{2} \cdot 100 ; \quad (5.14)$$

$$n_2 = \frac{1}{\pi} \left( \frac{\bar{\beta}_2 - \bar{\beta}_1}{180^\circ} \cdot \pi + \sin \bar{\beta}_2 \cdot \cos \bar{\beta}_2 - \sin \bar{\beta}_1 \cdot \cos \bar{\beta}_1 \right) \cdot 100 . \quad (5.15)$$

Расчетная схема с обозначениями углов представлена на *рис.5.12*.

Для расчета КЕО в случае систем верхнего естественного освещения можно пользоваться формулой, предлагаемой СНиП 23-05-95\*:

$$e_{\delta} = [\varepsilon_{\delta} \cdot q + \varepsilon_{cp} (r_2 K_{\phi} - 1)] \cdot \tau_o / \kappa_3 . \quad (5.16)$$

В этой формуле  $\varepsilon_{\delta} \cdot q = e_n$  - составляющая КЕО от прямого света неба.

Величина  $\varepsilon_{cp} (r_2 K_{\phi} - 1) = e_o + e_n$ , т.е. внутренняя отраженная составляющая в сумме с составляющей, характеризующей свет, отраженный от прилегающих участков кровли или попадающий от неба на внутренние поверхности фонаря и оттуда – на рабочую поверхность.

$\varepsilon_{\delta}$  - определяется по графикам А.М. Данилюка № 1 и № 2 или по формулам (5.14 и 5.15):

$$\varepsilon_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_{\delta,i} , \quad (5.17)$$

где  $\varepsilon_{\delta,i}$  - значения геометрических КЕО в 1.....n расчетных точках по характерному разрезу помещения;  $r_2$  – коэффициент, учитывающий внутренний отраженный свет, (табл. прил. 5.8);  $K_{\phi}$  – коэффициент, учитывающий тип фонаря, определяется по табл. прил. 5.9.

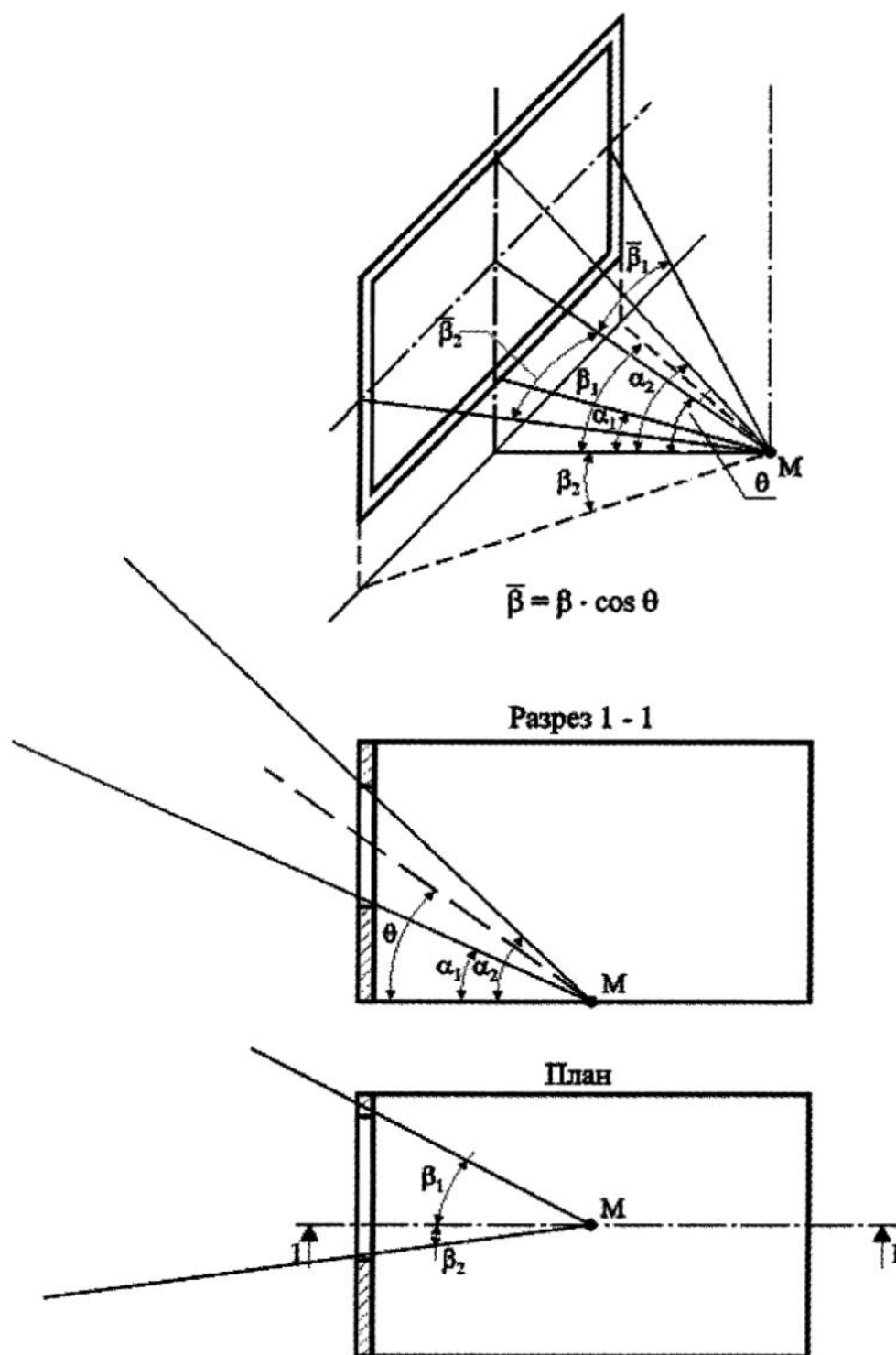


Рис. 5.12. Схема углов к расчету геометрических КЕО

Расчет значений КЕО в точках характерного разреза помещения при верхнем освещении от точечных и шахтных зенитных фонарей согласно методике В.А. Земцова следует выполнять по формуле

$$e_j = 100 A_{\text{ф.в.}} \cdot \tau_o \cdot \sum_{i=1}^n q(\alpha_i) \cos^{(2+2/\kappa_c)} \alpha_i / \pi h_p^2 \kappa_3 + \varepsilon_{\text{ср}} (r_2 - 1) \tau_o / \kappa_3, \quad (5.18)$$

где  $A_{\phi.в.}$  - площадь входного отверстия фонаря;  $n$  - количество фонарей;  $q(\alpha)$  - коэффициент, учитывающий неравномерную яркость неба МКО и определяемый по формуле (5.7) или по рис. 5.13;  $\alpha_i$  - угол между прямой, соединяющей расчетную точку с центром нижнего отверстия фонаря и нормалью к этому отверстию;  $\kappa_c$  - коэффициент светопередачи фонаря, определяемый для фонарей с диффузным отражением стенок - по рис.5.14, а для фонарей с направленным отражением стенок - по рис.5.15;  $i_\phi$  - индекс фонаря с отверстиями в форме прямоугольника, определяемый по формуле (5.19)

$$i_\phi = 2(A_{\phi.в.} + A_{\phi.н.})/(\sqrt{\pi} \cdot h_3 \cdot (P_{\phi.в.} + P_{\phi.н.})), \quad (5.19)$$

а для фонарей с отверстиями в форме круга определяемый по формуле (5.20)

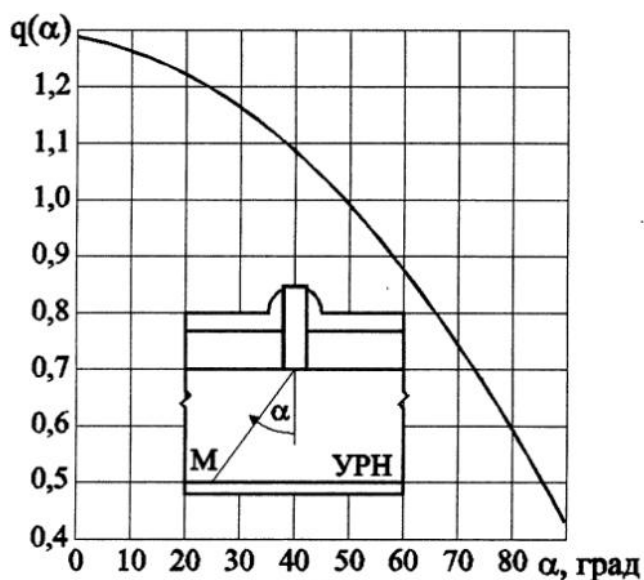


Рис. 5.13

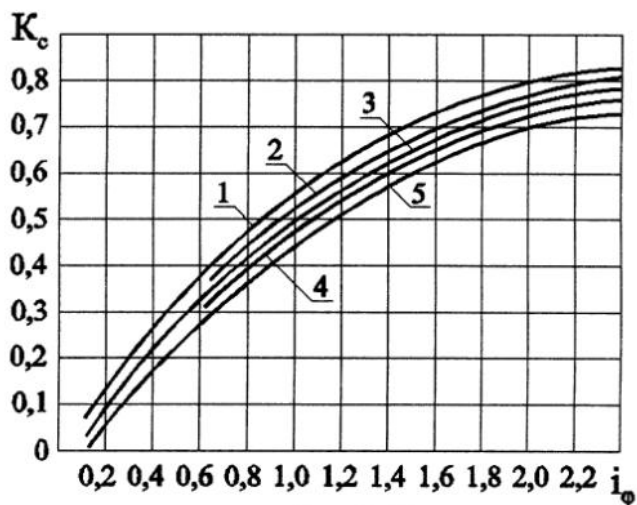
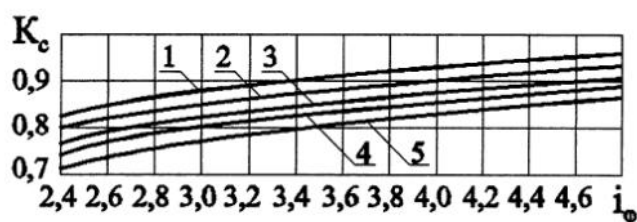


Рис. 5.14

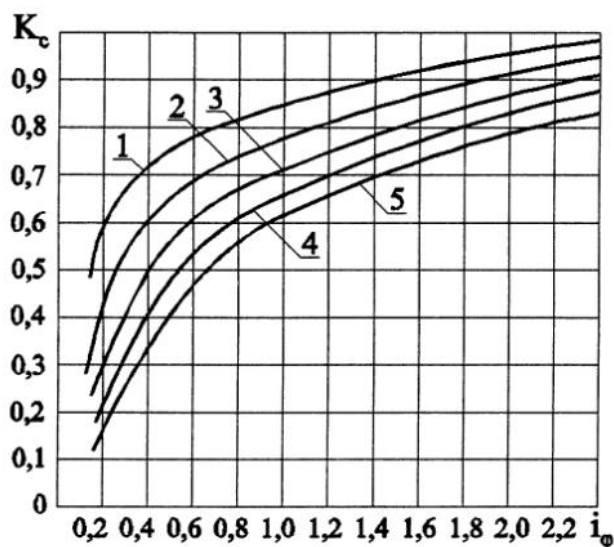


Рис. 5.15

$$i_{\phi} = (r_{\phi.в.} + r_{\phi.н.}) / 2h_3, \quad (5.20)$$

где  $A_{\phi.н.}$  - площадь нижнего отверстия фонаря;  $A_{\phi.в.}$  - площадь верхнего отверстия фонаря;  $h_3$  - высота проема фонаря;  $P_{\phi.н.}$  и  $P_{\phi.в.}$  соответственно периметр нижнего и верхнего отверстий фонаря;  $r_{\phi.в.}$  и  $r_{\phi.н.}$  соответственно радиус верхнего и нижнего отверстий светопроводной шахты фонаря;  $\varepsilon_{ср}$  - среднее значение условного геометрического КЕО.

Коэффициенты  $\tau_0$ ,  $r_2$  определяются по формуле (5.10) и табл. 5.6 и 5.8, а коэффициент  $K_3$  – по табл. 5.7 приложений.

а) вычисляют значение условного геометрического КЕО в первой точке характерного разреза помещения по формуле

$$\varepsilon_1 = 100 A_{\phi.в.} \sum_{i=1}^n q(\alpha) \cdot \cos^{(2+2/\kappa_c)} \alpha / \pi h_p^2; \quad (5.21)$$

б) повторяют вычисления в соответствии с подпунктом «а» для всех точек характерного разреза помещения до  $n_j$  включительно (где  $n_j$  - количество точек, в которых производится расчет КЕО);

в) определяют  $\varepsilon_{ср}$  по формуле:

$$\varepsilon_{ср} = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_{n_j}) / n_j \quad (5.22)$$

г) последовательно для всех точек вычисляют прямую составляющую КЕО,  $\sigma_{пр}$  по формуле

$$\sigma_{пр} = \varepsilon_j \cdot \tau_0 / \kappa_3 \quad (5.23)$$

д.) отраженную составляющую КЕО,  $\sigma_{отр}$  значение которой одинаково для всех точек, определяют по формуле:

$$\sigma_{отр} = \varepsilon_{ср} (r_2 - 1) \tau_0 / \kappa_3; \quad (5.24)$$

е) определяют расчетное значение КЕО в каждой точке характерного разреза с учетом отраженного света от поверхностей помещения:

$$e_j = \sigma_{пр} + \sigma_{отр}. \quad (5.25)$$

Изложенные инженерные методы расчета являются приближенными. Это связано как с неточностью графических методов, зависящих от точности построения чертежей, так и с упрощениями в интегрировании, принятыми при решении задач сферической геометрии, в результате чего получены графики А.М. Данилюка и их аналитическое выражение (5.14 и 5.15).

Точную расчетную формулу для определения геометрического КЕО разработали классики светотехники Р.Мун и Д.Спенсер. В России эта формула приведена Д.В. Бахаревым в журнале «Светотехника» №9, 1989 г. Недостатком этой формулы является ее сложность и трудность в использовании строительных чертежей для определения расчетных параметров.

Точная расчетная формула, в которой в качестве исходных параметров применяются данные строительных чертежей, те же, что и при использовании графиков А.М. Данилюка, разработана в МГСУ. Ее преимуществом является также и то, что она учитывает любое распределение яркости «конхоидального» небосвода, т.е. когда яркость неба подчиняется уравнению конхоиды и является кругосимметричной:

$$L_{\theta} = L_z(A + B \sin \theta). \quad (5.26)$$

Формула имеет вид:

$$e_n = \frac{3 \cdot 100}{3,14(3A + 2B)} \cdot \left\{ \begin{array}{l} \frac{A}{2} \cos \alpha_2 [\operatorname{arctg}(\cos \alpha_2 \operatorname{tg} \beta_1) - \operatorname{arctg}(\cos \alpha_2 \operatorname{tg} \beta_2)] + \\ \frac{A}{2} \cos \alpha_1 [\operatorname{arctg}(\cos \alpha_1 \operatorname{tg} \beta_2) - \operatorname{arctg}(\cos \alpha_1 \operatorname{tg} \beta_1)] + \\ \frac{B}{3} \left[ \cos^2 \alpha_2 \left( \frac{\sin \beta_1}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha_2 + \cos^2 \beta_1}} - \frac{\sin \beta_2}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha_2 + \cos^2 \beta_2}} \right) + \right. \\ \left. \cos^2 \alpha_1 \left( \frac{\sin \beta_2}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha_1 + \cos^2 \beta_2}} - \frac{\sin \beta_1}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha_1 + \cos^2 \beta_1}} \right) \right] + \\ \frac{B}{3} \left[ \operatorname{arcsin}(\sin \alpha_2 \sin \beta_2) + \operatorname{arcsin}(\sin \alpha_1 \sin \beta_1) - \right. \\ \left. \operatorname{arcsin}(\sin \alpha_2 \sin \beta_1) - \operatorname{arcsin}(\sin \alpha_1 \sin \beta_2) \right] \end{array} \right\} \quad (5.27)$$

Для условий пасмурного неба МКО  $A = 1/3$ ,  $B = 2/3$ . При равноярком небе, т.е. для расчета геометрического КЕО  $A = 1$  и  $B = 0$ .

Обозначения углов  $\alpha$  и  $\beta$  приведены на *рис. 5.12*.

Формула (5.27) полностью определяет величину составляющей КЕО от прямого света неба при допущении «конхоидального» небосвода. В формуле (5.6) величина  $\varepsilon_{зд}$  также может быть определена по формуле (5.27) при  $A = 1$  и  $B = 0$ .

Использование коэффициентов  $q$ ,  $b_{\phi}$ ,  $K_{зд}$ ,  $\tau_0$  и  $r_0$ , а также коэффициентов  $r_2$  и  $\kappa_{\phi}$  в формуле (5.16) является источником определенных погрешностей, которые в будущем могут уточняться. Принято считать, что точность светотехнических расчетов составляет 10%. Как показывает практика проектирования, точность метода является важным фактором. Но еще более важным фактором является наличие единой, регламентированной нормами, методики инженерных расчетов КЕО, позволяющей делать расчеты сравнимыми между собой.

В других странах распространены различные методы расчета естественной освещенности. Так, например, в США применяется прямой метод расчета освещенности от естественного света, подобный методу расчета освещенностей при искусственном освещении, так называемый Люмен-метод. Этот инженер-

ный метод расчета, достаточно прост, чтобы расчеты производить вручную, без применения ЭВМ. Он основан на использовании таблиц, в которых приводятся коэффициенты использования светового потока от светопроемов для пяти точек по характерному разрезу помещения. Метод предназначен для расчета освещенности при верхних и боковых светопроемах с простыми геометрическими формами и с простыми солнцезащитными и светонаправляющими устройствами типа световых полок. С помощью Люмен-метода нельзя рассчитать КЕО при боковом освещении, если светопроемы затеняются противостоящими зданиями.

В Европе более распространен метод КЕО, вариантом которого является метод, изложенный выше, применяемый в России. Отличия здесь могут заключаться в различных способах расчета составляющих КЕО от прямого света неба, от внутреннего отраженного света и от света, отраженного от противостоящих зданий.

Так, например, во многих европейских странах распространен метод расчета составляющих КЕО с помощью диаграммы, называемой «Диаграмма света неба», известной также под названием «Диаграмма Уэлдрэма» (рис. 5.16). Диаграмма разделена сеткой на 1000 или 500 клеток и соответствует величине геометрического КЕО 50%. Соответственно одна клеточка соответствует величине геометрического КЕО 0,05 или 0,1%. Сплошные и пунктирные кривые линии

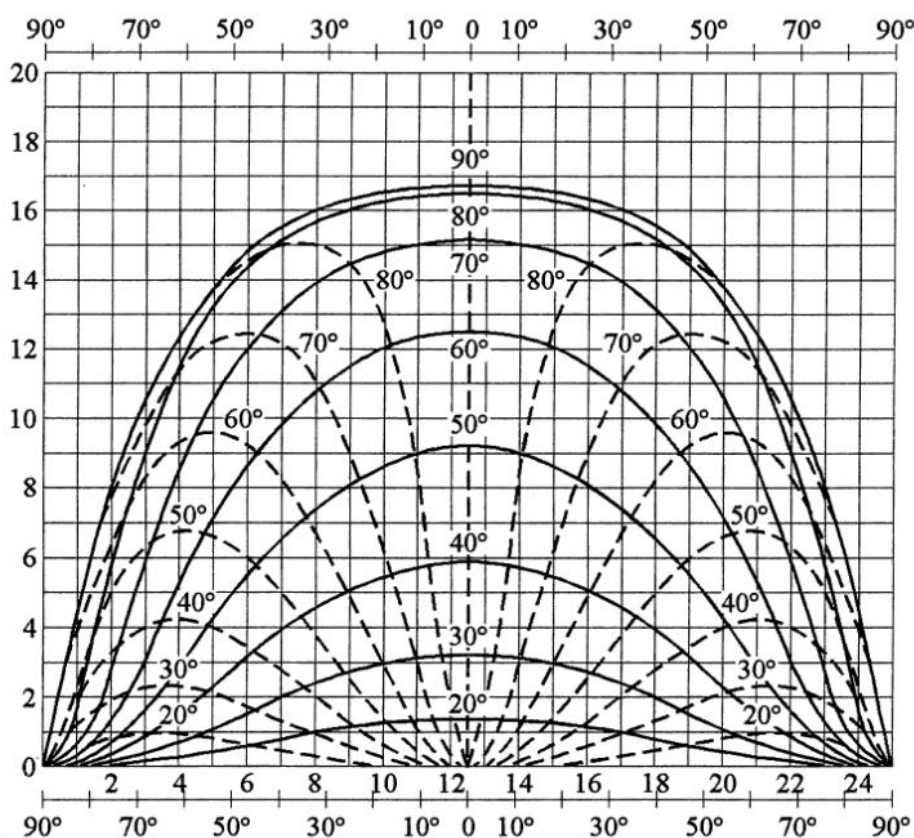


Рис. 5.16. Диаграмма Уолдрэма с ниспадающими линиями для вертикальных окон.

— горизонтали, параллельные плоскости окна;

- - - - - горизонтали, расположенные под прямым углом к плоскости окна.



обозначают линии одинаковых вертикальных углов из расчетной точки. Вертикальные линии обозначают вертикальные границы этих углов, т.е. горизонтальные углы из расчетной точки к граням светопроема или застройки в плане. Если рассматривать телесный угол окна, то сплошные кривые линии будут обозначать горизонтальные грани окна, а вертикальные линии будут обозначать вертикальные грани окна (см. *рис. 5.16*). Для определения составляющей КЕО от прямого света неба при отсутствии противостоящих зданий надо подсчитать количество клеточек ( $n_n$ ), попадающих в границы светопроема. При равномерном небосводе величина КЕО равна

$$e_n = n_n \cdot M.$$

При пасмурном небе МКО каждую клеточку нужно брать со своим значением коэффициента  $q$ , что повышает точность учета распределения яркости пасмурного неба по сравнению с методом А.М. Данилюка, но повышает многодельность расчета. Для противостоящей застройки принято, что ее яркость составляет 15% яркости пасмурного неба. Поэтому при расчете отраженной составляющей от противостоящих зданий используют формулу

$$e_{зд} = 0,15 \cdot n_{зд} \cdot M.$$

На примере, показанном на *рис. 5.16*,  $M = 0,05\%$ .

На *рис. 5.17* показан случай, когда застройка имеет сложную структуру.

Здесь  $M = 0,05\%$ ,  $n_n = 42$  и  $n_{зд} = 45$ . Отсюда следует, что

$$e_n = 42 \cdot 0,05\% = 2,1\%;$$

$$e_{зд} = 0,15 \cdot 45 \cdot 0,05\% = 0,34\%$$

Метод очень приближенно учитывает яркость противостоящей застройки с помощью коэффициента 0,15. Весьма приближенным является и расчет внутренней отраженной составляющей по формуле

$$e_o = \frac{b_o \cdot h_o}{F} \cdot \frac{1}{1 - \rho_{cp}} \cdot (f_n \cdot \rho_n + f_s \cdot \rho_s) \cdot 100\%.$$

Здесь:  $b_o$  – ширина окна;  $h_o$  – высота окна;  $F$  – сумма площадей стен, потолка и пола в помещении;  $\rho_{cp}$  – средневзвешенный коэффициент отражения внутренних поверхностей;  $\rho_n$  – средневзвешенный коэффициент отражения пола и нижней части стен без стены с окном;  $\rho_s$  – то же потолка и верхней части стен без стены с окном.

Верхняя и нижняя части стен делятся горизонтальной плоскостью, проходящей через середину высоты окна.

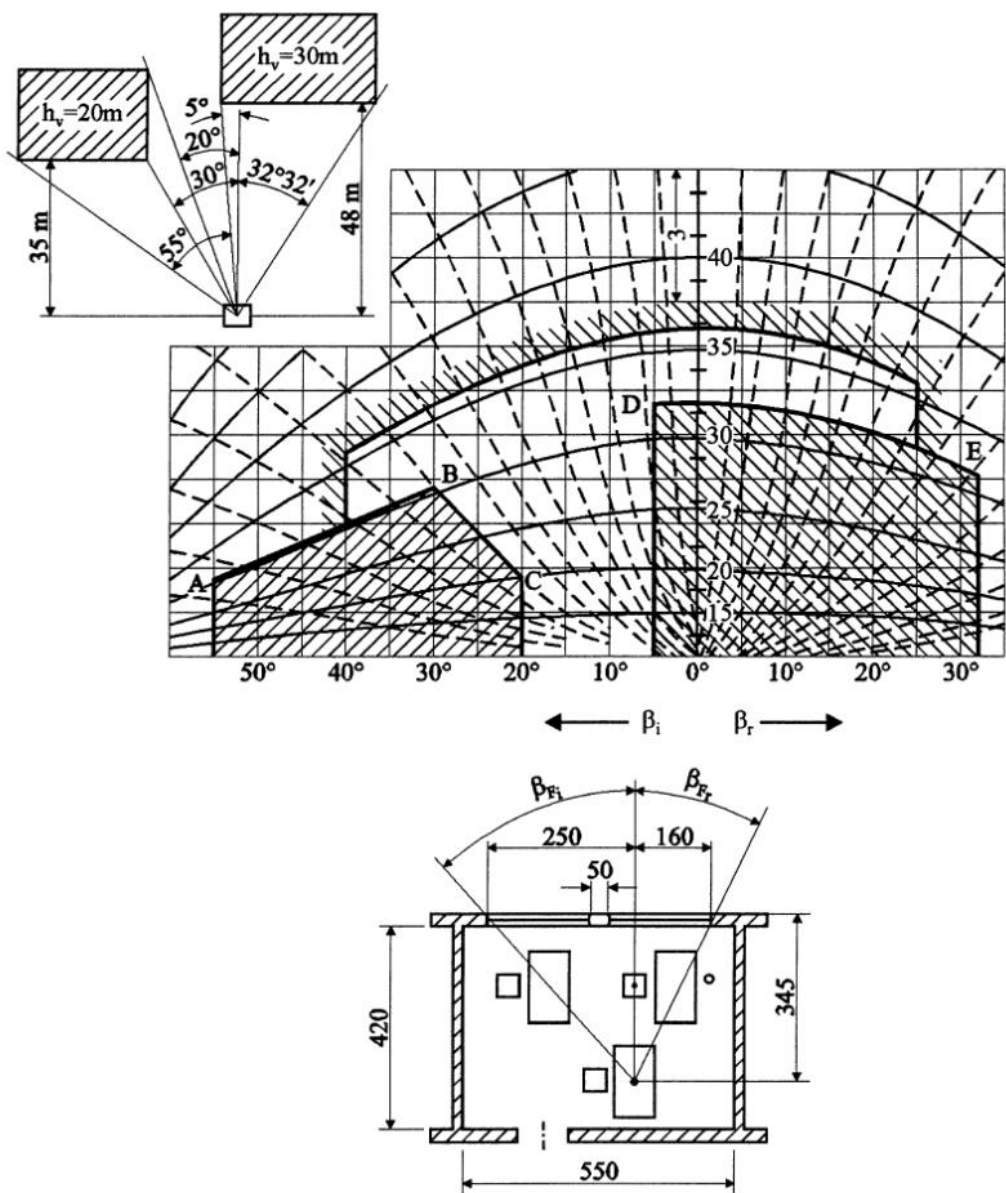


Рис. 5.17

$f$  – коэффициент окна, т.е. отношение вертикальной освещенности на плоскости окна ( $E_v$ ) к горизонтальной освещенности под открытым небом ( $E_n$ ) в зависимости от угла застройки  $\alpha'$ , проведенного на характерном разрезе из центра окна к верхней грани застройки (рис. 5.18);  $f_v$  – коэффициент окна, определяющий световой поток, падающий на окно из верхнего полупространства в зависимости от того же угла  $\alpha'$ ;  $f_n$  – коэффициент окна, определяющий световой поток, падающий на окно из верхнего полупространства в зависимости от того же угла  $\alpha'$ .

Окончательная величина КЕО в помещении рассчитывается по формуле:

$$e = \tau_0(e_n + e_{зд} + e_o)/K_з,$$

где  $\tau_0$  – общий коэффициент светопропускания проема;  $K_з$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение.

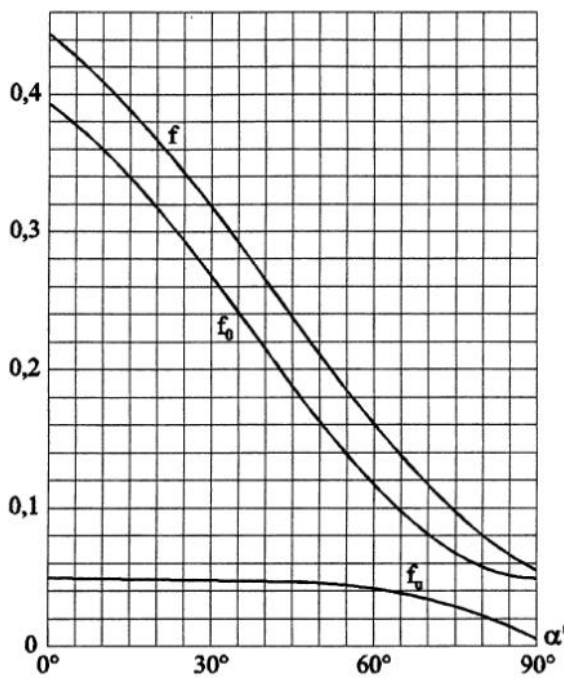


Рис. 5.18

$$f = f_0 + f_u = E_0/E_n.$$

Приведенная выше методика инженерного расчета КЕО представляет интерес при расчетах КЕО в городской застройке. Она позволяет наглядно представить контуры застройки так, как они видны из расчетной точки через светопроем. Причем в некоторых европейских странах (например, в Словакии) в городской застройке нормируется не КЕО, а часть открытого небосвода, видимого из расчетной точки через светопроем, по отношению к площади окна, определяемых по диаграмме Уэлдрэма (см. рис. 5.17).

#### 5.4. Световой климат местности

Главным источником естественного света является Солнце. Земная атмосфера рассеивает солнечные лучи за счет воздуха, водяного пара, частичек льда на большой высоте, пыли и различных газов и других загрязнений, поступающих в воздух в результате деятельности человека. За счет этого образуется рассеянная составляющая естественной освещенности. Дневное и годовое движение Солнца, точно определяемое астрономами, позволяет рассчитать уровни естественной освещенности на границе атмосферы, создаваемые прямым солнечным излучением. На них накладываются в достаточной степени непредсказуемые условия погоды, локальных загрязнений, характер рельефа и альbedo подстилающей поверхности.

Освещенность под открытым небом складывается из трех составляющих:

$$E_n = E_s + E_D + E_R.$$

Здесь  $E_s$  - солнечный свет;  $E_D$  - рассеянный (диффузный) свет неба;  $E_R$  - отраженный свет от земли.

Солнце – огромный шар радиусом 695 000 км. Среднее расстояние от Земли до Солнца, равное большой полуоси эллипса земной орбиты, составляет около  $149,5 \cdot 10^6$  км. Это расстояние принимается за единицу (астрономическая единица). Основной характеристикой, определяющей световой климат, является световая солнечная постоянная величина  $E_s^o$ . Она представляет собой освещенность плоскости, перпендикулярной солнечным лучам и удаленной от Солнца на расстояние, равное астрономической единице, т.е. на границе атмосферы. Приблизительно  $E_s^o = 135\,000 - 137\,000$  лк. Соответствующая этой освещенности средняя яркость Солнца составляет  $2 \times 10^9$  кд/м<sup>2</sup>.

При заданном коэффициенте пропускания света атмосферой  $\tau_a$ , который зависит от высоты стояния Солнца  $h_o$  и прозрачности атмосферы  $p$ , освещенность от Солнца на горизонтальной поверхности  $E_s^\Gamma$  определяется по формуле:

$$E_s^\Gamma = E_s^\perp \cdot \sinh_o . \quad (5.28)$$

Здесь  $E_s^\perp$  - освещенность от Солнца на плоскости, перпендикулярной направлению потока солнечного излучения:

$$E_s^\perp = \frac{E_s^o}{\Delta^2} \cdot p^m , \quad (5.29)$$

где  $\Delta$  - расстояние от Солнца до Земли в любой момент времени, определяется по астрономическим таблицам. Масса атмосферы,  $m$ , также может быть определена по специальным таблицам.

По формулам (5.28 и 5.29) можно определить освещенность под открытым небом от прямого солнечного освещения. Однако на величину освещенности и ее изменение во времени влияет не только высота Солнца, но и статистические условия облачности в месте строительства в течение года по месяцам и в течение суток по часам.

В 1996 г. стартовала международная программа измерений естественного освещения, объединяющая 48 станций наблюдения в 26 странах мира, из которых две находятся в России, в Москве и в Воейково под Санкт-Петербургом. На этих станциях проводится систематическая запись наружной естественной освещенности, регистрируются виды облачности, на некоторых из них с помощью специальных сканирующих приборов – яркомеров производится сканирующая запись яркости участков небосвода. В России таких станций явно недостаточно. К примеру, в Японии существует 13 этих станций. В то же время в России имеется развитая сеть актинометрических станций, производящих систематические измерения суммарной и рассеянной солнечной радиации. С помощью расчетов с использованием световой солнечной постоянной и данных актинометрических станций, учитывающих статистические условия облачности, рассчитаны световые эквиваленты солнечной радиации и получены данные о дневном изменении наружной суммарной и диффузной освещенности

для различных городов России и СНГ. Эти данные приводятся в различных климатических справочниках. Одним из лучших таких справочников является СНиП П-А.6-72 «Строительная климатология и геофизика». На рис.5.19 изображены графики дневного изменения наружной диффузной естественной освещенности для 15-го числа каждого месяца в г. Москве. Они построены на основании таблицы значений суммарной и рассеянной освещенности, приведенной в этом справочнике. Для некоторых городов России такие данные приведены в табл. прил. 5.10.

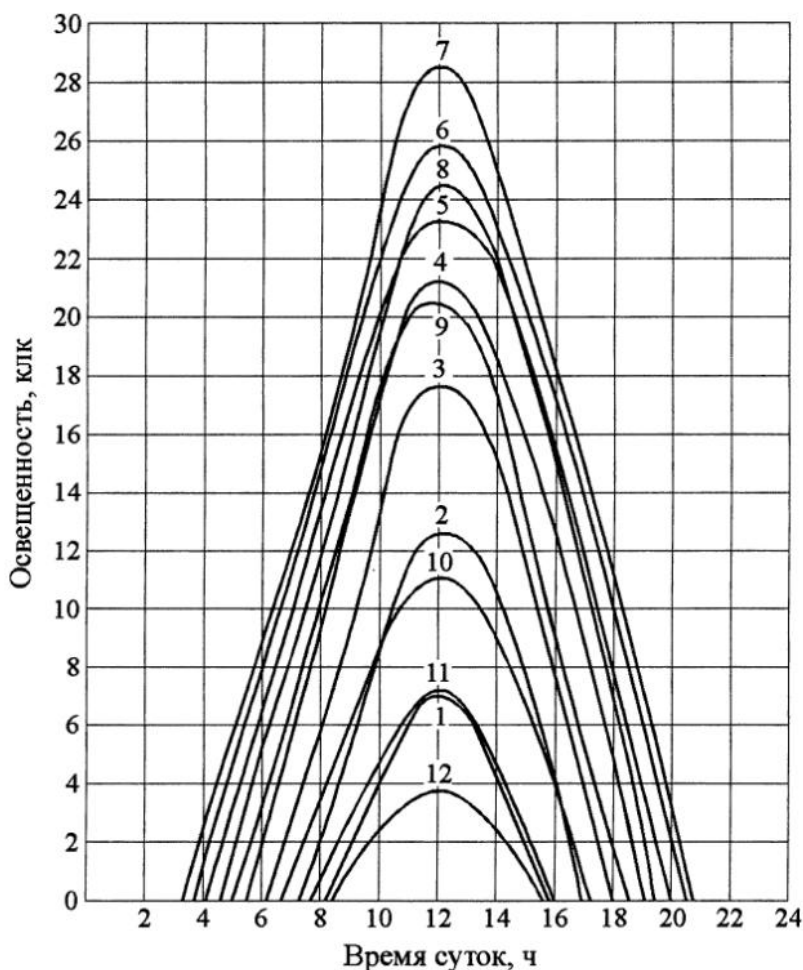


Рис. 5.19. График хода естественной диффузной освещенности для г. Москвы

На основании результатов расчетов наружной освещенности, проведенных для наиболее крупных, характерных по своему географическому положению городов и промышленных районов, составлена таблица групп административных районов России по ресурсам светового климата (табл. 5.2). Критерием принята средняя за год освещенность на горизонтальной наружной поверхности в течение 1 ч за период использования естественного света в помещении, т.е.

$$E_{cp} = \sum_{год} z_{од} (E - E_{кр}) / T_{e.год},$$

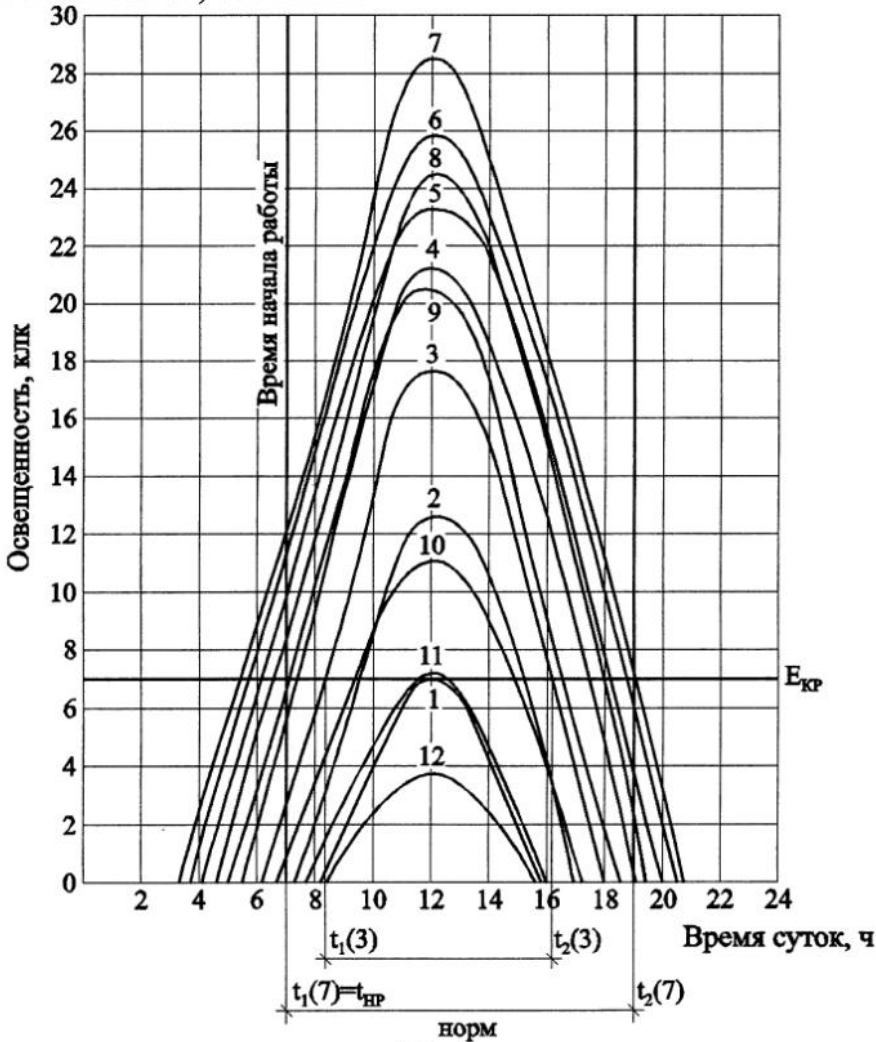
где  $E$  – наружная освещенность горизонтальной поверхности, лк;  $E_{кр}$  – критическая наружная освещенность, лк, т.е. освещенность, при которой утром следует выключать, а вечером – включать электрический свет;  $T_{e. год.}$  – время использования естественного света за год, ч.

Если принять, что искусственный свет следует выключать и включать при достижении в расчетной точке величины нормируемой искусственной освещенности ( $E_u^{норм}$ ), то величина критической освещенности может быть рассчитана исходя из формулы (5.2):

$$E_{кр} = \frac{E_u^{норм} \cdot 100}{e}, \text{ лк}, \quad (5.31)$$

где  $e$  – величина КЕО в расчетной точке при боковом освещении либо средняя величина КЕО при верхнем освещении (%).

В классах общеобразовательных школ при  $E_u^{норм} = 400$  лк и  $e_{норм} = 1,5\%$  величина критической освещенности, при которой следует включать и выключать искусственный свет, составит:



при  $e = 1,5\%$ ;  $E_{н.1}^{норм} = 100$  лк:  $E_{кр} = 6666$  лк

Рис. 5.20. Определение времени использования естественного света по критической освещенности

$$E_{кр} = 400 \cdot 100 / 1,5 = 26\,700 \text{ лк.}$$

Такой величины диффузная освещенность согласно *рис. 5.19* в Москве достигает в течение очень небольшого отрезка времени в июне.

Для светоклиматического районирования принята величина критической освещенности, равная 5000 лк. Считается, что при такой величине наружной освещенности обычно включают или выключают искусственное освещение.

Если нанести на графики изменения наружной освещенности горизонтальную прямую, соответствующую  $E_{кр}$ , то промежуток в часах между временем наступления критической освещенности утром и вечером покажет время использования естественного света за один день  $i$ -того месяца,  $T_i$ , ч. Его необходимо принимать с учетом времени начала и конца работы (*рис. 5.20*). Время использования естественного света за год составит:

$$T_{e.год} = \sum_{i=1}^{12} (T_i \cdot n_i), \quad (5.32)$$

где  $n_i$  - количество рабочих дней в  $i$ -том месяце.

**Таблица 5.2**

Группы административных районов по ресурсам светового климата  
(СНиП 23-05-95\*, прил. Д\*)

Номер группы	Административный район
1	Московская, Смоленская, Владимирская, Калужская, Тульская, Рязанская, Нижегородская, Свердловская, Пермская, Челябинская, Курганская, Новосибирская, Кемеровская области, Республика Мордовия, Чувашская Республика, Удмуртская Республика, Республика Башкортостан, Республика Татарстан, Красноярский край (севернее 63° с.ш.), Республика Саха (Якутия) (севернее 63° с.ш.), Чукотский автон. округ, Хабаровский край (севернее 55° с.ш.)
2	Брянская, Курская, Орловская, Белгородская, Воронежская, Липецкая, Тамбовская, Пензенская, Самарская, Ульяновская, Оренбургская, Саратовская, Волгоградская области, Республика Коми, Кабардино-Балкарская Республика, Республика Северная Осетия — Алания, Чеченская Республика, Республика Ингушетия, Ханты-Мансийский автон. округ, Республика Алтай, Красноярский край (южнее 63° с.ш.), Республика Саха (Якутия) (южнее 63° с.ш.), Республика Тыва, Республика Бурятия, Читинская область, Хабаровский край (южнее 55° с.ш.), Магаданская область, Сахалинская область
3	Калининградская, Псковская, Новгородская, Тверская, Ярославская, Ивановская, Ленинградская, Вологодская, Костромская, Кировская области, Республика Карелия, Ямало-Ненецкий автон. округ, Ненецкий автон. округ
4	Архангельская, Мурманская области
5	Республика Калмыкия, Ростовская, Астраханская области, Ставропольский край, Республика Дагестан, Амурская область, Приморский край, Краснодарский край

Ресурсы светового климата для разных регионов России различны. Так, например, в Архангельске естественного света меньше, чем в Воронеже. Эти ресурсы зависят также и от ориентации светопроемов. Считается, что этих ре-

сурсов больше для светопроемов южной, юго-восточной и юго-западной ориентации.

В СНиП нормируемая величина КЕО определяется по формуле

$$e_N = e_{\text{норм}} \cdot m_N, \quad (5.33)$$

где  $N$  - номер группы административных районов по обеспеченности естественным светом, (табл. 5.2);  $e_{\text{норм}}$  - нормируемое значение КЕО;  $m_N$  - коэффициент светового климата по табл. 5.3.

Другим важным фактором, учитываемым в расчетах естественной освещенности, является распределение яркости по небосводу. До сих пор основным допущением при расчетах естественного освещения является пасмурный небосвод, стандартизованный Международной комиссией по освещению (МКО). Распределение яркости такого небосвода является кругосимметричным и изменяется только по меридиану. Этот закон был предложен классиками светотехники Р.Муном и Д.Спенсер (см. рис. 5.2) и может быть выражен следующей формулой:

$$L_\theta = L_z (1 + 2 \sin \theta) / 3, \quad (5.3)$$

здесь  $L_\theta$  - яркость неба в точке под углом  $\theta$  к горизонту;  $L_z$  - яркость неба в зените.

Для районов с преобладанием ясного неба предлагается стандартная модель ясного неба МКО, разработанная Р.Киттлером.

$$L_{(\xi, \alpha)} = L_z \cdot \frac{(0,91 + 10e^{-3\gamma} + 0,45 \cos^2 \gamma) \cdot (1 - e^{-0,32/\cos \xi})}{(0,91 + 10e^{-3Z_0} + 0,45 \cos^2 z_0) \cdot (1 - e^{-0,32})} \quad (5.34)$$

Здесь  $L_{(\xi, \alpha)}$  - яркость неба в точке  $p$  со сферическими координатами  $\xi$  и  $\alpha$ , в кд/м;  $L_z$  - яркость неба в зените, в кд/м;  $\gamma$  - угол между солнцем и точкой на небосводе в рад., (уравнение 5.35);  $\xi$  - зенитное расстояние рассматриваемой точки на небосводе, рад.;  $\alpha$  - азимутальный угол солнца, рад.;  $z_0$  - зенитное расстояние солнца, рад.

Угол  $\gamma$  между солнцем и точкой  $p$  на небосводе определяется из выражения:

$$\gamma = \arccos(\cos z_0 \cos \xi + \sin z_0 \sin \xi \cos \alpha). \quad (5.35)$$

Здесь все обозначения - те же, что и в уравнении 5.34. Углы показаны на схеме 5.21.

Большинство исследователей приходят к единому мнению, что в статистическом плане имеет место плавный переход от распределения яркости ясного неба к распределению яркости пасмурного неба. В этом плане наиболее показательными являются выражения для частично-облачного неба и пасмурного неба, построенные по подобию уравнения Р.Киттлера:

$$L_{(\xi, \alpha)} = L_z \cdot \frac{(0,526 + 5e^{-1,5\gamma}) \cdot (1 - e^{-0,80/\cos \xi})}{(0,526 + 5e^{-1,5Z_0}) \cdot (1 - e^{-0,80})}. \quad (5.36)$$



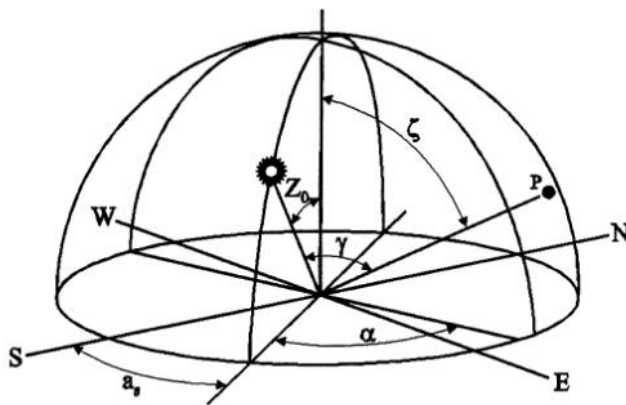


Рис. 5.21.

Уравнение для пасмурного неба:

$$L_{(\xi, \alpha)} = L_z \cdot \left( 0,864 \cdot \frac{e^{-0,52/\cos \xi}}{e^{-0,52}} + 0,136 \frac{1 - e^{0,52/\cos \xi}}{1 - e^{-0,52}} \right). \quad (5.37)$$

Здесь все обозначения – те же, что и в уравнении 5.34.

Таблица 5.3  
(СНиП 23-05-95\* Таблица 4)

Световые проемы	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта	Коэффициент светового климата				
		Номер группы административных районов				
		1	2	3	4	5
В наружных стенах зданий	С	1	0,9	1,1	1,2	0,8
	СВ, СЗ	1	0,9	1,1	1,2	0,8
	З, В	1	0,9	1,1	1,1	0,8
	ЮВ, ЮЗ	1	0,85	1	1,1	0,8
	Ю	1	0,85	1	1,1	0,75
В прямоугольных и трапециевидных фонарях	С-Ю	1	0,9	1,1	1,2	0,75
	СВ-ЮЗ ЮВ-СЗ	1	0,9	1,2	1,2	0,7
	В-З	1	0,9	1,1	1,2	0,7
В фонарях типа «Шед»	С	1	0,9	1,2	1,2	0,7
В зенитных фонарях	-	1	0,9	1,2	1,2	0,75

Примечания:

1. С - северное; СВ - северо-восточное; СЗ - северо-западное; В - восточное; З - западное; С-Ю - север-юг; В-З - восток-запад; Ю - южное; ЮВ - юго-восточное; ЮЗ - юго-западное.
2. Группы административных районов России по ресурсам светового климата приведены в приложении Д\*.

Эти уравнения отличаются только константами, которые основаны на среднестатистических данных для частично-облачного неба. В уравнении 5.37 эти константы подобраны таким образом, чтобы было наибольшее соответствие с классическим уравнением Р.Муна и Д. Спенсер (5.3).

Многочисленные исследования статистических условий распределения яркости по небосводу с учетом реальных условий облачности позволили создать несколько моделей частично-облачного, среднестатистического неба. Такие модели представляют самостоятельный теоретический интерес. В практической области учет реальных условий на небосводе имеет значение только для расчетов времени использования естественного света в помещениях, необходимого для определения реальных затрат энергии на искусственное освещение. При этом очень важно установить, в какой момент времени и при каком положении солнца на небосводе относительно ориентации светопроема нам необходимо определить распределение яркости небосвода. В энергетических расчетах это может быть момент минимальной высоты солнца при его расположении в секторе неба, противоположном сектору ориентации светопроема, приближающийся по времени к моменту наступления критической освещенности, т.е. наружной естественной освещенности, при которой следует включать или выключать электрическое освещение (см. формулу 5.31).

## 5.5. Нормирование естественного освещения

Важнейшие показатели световой среды в помещении это:

- уровень освещенности;
- качество освещения.

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

Под термином «объект различения» понимается отдельная часть рассматриваемого предмета (например, нить ткани, линия, царапина, пятно и т.д.), которую требуется различить при работе; под размером объекта различения подразумевается его минимальный размер (например, толщина нити, ширина царапины, шаг спирали лампочки накаливания и т.д.). Чем меньше объект, тем больше требуются уровни освещенности. Контраст между объектом и фоном является также важной характеристикой зрительной работы. При малом контрасте различение затруднено и требует больших уровней освещенности. Различение объемных объектов при малом контрасте объекта и фона зависит также от соотношения направленной и диффузной освещенности, т.е. такой, когда свет падает на объект со всех сторон. Образующиеся при этом тени могут улучшить или ухудшить видимость объемных объектов различения.

Таблица 5.4

Характеристика зрительной работы	Наименьший эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Естественное освещение		Совмещенное освещение	
			кео $e_{нз}$ %			
			при верхнем или комбин. освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбин. освещении	при боковом освещении
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	-	-	6,0	2,0
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	II	-	-	4,2	1,5
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	-	-	3,0	1,2
Средней точности	От 0,5 до 1,0	IV	4	1,5	2,4	0,9
Малой точности	От 1,0 до 5,0	V	3	1	1,8	0,6
Грубая (очень малой) точности	Более 5,0	VI	3	1	1,8	0,6
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 0,5	VII	3	1	1,8	0,6
Общее наблюдение за ходом произв. процесса: постоянное		VIII	3	1	1,8	0,6
Периодическое при постоянном пребывании людей			1	0,3	0,7	0,2
Периодическое при периодическом пребывании людей			0,7	0,2	0,5	0,2
Общее наблюдение за инженерными коммуникациями			0,3	0,1	0,2	0,1

Примечания:

1. В районах с температурой наиболее холодной пятидневки по СНиП 23-01 минус 28 °С и ниже нормированных значений КЕО при совмещенном освещении следует принимать по табл. 5 СНиП 23-05-95\*.
2. В помещениях, специально предназначенных для работы и производственного обучения подростков, нормированное значение КЕО повышается на один разряд и должно быть не менее 1,0%.

Вопросы нормирования уровней освещенности являются компетенцией светотехников. Величины нормируемой искусственной освещенности для различных разрядов и подразрядов зрительных работ в промышленных зданиях, а также нормируемые величины искусственной освещенности в различных помещениях общественных зданий приведены в табл. 1,2 и прил. «И» СНиП 23-

05-95\* «Естественное и искусственное освещение». Для производственных зданий нормы приведены в табл. 5.4. В этих нормах каждому разряду зрительных работ и каждому виду помещений общественных зданий соответствует свое нормируемое значение КЕО при одном естественном, а также при совмещенном освещении.

Связь норм КЕО и нормируемых величин освещенности основывается на работах Т.А. Глаголевой, которая предложила определять нормируемые значения КЕО из условия равенства логарифмов количества естественного и искусственного освещения в помещении за год. В современных нормах эта связь определяется простым равенством количества искусственного и естественного освещения за год.

Так, например, в рабочих помещениях офисов нормируемый уровень искусственной освещенности  $E_u^{норм} = 300$  лк. Годовое количество искусственного освещения при 8-часовом рабочем дне и 6-дневной рабочей неделе составляет:

$$A_u^{год} = 300 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 4 \cdot 12 = 691\ 200 \text{ лк ч/год.}$$

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

Годовое количество естественного освещения снаружи получается интегрированием функций изменения наружной освещенности (рис. 5.19) по времени в каждом месяце и суммированием интегралов с умножением этой суммы на 24 (количество рабочих дней в месяце). Приблизительно для г. Москвы эта величина равна 24 000 000 лк. ч./год.

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

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

Нормируемые величины КЕО, найденные по таблицам в СНиП, умножаются на коэффициент светового климата района строительства в соответствии с табл. 5.2 и 5.3.

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

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

В жилых комнатах и кухнях жилых домов величина нормируемого КЕО равна 0,5%. На кухнях – в центре комнаты. В жилых комнатах 1-, 2- и 3-

комнатных квартир – в одной комнате – на линии характерного разреза на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от светопроемов. В других комнатах она располагается в центре. В 4- и более комнатных квартирах величина КЕО = 0,5% должна быть обеспечена в глубине помещений в двух жилых комнатах. В остальных комнатах расчетная точка располагается в центре помещения. В центральных и исторических районах городов нормы допускают, чтобы расчетные точки располагались в центре всех комнат в квартире.

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

В классах школ нормируемая величина КЕО, равная 1,5% при естественном и 1,3% при совмещенном освещении должна быть на условной рабочей поверхности на расстоянии 1,2 м от стены, наиболее удаленной от окон, на линии характерного разреза. В игровых и групповых детских дошкольных учреждений величина  $e_{норм} = 1,5\%$  должна быть обеспечена на полу на расстоянии 1.0 м от стены, наиболее удаленной от светопроемов. По отношению к школам и детским дошкольным учреждениям никаких послаблений требований норм в центральных и исторических районах городов не предусмотрено.

Здесь приведены наиболее важные нормативные требования к естественному освещению жилых и общественных зданий, наиболее часто встречающиеся в практике проектирования. Во всех других случаях необходимо обращаться к нормативным документам.

В помещениях с верхним и комбинированным<sup>1</sup> естественным освещением нормируется среднее значение КЕО. В большепролетных промзданиях величины КЕО ( $e_i$ ) рассчитываются не менее чем в пяти точках на пролет (рис. 5.22). Среднее значение КЕО ( $e_{cp}$ ) определяется по формуле

$$e_{cp} = \frac{1}{n-1} \left( \frac{e_i - e_n}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} e_i \right), \quad (5.38)$$

где  $n$  – количество расчетных точек.

При двустороннем боковом освещении КЕО нормируется в точке посередине помещения.

В крупногабаритных производственных помещениях при боковом освещении минимальное значение КЕО нормируется в точке, удаленной от светопроемов на:

- 1,5 высоты помещения для работ I-IV разрядов;
- 2,0 высоты помещения для работ V-VII разрядов;
- 3,0 высоты помещения для работ VIII разряда.

---

<sup>1</sup> Комбинированное освещение – когда в одном помещении имеется как боковое, так и верхнее естественное освещение.

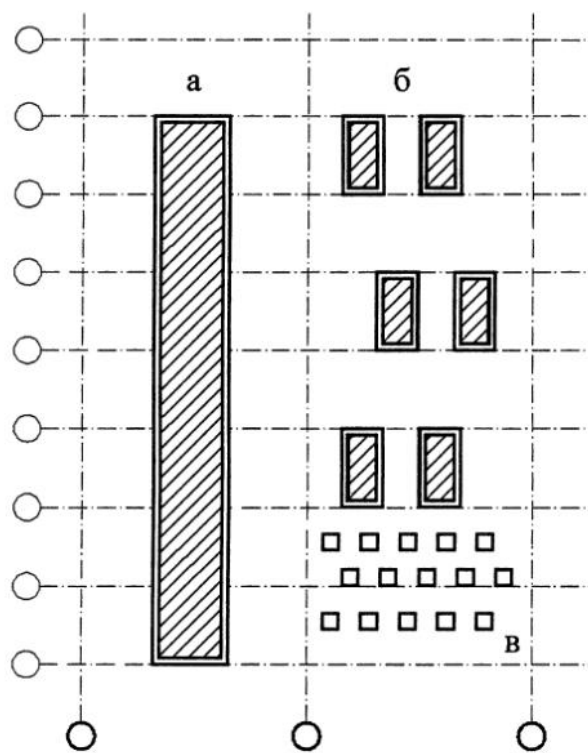


Рис. 5.22. Ленточные (а), панельные (б) и точечные (в) зенитные фонари (план кровли)

Допускается деление помещения на зоны с боковым освещением (зоны, примыкающие к наружным стенам с окнами) и зоны с верхним освещением. Нормирование и расчет естественного освещения в каждой зоне производится независимо друг от друга.

Качество естественного освещения регламентируется в нормах только с точки зрения неравномерности распределения КЕО по характерному разрезу помещения. Это касается только систем верхнего и комбинированного освещения. Неравномерность – это отношение среднего значения КЕО к его наименьшему значению в пределах характерного разреза помещения. Она не должна превышать 3:1.

Зарубежные нормы естественного освещения зданий подходят к нормированию по-другому.

Так, например, немецкие инженерные нормы DIN 5034-1:1999-10 требуют в жилых помещениях обеспечения достаточной светлоты помещения, которая определяется методами психофизики. Это требование обеспечивается при величине КЕО на уровне рабочей поверхности (УРП), т.е. на высоте 0,85 м над полом, в половине глубины помещения и на расстоянии 1 м от обеих боковых стен, в среднем равной 0,9%, а в наихудшей из этих точек – не менее 0,75%.

В помещениях с окнами в граничащих друг с другом стенах в наиболее невыгодной точке КЕО должен быть не менее 1%.

В рабочих помещениях величина КЕО никак не связывается с требованиями зрительной работы. Она подчиняется тем же требованиям. В рабочих помещениях, соответствующих по размерам жилым (глубина 6 м, высота 3,5 м, площадь 50 м<sup>2</sup>), должны обеспечиваться такие же величины КЕО в тех же расчетных точках.

Для других помещений с окнами до сих пор не существует требований относительно светлоты. Рабочие помещения с фонарями верхнего естественного света должны иметь на УРП величину КЕО (среднего по помещению)  $e_{\text{сред}} > 4\%$ . Это будет иметь место при 8% площади остекления от площади потолка. Если минимальное значение КЕО при верхнем естественном освещении меньше 2%, то помещение воспринимается как темное.

Остальные вопросы качества освещения:

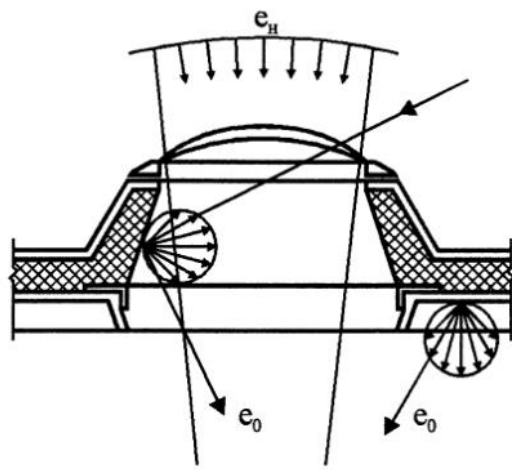
- создание определенных соотношений яркостей внутренних поверхностей помещения;
- обеспечение отсутствия слепимости от ярких плоскостей окон, контрастирующих с темными простенками и подоконными частями стен.

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

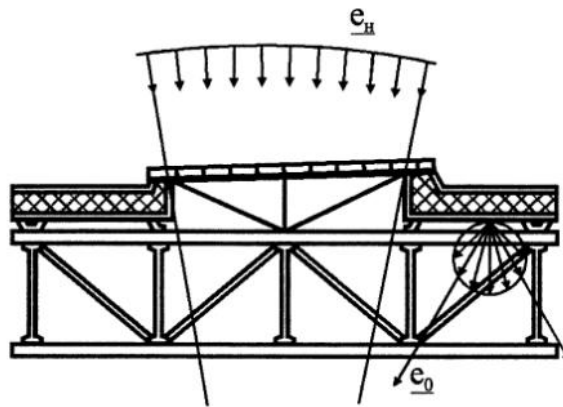
## **5.6. Проектирование систем естественного освещения**

Проектирование систем естественного освещения сводится в основном к выбору типа, формы и размеров светопроемов, а также их размещения в стенах и в покрытии. При боковом освещении жилых и общественных зданий форма и размеры светопроемов в значительной степени зависят от архитектурного решения здания. Здесь очень важно соблюдать баланс между архитектурно-художественными требованиями архитектора и требованиями рациональности, экономичности, требованиями обеспечения нормированных значений КЕО и энергоэффективности здания с учетом затрат энергии на электрическое освещение, на восполнение теплопотерь через светопроемы зимой и ликвидацию теплопоступлений через светопроемы летом с помощью вентиляции и кондиционирования воздуха.

Очень важным моментом при проектировании естественного освещения зданий является выбор системы естественного освещения. Наиболее традиционной системой естественного освещения в гражданских и промышленных зданиях являются окна. Они могут быть различных размеров и формы, штучные и ленточные (не имеющие простенков). От формы окон и расположения их в стене зависит распределение КЕО в помещении. При проектировании окон следует иметь в виду, что высота подоконника меньше влияет на величину КЕО в глубине помещения, чем высота верха окна над расчетной точкой. В то же время, высокое расположение окна в стене препятствует визуальному контакту с внешней средой. Поэтому во многих промышленных зданиях, а также в гражданских зданиях повышенной этажности целесообразно устраивать небольшие окна в нижних частях стен. Основная же часть остекления может располагаться в верхней части стены. Она может быть выполнена из материалов, рассеивающих свет, что обеспечивает защиту от солнца.



Зенитные купола с глубокими шахтами



Зенитные крупногабаритные ленточные фонари

Рис. 5.23. Зенитные фонари

Большое значение имеет выбор типа остекления и, в частности, количества слоев светопропускающего материала (одинарное, двойное, тройное остекление). Одинарное остекление может применяться в южных районах, в производственных зданиях, не оборудованных кондиционированием воздуха. В жилых домах севернее  $50^\circ$  с.ш. следует применять тройное остекление. В Москве это регламентировано Московскими городскими строительными нормами. Это связано с необходимостью снижения теплопотерь здания и экономией энергии. При этом следует иметь в виду, что увеличение количества слоев остекления приводит к снижению светопропускания окон. Следовательно, при тройном остеклении требуется большая площадь остекления, чем при двойном.

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

Системы верхнего естественного освещения применяются в основном в промышленных зданиях и в некоторых типах гражданских зданий, таких как



школы, спортивные залы, крупные торговые здания и т.п. В основном это фонари верхнего естественного света.

Существует три типа фонарей:

1. Зенитные (остекление ориентировано на зенитную часть неба).
2. Фонари-надстройки (П-образные, М-образные, трапецеидальные).
3. Шедовые фонари (с односторонним остеклением и пилообразной кровлей).

ЗЕНИТНЫЕ ФОНАРИ бывают ленточные, панельные и точечные.

Ленточные зенитные фонари были распространены в России в производственных зданиях конца XIX века. В настоящее время они имеют широкое распространение в Европе. Согласно закону проекции телесного угла они имеют высокую светоактивность. Однако их недостатком является то, что они пропускают в помещение прямые солнечные лучи, что в производственных зданиях недопустимо, и требуют специальной солнцезащиты. Кроме того, эти фонари практически не используют отраженный свет от кровли (*рис. 5.23*).

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

Преимуществом фонарей-надстроек является то, что прямые солнечные лучи меньше попадают в помещение. Кроме того, свет, отраженный от прилегающих участков кровли, особенно если кровля светлая, отражается на потолок фонаря, и оттуда – на рабочую поверхность (*рис. 5.24*). Это может значительно увеличить освещенность в зоне под фонарем. Разделение функций естественного освещения и аэрации показано на примерах светоаэрационного фонаря системы Батурина (40-е годы XX) и модификации английского фонаря BRS-Monitor для России (*рис. 5.25* и *5.26*). Современные П-образные фонари-надстройки используют преимущества зенитных фонарей. В них крыша устраивается из современного эффективного светопрозрачного материала с сотовой структурой – поликарбоната, обладающего хорошими теплозащитными качествами и являющегося одновременно в некоторой степени солнцезащитой. Естественно, что в этом случае функции освещения и аэрации должны быть строго разделены.

Недостатком фонарей-надстроек при их близком расположении друг к другу в кровле является возможность образования снеговых мешков. Поэтому при их проектировании следует учитывать зимнюю розу ветров.

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

На *рис. 5.27* показана типичная для России конструкция шедового ткацкого

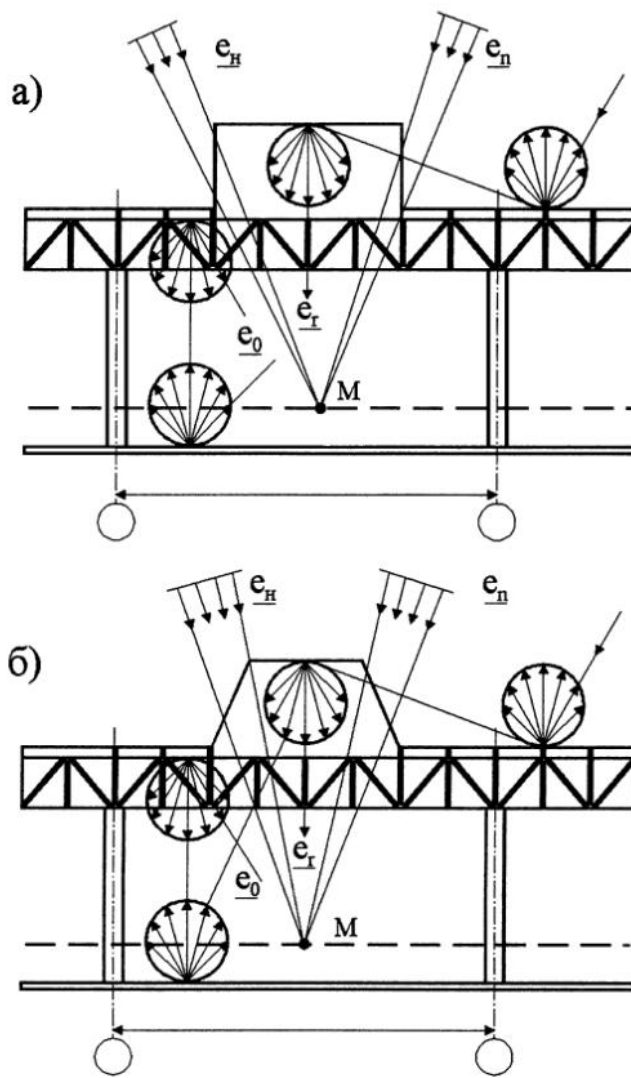


Рис. 5.24. Фонари-надстройки:  
а) П-образные; б) трапециевидные

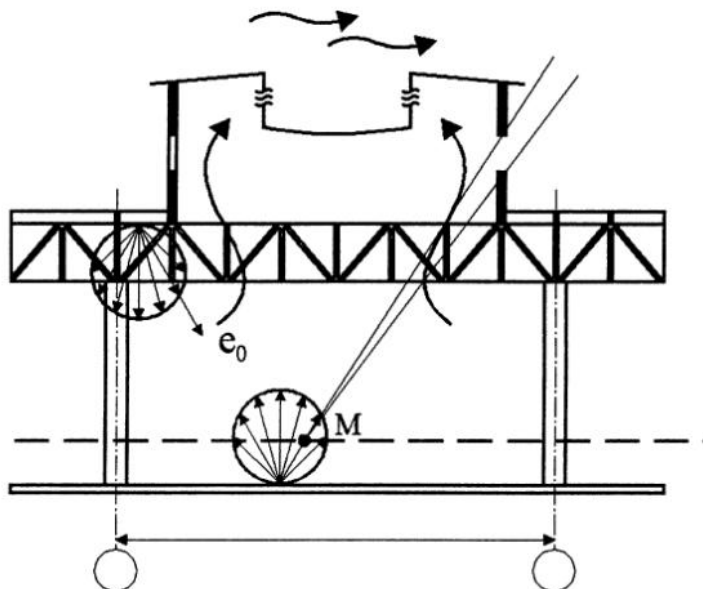


Рис. 5.25. Светоаэрационный фонарь-надстройка системы Батурина

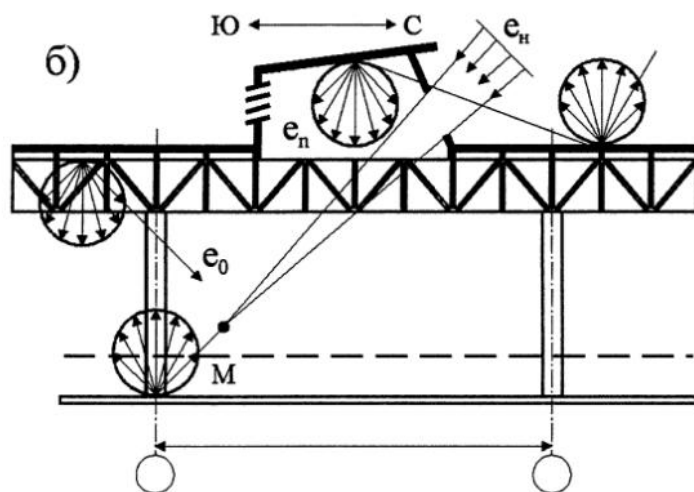


Рис. 5.26. Российский вариант светоаэрационного фонаря BRS-Monitor

цеха конца XIX в. Остекление ориентировано на север, поэтому прямые солнечные лучи практически не попадают в помещение. Направление световых потоков – верхне-одностороннее, что повышает величину КЕО на вертикальных поверхностях, характерных для ткацкого производства. Преимущество шедовых фонарей в их естественной солнцезащите при ориентации остекления на север, а также в очень хорошем использовании отраженного света от кровли, в том числе и солнечного. Недостаток – возможность образования снеговых мешков у остекления, что приводит к перегрузкам конструкции и протечкам. Поэтому в СССР неоправданно отказались от строительства шедовых зданий, хотя они и очень целесообразны в малоснежных солнечных районах, таких как юг России и некоторые районы Забайкалья.

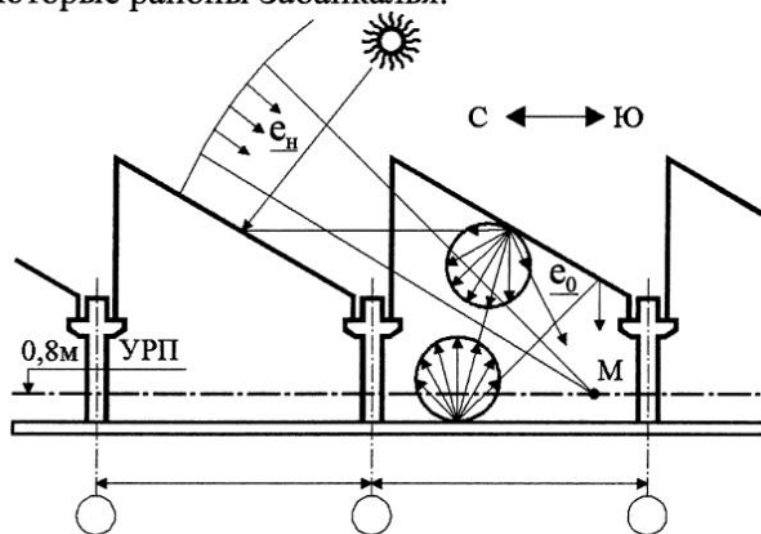


Рис. 5.27

Наиболее простым, но приближенным способом определения размеров светопроемов является геометрический, при котором площадь проемов устанавливается в долях (или %) от площади пола. Этот метод, как правило, применяется на стадии проработки проекта для выбора площади остекления. Для жилых зданий опыт показывает, что для этой цели можно использовать следующую таблицу:

## Отношение площади окон к площади пола в жилых помещениях

Конструкция окон		Рекомендуемая относительная площадь окон, %, при глубине комнаты, м			
Переплеты	Кол-во слоев стекла	2,5-3,5	3,5-4	4-5	5-6
Одинарные	1	10	13	15	18
Спаренные	2	12,5	14	18,5	22
Раздельные	2	13,5	15,5	21	25
Раздельно-спаренные	3	17	25	-	-

Для бокового освещения площадь окон может быть определена по формуле

$$100 \frac{S_o}{S_{II}} = \frac{e_{норм} \cdot \eta_o}{\tau_o \cdot r_o} \cdot \kappa_{зд} \cdot \kappa_3, \quad (5.39)$$

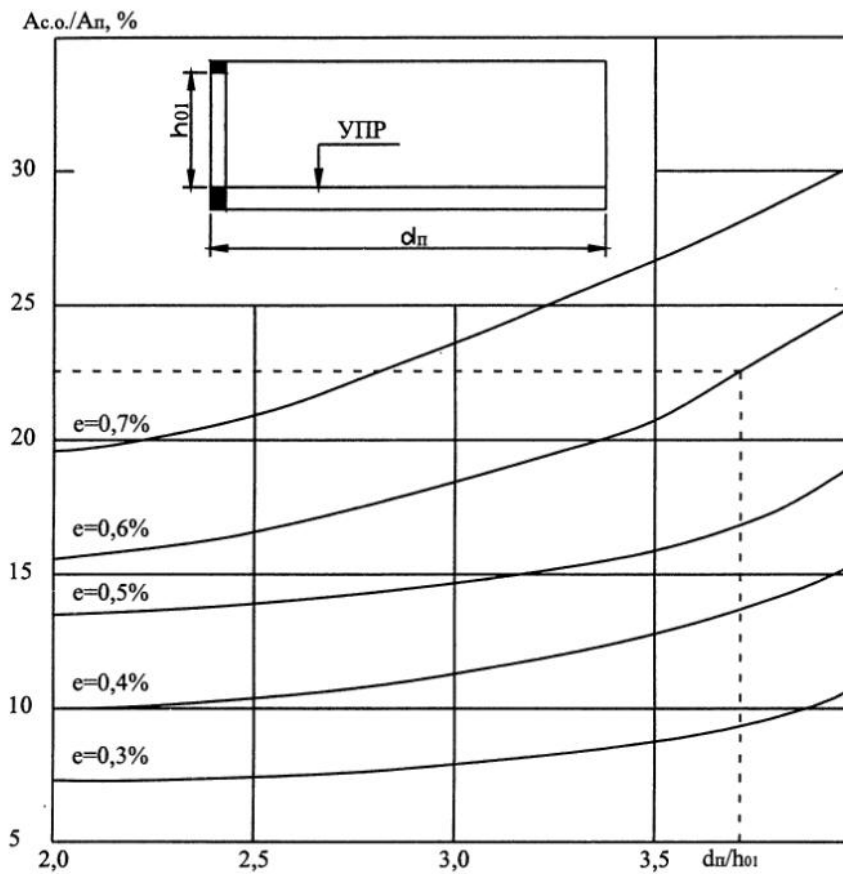
здесь  $S_o$  и  $S_{II}$  - площадь окон и площадь пола, м;  $e_{норм}$  - нормируемый КЕО при боковом освещении;  $\tau_o$  - общий коэффициент светопропускания проемов;  $r_o$  - коэффициент, учитывающий влияние отраженного света в расчетной точке;  $\kappa_{зд}$  - коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями, определяется в соответствии с прил. 5.11;  $\kappa_3$  - коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светопроемов;  $\eta_o$  - световая характеристика окон, показывающая отношение площади окон к площади пола в %, обеспечивающее значение КЕО = 1% в расчетной точке в глубине помещения на условной рабочей поверхности (прил. 5.12).

Для верхнего естественного освещения:

$$100 \frac{S_{\phi}}{S_{II}} = \frac{e_{норм} \cdot \kappa_3 \cdot \eta_{\phi}}{\tau_o \cdot r_2 \cdot \kappa_{\phi}}, \quad (5.40)$$

здесь  $S_{\phi}$  - площадь световых проемов (в свету) при верхнем освещении;  $\eta_{\phi}$  - световая характеристика фонаря, определяемая по табл. прил. 5.13 и 5.14;  $r_2$  - коэффициент, учитывающий влияние отраженного света при верхнем освещении, принимаемый по табл. прил. 5.8;  $\kappa_{\phi}$  - коэффициент, учитывающий тип фонаря, применяемый по табл. прил. 5.9.

Для наиболее распространенных геометрических и светотехнических параметров боковых светопроемов и помещений в Своде правил СП 23-102-2003 приведены графики для определения относительной площади светопроемов, несколько упрощающие расчет по формуле (5.39). Эти графики для бокового освещения помещений и школьных классов приведены на рис. 5.28 и рис. 5.29. Графиком на рис. 5.30 можно пользоваться для предварительного определения площади окон в общественных зданиях и в производственных цехах. Графики (рис. 5.28- 5.30) разработаны для деревянных спаренных открывающихся переплетов окон. Если в проекте приняты другие типы заполнения световых



**Рис. 5.28.** График для определения относительной площади световых проемов  $A_{c.o.}/A_n$  при боковом освещении жилых помещений

проемов, то найденные по *рис. 5.28-5.30* значения  $A_{c.o.}/A_n$ , %, следует делить или значения КЕО – умножать на коэффициент  $k_1$ , приведенный в табл. 5.19.

Для предварительного расчета площади светопроемов при верхнем освещении следует применять графики *рис. 5.31-5.34*.

Пользуясь приближенными методами расчета площади светопроемов предварительно определяют их размеры. Размещение светопроемов в стенах производится с учетом архитектурного облика здания, необходимости обеспечения зрительного контакта с внешней средой. На стадии окончательного проектирования и согласования проекта рассчитывают значения КЕО в расчетных точках помещений. Для помещений с боковыми проемами достаточно расчета КЕО в определенной нормами расчетной точке.

В глубоких помещениях некоторых общественных и промышленных зданий требуется определить зону с достаточным естественным освещением. Для этого на характерном разрезе на условной рабочей поверхности выбираются расчетные точки (не менее 5 в пролете). В них определяют расчетные значения КЕО. Строится график распределения КЕО по характерному разрезу помещения, на который наносится горизонтальная прямая, соответствующая нормируемому значению КЕО. Точка пересечения этой прямой и графика КЕО позволяет определить величину зоны с достаточным естественным освещением.

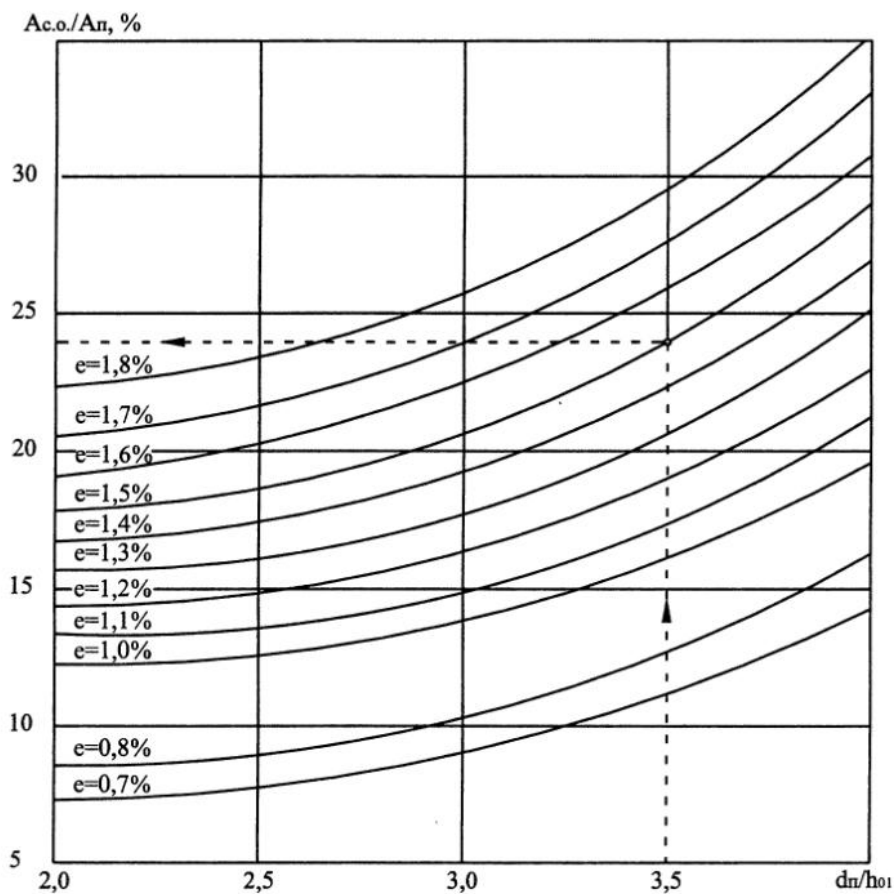


Рис. 5.29. График для определения относительной площади световых проемов  $A_{c.o.}/A_{п}$  при боковом освещении школьных классов

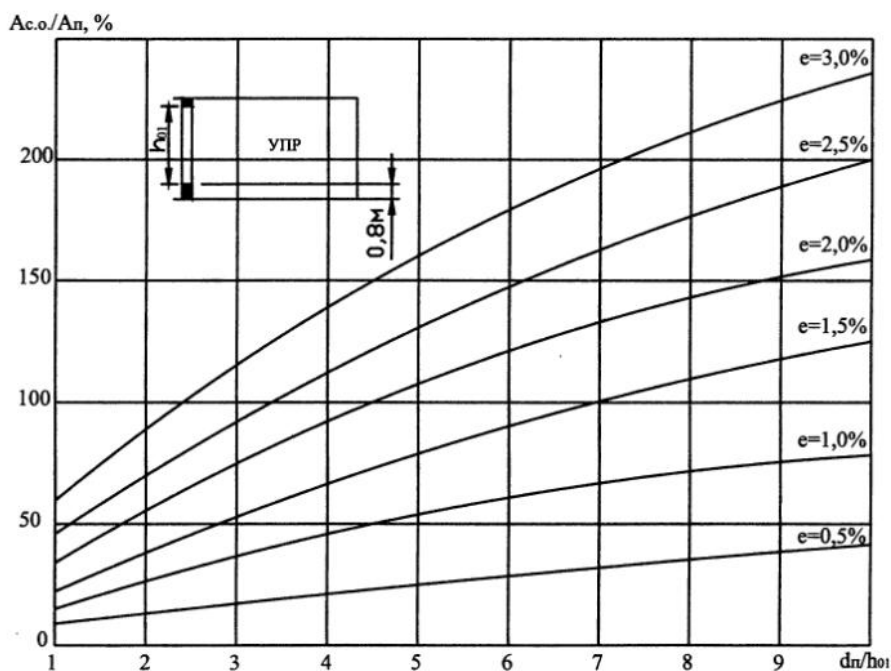
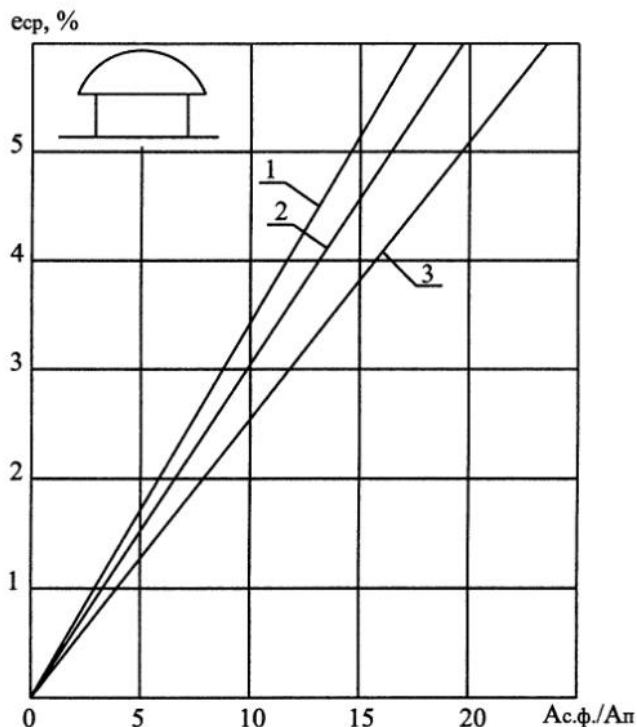


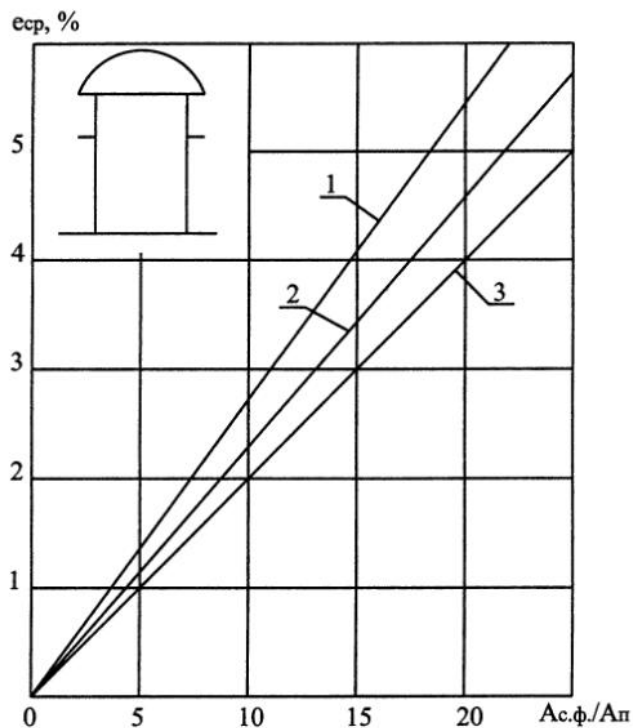
Рис. 5.30. График для определения относительной площади световых проемов  $A_{c.o.}/A_{п}$  при боковом освещении общественных зданий

Тип заполнения	Значения коэффициента $K_1$ для графиков на рисунках
	5,29 и 5,30
Один слой оконного стекла в стальных одинарных глухих переплетах	1,26
То же, в открывающихся переплетах	1,05
Один слой оконного стекла в деревянных одинарных открывающихся переплетах	1,05
Три слоя оконного стекла в раздельно-спаренных металлических открывающихся переплетах	0,82
То же, в деревянных переплетах	0,59
Два слоя оконного стекла в стальных двойных открывающихся переплетах	0,75
То же, в глухих переплетах	—
Стеклопакеты (два слоя остекления) в стальных одинарных открывающихся переплетах*	1,00
То же, в глухих переплетах*	1,15
Стеклопакеты (три слоя остекления) в стальных глухих спаренных переплетах*	1,00
Пустотелые стеклянные блоки	0,70

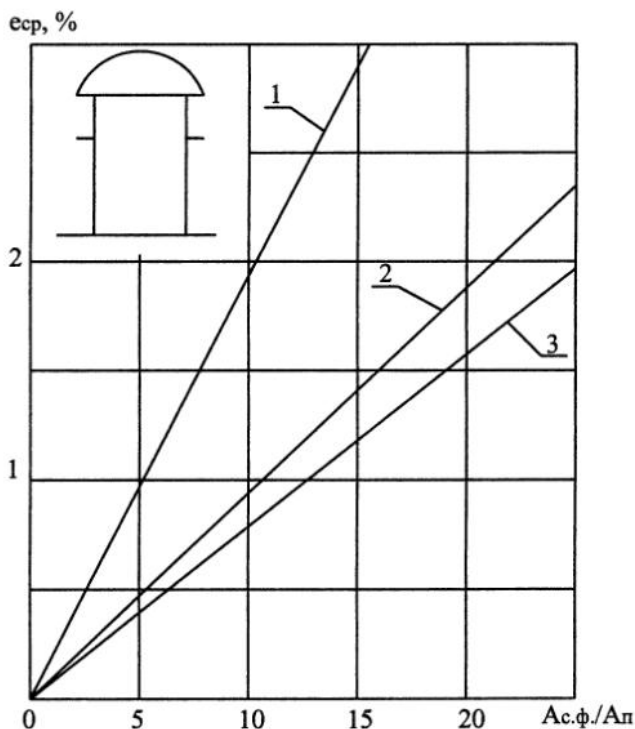
\* При применении других видов переплетов (ПВХ, деревянные и др.) коэффициент  $K_1$  принимают по таблице 3 до проведения соответствующих испытаний.



**Рис. 5.31.** График для определения среднего значения КЕО  $e_{ср}$  в помещениях с зенитными фонарями с глубиной проема до 0,7 м размерами в плане, м:  
 1 – 2,9 x 5,9; 2 – 2,7 x 2,7; 2,9 x 2,9;  
 1,5 x 5,9; 3 – 1,5 x 1,7

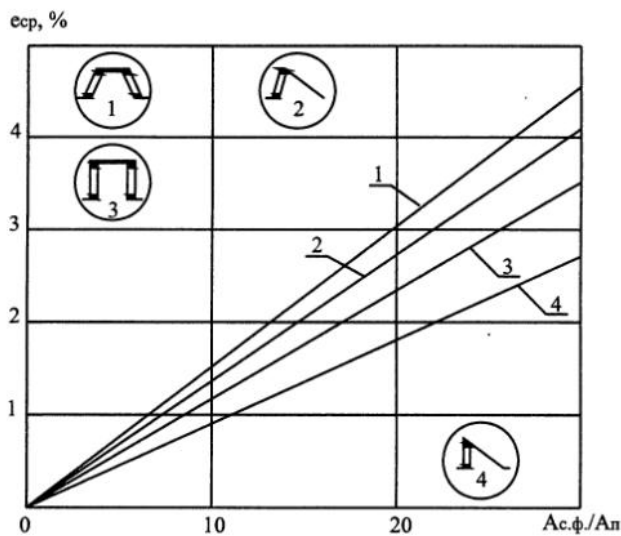


**Рис. 5.32.** График для определения среднего значения КЕО  $e_{ср}$  в общественных помещениях с шахтными фонарями с глубиной светопроводной шахты 3,50 м и размерами в плане, м:  
 1 – 2,9 x 5,9; 2 – 2,7 x 2,7; 2,9 x 2,9;  
 1,5 x 5,9; 3 – 1,5 x 1,7



**Рис. 5.33.** График для определения среднего значения КЕО  $e_{ср}$  в общественных помещениях с шахтными фонарями диффузного света с глубиной светопроводной шахты 3,50 м и размерами в плане, м:  
 1 – 2,9 x 5,9; 2 – 2,7 x 2,7; 2,9 x 2,9;  
 1,5 x 5,9; 3 – 1,5 x 1,7





**Рис. 5.34.** График для определения среднего значения КЕО  $e_{ср}$  в общественных помещениях с фонарями: 1 – трапециевидный фонарь; 2 – шед, имеющий наклонное остекление; 3 - прямоугольный фонарь; 4 – шед, имеющий вертикальное остекление

## 5.7. Примеры проектирования и расчетов естественного освещения

*Пример 1.* Запроектировать систему естественного освещения (ЕО) в трехпролетном производственном здании механосборочного цеха (рис.5.35). Зрительная работа средней точности, разряд IV, подразряд «в». Здание строится в г. Саратове. Ориентация продольных стен – В-З.

По табл. 1 из СНиП 23-05-95\* (см. табл. 5.4) нормируемые значения КЕО:  $e = 4,0\%$  при верхнем ЕО и  $e = 1,5\%$  при боковом ЕО.

По табл. 3 из СНиП (см. табл. прил. 5.7) коэффициент запаса для вертикального остекления  $K_z = 1,3$ ; для горизонтального остекления  $K_z = 1,6$ .

Здание предполагается построить в г. Саратове; по табл. 5.2 г. Саратов относится ко 2-му административному району по ресурсам светового климата. По табл. 5.3 коэффициент светового климата для окон при ориентации их на В-З  $m = 0,9$ ; для зенитных фонарей  $m = 0,9$ . Таким образом, значение нормируемого КЕО равно:

При боковом ЕО:  $e_{норм} = 1,5 \times 0,9 = 1,35\%$ ;

При верхнем ЕО:  $e_{норм} = 4,0 \times 0,9 = 3,6\%$ .

Разобьем площадь цеха на участки, освещаемые боковыми светопроемами и фонарями верхнего света. Согласно п. 5.5\* СНиП при боковом освещении величина КЕО нормируется в точке условной рабочей поверхности на расстоянии 1,5 высоты от пола до верха светопроемов (для разряда IV). При высоте  $h_{о1} = 6,0$  м глубина зоны, освещаемой боковыми светопроемами, составляет  $B = 6 \cdot 1,5 = 9,0$  м.

Необходимую площадь окон в здании определяем по формуле (5.39)

$$100 \frac{S_o}{S_{II}} = \frac{e_n \cdot \eta_o}{\tau_o \cdot r_o} \cdot K \cdot K_{зд}.$$

Здесь площадь пола, освещаемая боковыми светопроемами, равна:

$$S_n = 72 \cdot 9 \cdot 2 + (54 - 2 \cdot 9) \cdot 9 \cdot 2 = 1944 \text{ м}^2 \text{ (см. рис. 5.23);}$$

$$e_n = 1,35\%.$$

$$\tau_o = 0,8 \cdot 0,6 = 0,48 \text{ (переплеты двойные, открывающиеся, металлические).}$$

$$K = 1 \text{ (противостоящие здания отсутствуют).}$$

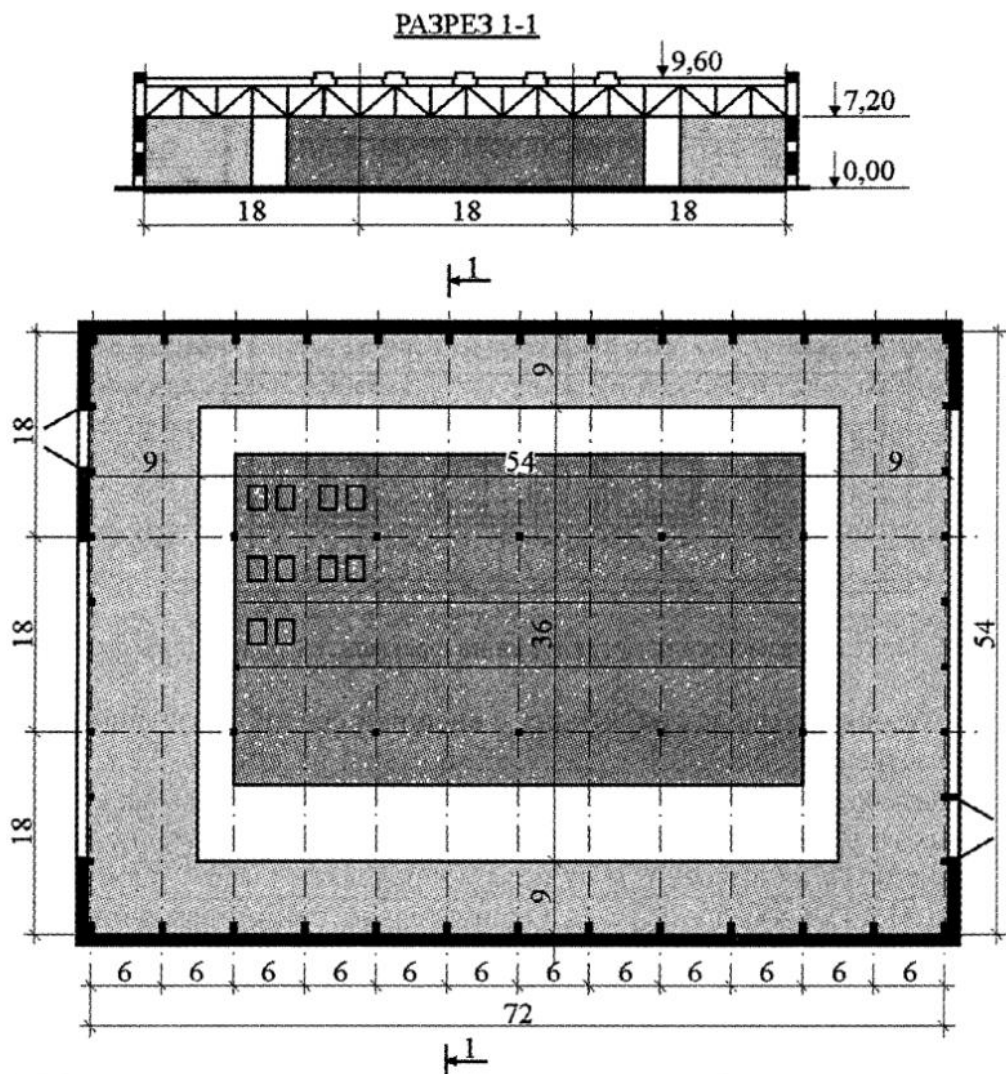


Рис. 5.35. Пример плана и разреза трехпролетного механосборочного цеха в г. Саратове

$$K_3 = 1,3;$$

$r_o$  определяем по табл. прил. 5.4 при отношении глубины помещения (половина ширины здания) к высоте от условной рабочей поверхности до верха окна  $h_1 = 6 - 0,8 = 5,2$  м.

$B/h_1 = 5,19$ , при отношении длины помещения  $L_n$  к его глубине  $B$ , равном  $L_n/B = 72/27 = 2,67$ . и при отношении расстояния расчетной точки от внутренней поверхности наружной стены  $l = 9$  м к глубине  $B = 27$  м:  $l/B = 0,33$ .

По интерполяции при двухстороннем освещении и при  $\rho_{cp} = 0,4$ ;  $r_o = 1,23$ .

Световую характеристику окон  $\eta_o$  находим по таблице прил. 5.12 при  $L_n/B = 2,67$  и при  $B/h_1 = 5,19$  величина  $\eta_o = 11,78$ . По формуле (5.39):

$$S_o = 1944 \cdot 1,35 \cdot 11,78 \cdot 1 \cdot 1,3 / (0,48 \cdot 1,23 \cdot 100) = 680,73 \text{ м}^2.$$

По графику (см. рис. 5.30) величина  $S_o$  с учетом табл. 5.6 равна  $790 \text{ м}^2$ . Для проектирования принимаем меньшую величину.

Для удобства проектирования разделим требуемую площадь окон на количество шагов наружных стен, в которых требуется устройство этих окон (за вычетом тех шагов, где предусматриваются по проекту ворота и глухие стены, например у торцов здания) (см рис.5.35). У нас таких шагов 35. Таким образом, в каждой ячейке стены размерами  $6 \times 7,2$  м требуется разместить остекление площадью  $680,73/35 = 19,45 \text{ м}^2$ .

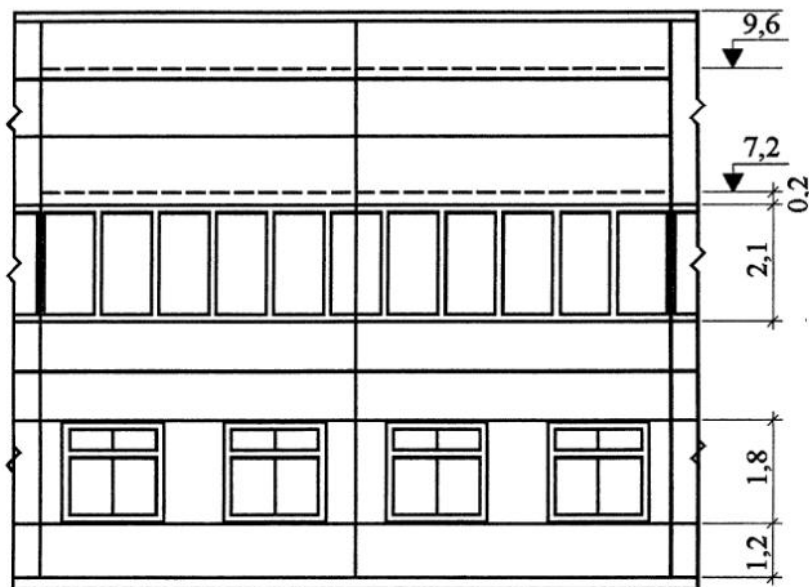


Рис. 5.36. Пример размещения остекления на фрагменте продольного фасада цеха

Для обеспечения зрительного контакта с внешней средой и для освещения рабочих мест в непосредственной близости от наружной стены на высоте 1,2 м от пола размещаем 2 окна размерами 1,8x1,8 м общей площадью 6,48 м. Для освещения рабочих мест, удаленных от наружной стены, применяем ленточное остекление, верхняя граница которого находится на высоте 6 м от пола. Определяем высоту этой ленты остекления. Она равна  $(19,45-6,48)/6 = 2,16$  м. Окончательно принимаем модульную высоту верхней ленты остекления – 2,1 м. Полученная таким образом картина продольного фасада производственного здания представлена на рис. 5.36.

Для освещения средней части здания принимаем систему верхнего естественного освещения из зенитных точечных фонарей с достаточно высокими бортами, чтобы предотвратить инсоляцию помещения и его перегрев. В Саратове летом это имеет важное значение.

Площадь пола, освещаемая зенитными фонарями, составляет:

$$S_n = 72 \cdot 54 - 1944 = 1944 \text{ м}^2.$$

Расчет необходимой площади фонарей производим по формуле (5.40)

$$100 \frac{S_\phi}{S_\Pi} = \frac{e_{\text{норм}} \cdot K_3 \cdot \eta_\phi}{\tau_o \cdot r_2 \cdot K_\phi}.$$

Для верхнего освещения:

$$e_n = 3,6\%;$$

$$S_n = 1944 \text{ м}^2;$$

$$K_3 = 1,6;$$

$\tau_o = 0,8 \cdot 0,9 = 0,72$  (однокамерный стеклопакет, в пределах светового отверстия переплетов нет, стальные фермы, защитная сетка при наличии закаленного стекла может отсутствовать),

$H_\phi/l_1 = 9,6/18 = 0,53$ ,  $\rho_{cp} = 0,4$  и  $n = 3$ ;  $r_2 = 1,1$ ;  $K_\phi = 1,1$  (фонари штучные в плоскости покрытия);

$\eta_\phi$  определяется по табл. прил. 5.14 при  $S_2/S_\delta = 3,23/9,65 = 0,33$  и при индексе помещения  $i = 72 \cdot 54 / 8,8(72+54) = 3,51$ ;  $\eta_\phi = 2,0$ ;

$$S_\phi = 1944 \times 3,6 \times 1,6 \times 2,0 / (0,72 \times 1,1 \times 1,1 \times 100) = 257,1 \text{ м}^2.$$

По графику (рис. 5.31)  $S_{\phi} = 252,7 \text{ м}^2$ , что практически совпадает с расчетом по формуле 5.40.

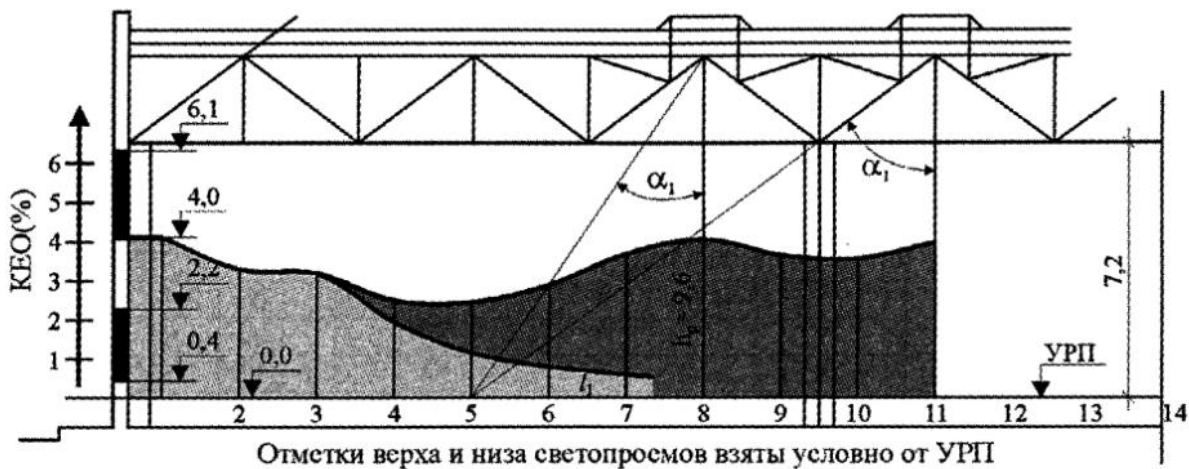
Площадь остекления одного штучного фонаря составляет  $1,5 \cdot 1,7 = 2,55 \text{ м}^2$ , следовательно, для освещения средней части здания потребуется примерно 100 фонарей. Для равномерного размещения их в покрытии разделим площадь, освещаемую фонарями, на ячейки  $6 \times 6 \text{ м}$ , т.е. площадью  $36 \text{ м}^2$ .

1944:  $36 = 54$  ячейки. В каждой по  $100 : 54 = 1,85$ , т.е. примерно по 2 фонаря.

Схема размещения фонарей в покрытии приведена на рис. 5.35.

Следующим этапом является расчет значений КЕО в точках характерного разреза помещения от боковых светопроемов и от фонарей верхнего естественного освещения. Фрагменты разреза и плана цеха приведены на рис. 5.37.

**РАЗРЕЗ 1-1**



**ПЛАН ЦЕХА**

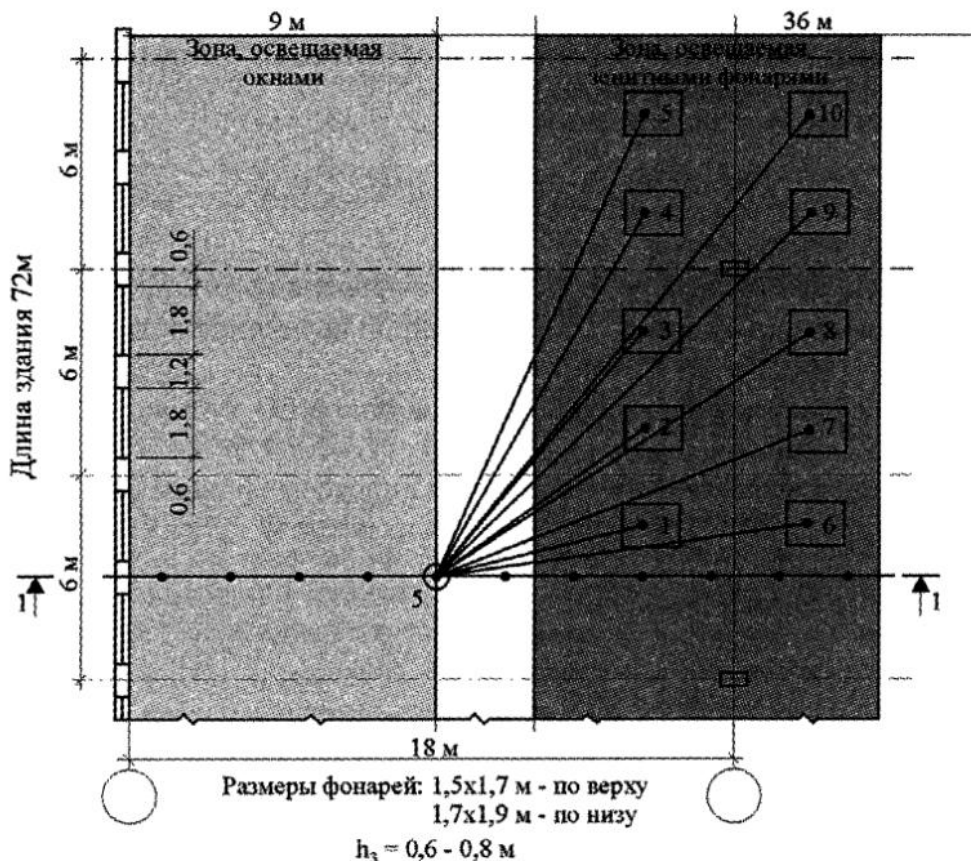


Рис. 5.37. Фрагмент разреза и плана здания цеха, на которых рассчитывались значения КЕО.

Расчет КЕО для боковых светопроемов проводим в табличной форме для точек на условной рабочей поверхности на линии характерного разреза посередине цеха на расстоянии 1 м, 3 м, 5 м, 7 м и 9 м от окна. Для нижних окон и для верхнего ленточного окна расчеты проводим раздельно.

Так как стен внутри нет, то расчет отраженного света ведем как для двустороннего освещения.  $\tau_0 = 0,8 \cdot 0,6 = 0,48$ ;  $B = 27$  м.;  $l_n = 72$  м.;  $K_3 = 1,3$ .

Для нижних окон  $B/h_{01} = 27/2,2 = 12,27$ ;  $l_n/B = 72/27 = 2,67$ .

№ точек	$l, \text{м}$	$l/B$	$\alpha_{но}$	$\alpha_{во}$	$\theta$	$q$	$n_1$	$n_2$	$\varepsilon\%$	$r_0$	$e_{но} = \varepsilon q r_0 \tau_0 / K_3$ %
1	1	0,04	21,80	59,42	40,61	0,99	20,99	40,0	8,40	1,05	3,22
2	3	0,11	7,59	33,69	20,64	0,73	7,96	49,2	3,92	1,06	1,12
3	5	0,18	4,57	22,54	13,55	0,63	3,66	50,0	1,83	1,09	0,43
4	7	0,26	3,27	16,77	10,02	0,58	2,04	50,0	1,02	1,17	0,25
5	9	0,33	2,54	13,31	7,93	0,55	1,29	49,0	0,63	1,23	0,16

Для верхних окон при  $\tau_0 = 0,48$ ;  $K_3 = 1,3$ ;  $B/h_1 = 27/6,1 = 4,43$ ;  $l_n/B = 2,67$ .

№ точек	$l, \text{м}$	$l/B$	$\alpha_{но}$	$\alpha_{во}$	$\theta$	$q$	$n_1$	$n_2$	$\varepsilon\%$	$r_1$	$e_{во}$ %	$e = e_{н.о.} + e_{в.о}$ %
1	1	0,04	75,96	77,97	74,98	1,26	1,71	85	1,45	1,05	0,71	3,93
2	3	0,11	53,13	61,59	48,92	1,07	6,21	86	5,34	1,06	2,24	3,36
3	5	0,18	38,66	49,01	36,38	0,94	6,25	85	5,31	1,09	1,84	3,27
4	7	0,26	29,74	39,88	28,66	0,84	5,04	84	4,23	1,17	1,53	1,79
5	9	0,33	23,96	33,26	23,50	0,77	3,88	84	3,26	1,23	1,14	1,30

Таким образом, от системы боковых светопроемов в точке 5 величина расчетного КЕО составляет 1,30%, что в пределах точности расчета соответствует  $e_{норм}$  при боковом освещении ( $e_{норм} = 1,35\%$ ).

Рассмотрим, как влияет система верхнего естественного освещения на величину КЕО в точке 5. Для этого используем формулу (5.21):

$$\varepsilon_1 = 100 A_{\phi.с.} \sum_{i=1}^{N_{\phi}} q(\alpha) (\cos \alpha)^{(2+2/\kappa_c)} / \pi h_p^2.$$

В этой формуле в зависимости от положения фонаря по отношению к точке 5 меняются только значения  $q(\alpha) (\cos \alpha)^{(2+2/\kappa_c)}$ ; постоянной величиной остается

$$100 A_{\phi.с.} / \pi h_p^2 = 100 \times 1,5 \times 1,7 / 3,14 \times 9,6 = 0,881;$$

Считаем, что существенное влияние на величину КЕО в точке 5 оказывают ближайшие к ней 16 фонарей (см. схему плана и разреза *рис. 5.37*).

Величина  $K_c$  определяется в соответствии с индексом фонаря при  $\rho_d = 0,8$ , размеры зенитного фонаря в плане по верху 1,5x1,7 м, по низу 1,7x1,9 м, средняя высота стенки  $h_3 = 0,7$  м.

$$\alpha = \arctg \frac{l_i}{h_p};$$

$$i_{\phi} = 2(A_{\phi.с.} + A_{\phi.н.}) / (\sqrt{\pi} \cdot h_3 \cdot (P_{\phi.с.} + P_{\phi.н.})), \quad (5.19)$$

$$i_{\phi} = 2(1,5 \times 1,7 + 1,7 \times 1,9) / (\sqrt{3,14} \times 0,7 \times ((1,5 + 1,7) \times 2 + (1,7 + 1,9) \times 2)) = 0,685$$

$$\kappa_c = 0,44; 2 + 2/0,44 = 6,545.$$

№ точек	$l, м$	$\alpha$	$q(\alpha)$	$\cos \alpha$	$(\cos \alpha)^{6,54}$	$\varepsilon_j =$ $= 0,881 \cdot q(\alpha) \cdot (\cos \alpha)^{6,545}$
1	6,4	33,69	1,13	0,832	0,300	0,299
2	7,8	9,09	1,09	0,776	0,190	0,182
3	9,6	45	1,04	0,707	0,103	0,094
4	12,3	52,03	0,96	0,615	0,042	0,036
5	14,8	57,03	0,92	0,544	0,019	0,015
6	12,0	51,34	0,98	0,625	0,046	0,040
7	12,8	51,13	0,97	0,600	0,030	0,026
8	14,0	55,56	0,93	0,565	0,024	0,020
9	15,7	58,56	0,88	0,522	0,014	0,011
10	17,8	61,66	0,85	0,475	0,007	0,006

$$\sum \varepsilon_j = 1,458\% ;$$

$$\sigma_{np} = 1,458 \cdot 0,72 / 1,6 = 1,26\% \quad (5.22)$$

$$\varepsilon_{cp} = \frac{e_{норм} \cdot K_3}{r_2 K_{\phi} \tau_o} ;$$

$$\varepsilon_{cp} = \frac{3,6 \cdot 1,6}{1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,72} = 6,61\%$$

$$\sigma_{omp} = \frac{6,61(1,1-1) \cdot 0,72}{1,6} = 0,30\%$$

см. формулу 5.23

$$e = 1,26 + 0,30 = 1,56\% .$$

В точке 5 от системы бокового естественного освещения  $e = 1,30\%$   
от системы верхнего естественного освещения  $e = 1,56\%$  (с запасом).  
Итого:  $e = 2,86\%$ .

Аналогично можно рассчитать увеличение расчетного КЕО в точке 4 и т.д.

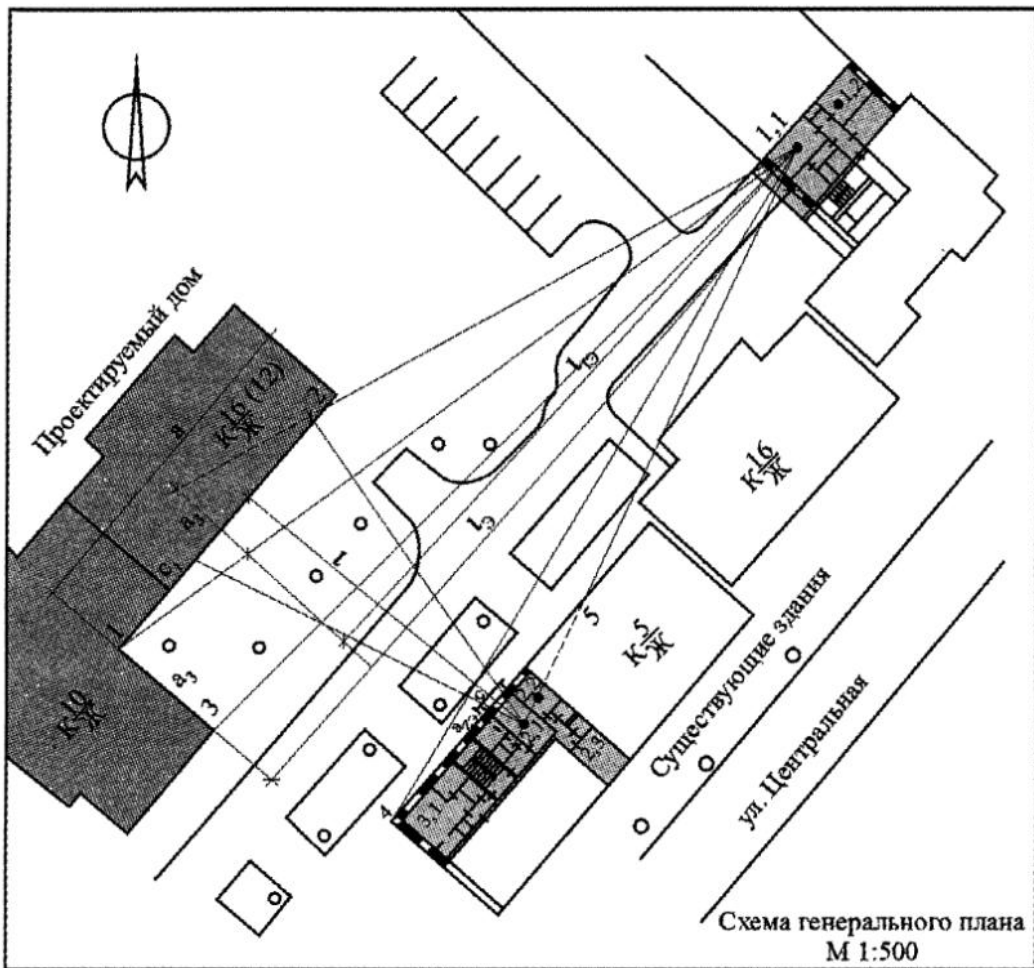
Даже без увеличения расчетных КЕО за счет верхнего освещения в точках 1, 2, 3 и 4 можно считать, что при комбинированном освещении среднее значение КЕО по характерному разрезу соответствует требованиям Норм.

$$e = (3,93 + 3,36 + 3,27 + 1,79 + 2,86 + 3,6 + 3,6 + 3,6 + 3,6 + 3,6 + 3,6 + 3,6 + 3,6 + 3,6) / 14 = 3,40\% ;$$

Разница с нормируемым значением КЕО  $\Delta = ((3,6 - 3,40) / 3,6) \cdot 100 = 6,0\% < 10\%$ , что допустимо по нормам.

При этом, как видно из *рис. 5.35*, мы разместили в кровле не 100 фонарей, как полагалось по расчету, а 80, оставив промежуточную зону между зоной, освещаемой окнами, и зоной, над которой в кровле размещены фонари, для освещения суммарным светом обеих систем естественного освещения.

**Пример 2.** Рассчитать и сравнить с нормативными требованиями величину КЕО в жилой комнате 2.1 трехкомнатной квартиры на 1-м этаже существующего 5-этажного жилого дома в связи с проектированием противостоящего 16-этажного здания согласно генплану, приведенному на *рис. 5.38*. Рельеф участка спокойный, без уклонов. Высота пола 1-го этажа над уровнем земли в обоих домах принята одинаковой.



**Рис. 5.38.** Схема генплана для расчета естественного освещения в жилых комнатах существующих зданий окружающей застройки при строительстве противостоящего многоэтажного здания

Длина комнаты согласно плану БТИ  $d_n = 5,6$  м, ширина  $a_n = 2,90$  м. Окно шириной  $e_{с.п} = 2,10$  м, высотой  $h_o = 1,5$  м, высота подоконника над уровнем пола  $h_n = 0,9$  м. Толщина стены  $\Delta ст = 0,6$  м. Над окном расположен балкон глубиной  $0,9$  м.  $\tau_4 = 0,9$ . Остекление двойное в деревянных спаренных переплетах  $\tau_1 \cdot \tau_2 = 0,8 \times 0,75 = 0,6$ . Расчетная точка на полу в центре комнаты.

Противостоящее здание – 16-этажный крупнопанельный жилой дом. Средневзвешенный коэффициент отражения фасада  $\rho_\phi = 0,40$ . Высота парапета крыши над расчетной точкой в комнате 2.1 составляет  $H_p = 2,8 \times 16 + 2,5 = 47,3$  м. (2,5 м – высота чердака и парапета крыши). По генплану расстояние от окна комнаты 2.1 до противостоящего дома  $l = 30$  м, длина расчетной части противостоящего дома  $a = 31$  м.

Согласно рис.5.38 и формулам (5.14 и 5.15)

$$\alpha_1 = \arctg(0,9/(5,6/2)) = 17,82^\circ; \quad \alpha_2 = \arctg(0,9+1,5)/((5,6/2)+0,6) = 35,22^\circ.$$

$$n'_1 = ((\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)/2) \times 100 = 6,83;$$

$$\gamma = \arctg((1,5/(2(5,6/2) \times 0,895)) = 13,48.$$

$$n'_2 = (13,48 + 13,48) \times 3,14 / 180 + 2 \sin 13,48 \times \cos 13,48 \times 100 / 3,14 = 29,40$$

По таблице прил. 5.3 при  $d_n/h_{o1} = 5,6/2,4 = 2,33$ ;  $a_n/d_n = 2,90/5,6 = 0,52$  и при  $l_n/d_n = 0,5$  (расчетная точка в центре комнаты), по интерполяции находим величину  $r_0 = 1,46$ .

Угол превышения парапета противостоящего 16-и этажного дома над расчетной точкой составляет:

$$\alpha_{\text{внз}} = \arctg(47,3/(30+5,6/2+0,6)) = 50,64^\circ > \alpha_2 = 35,22^\circ.$$

Это значит, что противостоящее здание полностью затеняет расчетную точку, и на величину КЕО в ней влияет только отраженный свет от него.

$$\varepsilon_{\text{зд}} = 0,01 \cdot n'_1 \cdot n'_2 = 6,83 \cdot 29,40 \cdot 0,01 = 2,01\%.$$

По табл. 5.1 определяем коэффициент, учитывающий относительную яркость фасада противостоящего здания при  $\rho_\phi = 0,40$ .

$$l/a = 30/31 = 0,97; a/H_p = 31/47,3 = 0,65; b_\phi = 0,18.$$

По табл. 5.3 находим коэффициент  $K_{\text{зд.о}}$ , учитывающий перераспределение отраженного света внутри помещения, вызванное отражением от противостоящего здания в верхнюю часть комнаты (на потолок и на верхнюю часть стен).

$$\text{При } Z_1 = \frac{a(l_T + \Delta_{cm})}{(l + l_T + \Delta_{cm}) \cdot b_o} = \frac{31 \cdot (5,6/2 + 0,6)}{(30 + 5,6/2 + 0,6) \cdot 2,1} = 1,5;$$

$$Z_2 = \frac{H_p(l_T + \Delta_{cm})}{(l + l_T + \Delta_{cm})(h_o + h_{\text{ПД}})} = \frac{47,3 \cdot (5,6/2 + 0,6)}{(30 + 5,6/2 + 0,6) \cdot (1,5 + 0,9)} = 2,0.$$

$K_{\text{зд.о}} = 1,27$ ; так как противостоящее здание полностью затеняет расчетную точку, то  $K_{\text{зд.о}} = K_{\text{зд}}$ .

Расчет КЕО ведем по формуле (5.6), где  $\varepsilon_\delta \cdot q = 0$ , так как из расчетной точки не виден небосвод и составляющая КЕО от прямого света неба отсутствует.

$$e_b = \varepsilon_{\text{зд}} \cdot b_\phi \cdot K_{\text{зд}} \cdot r_0 \cdot \tau_0 / \kappa_3;$$

$$e_b = 2,01 \cdot 0,18 \cdot 1,27 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 1,46/1,2 = 0,31\%.$$

Расчетное значение КЕО  $e_b = 0,31\%$  меньше предельно допустимого по СНиП:

$e_n^{\text{пред}} = 0,5 - (0,5 \cdot 10)/100 = 0,45\%$  (допускается снижение нормируемого КЕО на 10%, т.е. в пределах точности расчета).

Применим очень светлую отделку фасада противостоящего здания, например белую фасадную краску,  $\rho_\phi = 0,55$ .

В этом случае  $b_\phi = 0,26$ ;  $K_{\text{зд}} = 1,18$ .

$$e_b = 2,01 \cdot 0,26 \cdot 1,18 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 1,46/1,2 = 0,40\%$$

Даже очень светлый фасад противостоящего здания не увеличивает расчетное КЕО до минимально допустимого по нормам. Необходимо снижение этажности проектируемого здания.

Уменьшим количество этажей противостоящего здания до 12. Тогда  $H_p = 2,8 \times 1,2 + 2,5 = 36,1$ ;  $\alpha_{\text{внз}} = \arctg(36,1/(30+5,6/2+0,6)) = 47,22^\circ > \alpha_2 = 35,22^\circ$ .

Это значит, что и в этом случае из расчетной точки неба видно не будет.

$$l/a = 0,97; a/H_p = 31/36,1 = 0,86; \text{ при } \rho_\phi = 0,55, b_\phi = 0,28.$$

$$Z_1 = 1,5; Z_2 = 36,1 \cdot (5,6/2 + 0,6) / ((30 + 5,6/2 + 0,6) \cdot (1,5 + 0,9)) = 1,53.$$

$$K_{\text{зд.о}} = 1,32 = K_{\text{зд}}$$

$$e_b = 2,01 \cdot 0,28 \cdot 1,32 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 1,46/1,2 = 0,49\% \approx 0,5\%.$$

Расчетное значение КЕО хотя и меньше нормы, но находится в пределах допустимого.

В этой же квартире 5-этажного дома имеется еще одна комната 2.2, проверка расчетного значения КЕО в которой необходима. Однако можно предположить, что величина КЕО в центре этой комнаты будет не меньше, чем в комнате 2.1, так как несмотря на меньшую ширину окна, расчетная точка расположена ближе к окну и над этим ок-



ном нет балкона. В комнатах 2.1 и 2.2 расчетные точки могут быть расположены в центре, так как в этой квартире имеется третья комната 2.3, окно которой не затеняется противостоящими зданиями и в ней расчетную точку можно взять на расстоянии 1 м от задней стены.

Однокомнатная квартира 3 с жилой комнатой 3.1 имеет лучшие условия естественного освещения, так как в этой комнате имеется два окна, причем окно в торцевой стене не затеняется противостоящими зданиями.

Таким образом, строительство нового дома при снижении этажности секции напротив существующего 5-этажного дома с 16- до 12- этажей при очень светлой (белой) окраске фасада не приведет к нарушению норм естественного освещения в жилых комнатах и кухнях в существующем 5-этажном доме.

Более сложный случай расчета КЕО представлен на схеме *рис.5.38* для комнаты 1.1 в северо-восточном углу двора. Здесь расчетная величина КЕО состоит из четырех частей:

- $e_1$  - часть КЕО, отраженная от проектируемого здания (12-этажная секция) с расчетной эквивалентной длиной  $a_{1э}$ ;
- $e_3$  - часть КЕО, отраженная от проектируемого здания (10-этажная секция) с расчетной длиной  $a_{3э}$ ;
- $e$  - часть КЕО от прямого света неба (участок не затеняется противостоящими зданиями);
- $e_2$  - часть КЕО, отраженная от существующего 5-этажного дома с расчетной эквивалентной длиной  $a_{2э}$ .

Порядок расчета для каждой из частей аналогичен приведенному в примере 2. Отличие может заключаться лишь в том, что на участках, затеняемых противостоящими зданиями, соответствующая часть КЕО может состоять из двух составляющих (от прямого света неба и от света, отраженного от противостоящего здания). При этом расчет проводится по формуле (5.6) без сокращений. Коэффициент, учитывающий относительную яркость неба ( $q$ ), рассчитывается по среднему углу возвышения участка неба, видимого из расчетной точки через окно, над расчетной точкой по формуле (5.7).

## 5.8. Измерение естественной освещенности

В отдельных случаях, например при проведении экспертиз, возникает необходимость в объективной оценке естественного освещения помещений на основе измерений КЕО с помощью люксометров. Современные фотометрические приборы в качестве датчика имеют кремниевые фотоэлементы, снабженные желтыми и зелеными светофильтрами, корригирующими их спектральную чувствительность соответственно спектральной чувствительности человеческого глаза, а также специальными насадками косинусной коррекции. Коррекция спектральной чувствительности и по косинусу может производиться также с помощью ЭВМ. Селеновые фотоэлементы применяются реже, так как они недолговечны, требуют постоянной градуировки на фотометрической скамье. Их чувствительность зависит от температуры воздуха.

Учитывая, что все расчеты и нормы КЕО имеют в качестве основного допущения пасмурное небо МКО, измерения КЕО могут производиться только при сплошной десятибалльной облачности. Однако могут быть исключения,

например в случае измерения КЕО при наличии световодов или светонаправляющих устройств. При этом величина КЕО становится условной. А при измерении наружной освещенности необходимо экранировать прямой свет солнца. При расчетах эффективности таких устройств в качестве величины наружной освещенности следует принимать суммарную освещенность от прямого солнца и неба ( $E_D$ ).

Для измерения КЕО заготавливается журнал натурных измерений, в котором указываются место, время и погодные условия во время измерений, приборы, коэффициент пропорциональности между показаниями люксометров (в случае некачественных приборов), геометрические параметры помещения и светопроемов, коэффициенты отражения внутренних и прилегающих наружных поверхностей, вид заполнения проема и его загрязнение. Коэффициент запаса определяется путем деления показаний люксометра при положении датчика в вертикальной плоскости снаружи стекла и внутри за стеклом. Коэффициенты отражения поверхностей измеряются с помощью рефлексометра. Кроме этих данных журнал должен содержать таблицы для записи результатов измерений.

Результаты измерений внутри помещения обычно в пяти точках на рабочей поверхности, заранее размеченных по характерному разрезу, синхронизируются по времени с результатами измерений наружной освещенности, производящихся на открытой незатененной площадке, желательно на крыше здания. Для этого наружная освещенность измеряется ежеминутно. Около каждого результата записывается время измерения. Внутренняя освещенность в намеченных точках измеряется в это же время. Время каждого измерения также записывается. При заполнении журнала измерений в графе «наружная освещенность» выбирается результат, совпадающий по времени с результатом измерения внутренней освещенности в данной точке. Измерение в каждой точке для исключения случайных ошибок следует проводить не менее двух раз. Полученные результаты необходимо усреднить.

КЕО в процентах определяется делением показания внутреннего люксометра на показание наружного люксометра и умножается на 100. При наличии «тарировочного» коэффициента  $k$  между показаниями внутреннего ( $N_{внутр.}$ ) и наружного ( $N_{внеш.}$ ) люксометра величину КЕО удобно определять по формуле

$$KEO = (k \cdot N_{внутр} / N_{внеш}) \cdot 100.$$

Иногда при сложной конфигурации помещения и светопроемов, а также в исследовательских целях необходимо проводить измерения естественной освещенности на моделях помещений. Из-за большого непостоянства естественного неба желательно использовать установку «искусственный небосвод». Такие установки в России имеются только в университетах и Научно-исследовательском институте строительной физики Академии архитектуры и строительных наук. Подробно методика измерений и типы установок «искусственный небосвод» приводятся в учебном пособии «Лабораторный практикум по строительной физике» (см. список литературы).

## 5.9. Совмещенное освещение помещений

Выбор параметров искусственной световой среды, длительно воздействующей на человека и существенно отличающейся по своим параметрам от естественной, необходимо увязывать с составом и режимом естественного освещения. Это особенно важно, когда естественный и искусственный свет работают совместно. Такие условия создаются в утренние и вечерние часы, когда уровни наружной естественной освещенности недостаточны для обеспечения необходимых условий работы внутри помещения, а также в глубоких помещениях с боковыми светопроемами, в зонах с недостаточным естественным освещением. В зданиях с системами верхнего естественного освещения такие условия создаются из-за сознательного уменьшения площади зенитных фонарей с целью снижения теплопотерь зимой в северных районах или с целью ограничения солнечных теплопоступлений летом в южных районах.

В зависимости от планировочного решения, геометрических пропорций и назначения помещений различают пять схем совмещения естественного освещения с искусственным (рис.5.39).

Схема 1 (рис.5.39, а) может применяться в небольших помещениях глубиной 6-8 м. Как правило, в рабочих кабинетах такой глубины существует небольшая зона, в которой невозможно обеспечить нормируемое значение КЕО. В этой зоне необходимо дополнительное искусственное освещение. Если источники света тщательно подобраны по спектральному составу, а осветительные приборы – по форме и расположению, то дополнительное искусственное освещение почти незаметно, и возникает впечатление, что помещение целиком освещено естественным светом. Расчеты показывают, что в этом случае площадь окон можно несколько уменьшить и тем самым достигнуть некоторого снижения единовременных капитальных вложений при незначительном увеличении эксплуатационных расходов. В районах с экстремальными климатическими условиями эксплуатационные расходы уменьшатся за счет снижения теплопотерь зимой и расходов на отопление в северных районах и снижения теплопоступлений и расходов на охлаждение в помещениях с кондиционированием воздуха в южных районах.

Схема 2 (рис. 5.39, б) применяется в глубоких помещениях большой площади с боковым естественным освещением. В светлое время суток достаточная естественная освещенность обеспечивается только в приоконной зоне на расстоянии не более чем 1,5 высоты от уровня рабочей поверхности до верха светопроема. Вследствие низких значений КЕО на всей остальной площади помещения возникает необходимость в искусственном освещении в течение всего рабочего времени.

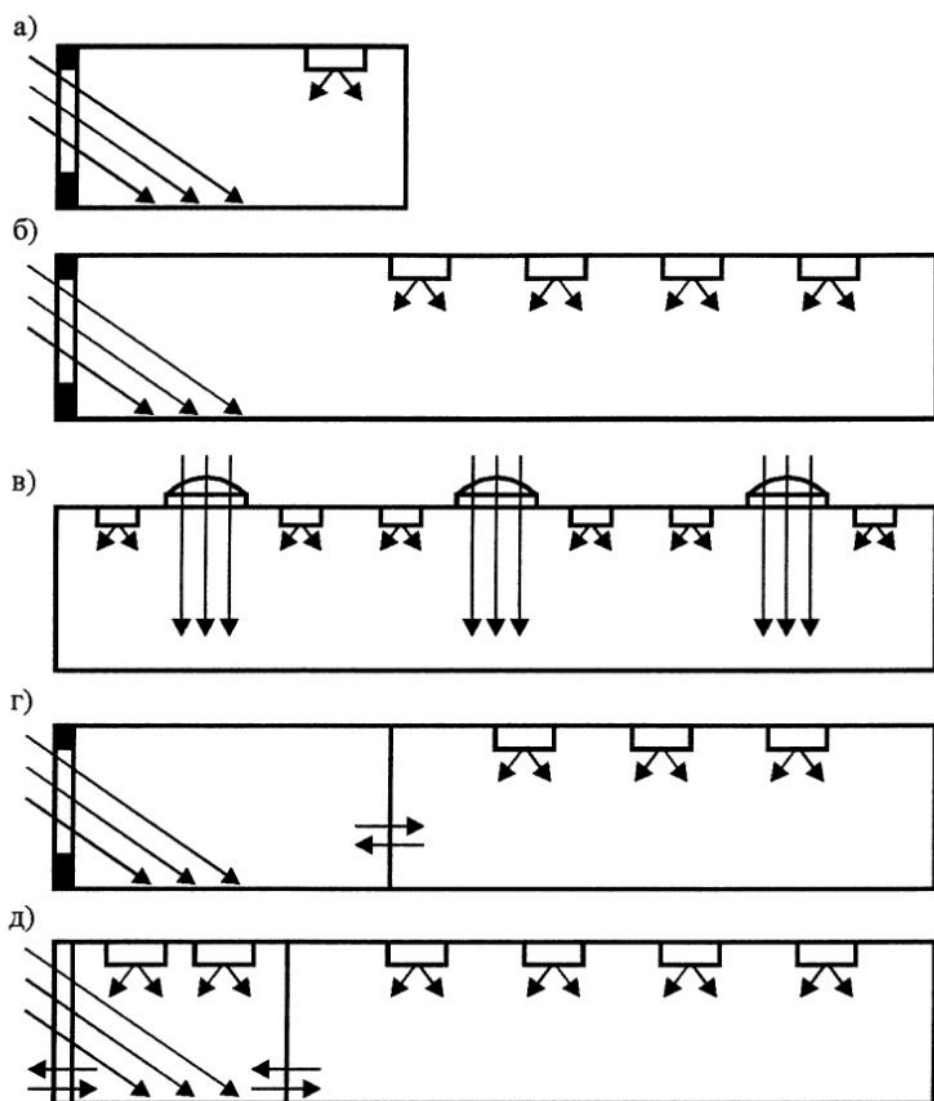


Рис. 5.39

Естественное освещение в таких помещениях устраивается для обеспечения зрительного контакта с внешней средой, устранения монотонности световой среды, которая возникает при одном искусственном освещении.

Схема 2 целесообразна для больших производственных помещений с боковыми светопроемами, для помещений «ландшафтных» бюро, в торговых и выставочных залах. При этом уровни освещенности на большей площади этих помещений не зависят от колебаний наружной освещенности, однако за счет колебаний освещенности в приоконной зоне не возникает ощущения монотонности световой среды. Для снижения контраста между яркими участками неба, видимыми через светопроемы, и освещенными только отраженным светом простенками и надоконными частями стены необходимо устройство постоянно действующего надоконного («гардинного») освещения. Размеры, форма и расположение проемов должны выбираться исходя из требований визуального контакта с внешней средой. Такая схема применяется в широких многоэтажных корпусах промышленных зданий, а также в общественных зданиях с ат-

риумами. Эти здания особенно целесообразны в северных районах из-за сокращения теплопотерь через наружные ограждения здания.

Схема 3 (рис.5.39, в) применяется в зданиях с верхним естественным освещением. Размещение осветительных приборов в этом случае должно увязываться с расположением световых проемов в покрытии. При наличии дополнительного искусственного освещения может быть экономически целесообразным увеличение неравномерности естественного освещения и снижение расчетных значений КЕО по сравнению с нормируемыми. Особенно целесообразным это может быть в районах с экстремальными климатическими условиями. Однако, как показали технико-экономические расчеты, и в условиях умеренного климата одноэтажные здания с верхним естественным освещением, в которых принята уменьшенная площадь фонарей, оказываются более экономичными, благодаря снижению единовременных капитальных затрат на покрытие и снижению эксплуатационных затрат на отопление.

Схема 4 (рис.5.39, г) применяется в зданиях, в которых интерьер делится на две зоны: одна из зон имеет достаточное естественное освещение; другая освещается одним искусственным светом. Освещение этих различных зон интерьера при постоянном движении людей из одной зоны в другую должно быть увязано между собой по интенсивности, спектральному составу и направлению световых потоков. Важно, чтобы переход из одного помещения в другое был как можно менее заметным.

Схема 5 (рис.5.39, д) применяется в помещениях, которые служат «световым шлюзом» между наружным пространством и интерьером, полностью лишенным естественного света, например вестибюли бесфонарных производственных зданий, крупных торговых центров и подземных сооружений). В этом случае важным фактором является градация интенсивности света между уровнями наружного естественного освещения и значительно более низкими уровнями в помещениях с одним искусственным освещением.

Длина помещения, которое служит транзитной зоной между интерьером и наружным пространством, должна определяться на основе средней скорости движения людей и необходимого времени для переадаптации. Устройство подобных «световых шлюзов» у входа и выхода больших зданий позволит устранить явление «светового шока», который наблюдается при выходе из помещения с относительно низкой освещенностью наружу в ясный солнечный день. Однако гораздо более важным является переход из ярко освещенного наружного пространства в помещение с одним искусственным освещением. Для этого требуется процесс двойной переадаптации, когда человек входит снаружи в относительно темное помещение (например, в гардеробно-душевой блок административно-бытового корпуса производственного предприятия). После темновой адаптации человек переходит в помещение цеха со значительно более высокими уровнями освещенности. В результате такой переадаптации яркости в помещении цеха будут казаться человеку сопоставимыми по величине с яркостями наружного пространства.

При одновременном использовании естественного и искусственного освещения к последнему предъявляются требования в отношении цветности, интенсивности и способов включения и регулирования.

В установках совмещенного освещения спектральные характеристики искусственного освещения должны быть, с одной стороны, увязаны со спектром естественного света, а с другой соответствовать требованиям технологического процесса.

Нормы СНиП разрешают применение совмещенного освещения для производств с работами I-III разрядов, а также для производственных и других помещений, когда по условиям технологии или климата в месте строительства требуются объемно-планировочные решения, которые не позволяют обеспечить нормируемое значение КЕО. Допускается также применение совмещенного освещения, если его применение обосновано экономически путем соответствующих расчетов.

В жилых и общественных зданиях, а также в административно-бытовых помещениях промзданий совмещенное освещение допускается в случаях, когда это связано с выбором рационального объемно-планировочного решения здания, за исключением жилых комнат домов и общежитий, номеров гостиниц, спальных помещений санаториев и домов отдыха, групповых и игровых комнат детских садов, палат лечебно-профилактических учреждений и спальных комнат интернатов для престарелых и инвалидов. Нормируемое значение КЕО при этом составляет не менее 87% от нормируемых значений КЕО при естественном освещении для учебно-производственных помещений школ, школ-интернатов, учебных заведений начального и среднего профессионального образования и не менее 60% для остальных помещений.

В учебных и учебно-производственных помещениях школ, школ-интернатов и учебных заведений начального и среднего профессионального образования при совмещенном освещении следует предусматривать отдельное включение рядов светильников, расположенных параллельно светопроемам. Желательно устройство автоматически регулируемого совмещенного освещения. Нормируемая искусственная освещенность в таких помещениях должна быть повышена на одну ступень по шкале освещенности.

Шкала освещенности в лк: 0.2; 0.3; 0.5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 10; 15; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 4000; 4500; 5000.

В помещениях общественных зданий, за исключением групповых и игровых комнат в детских садах, учебных и учебно-производственных помещений учебных заведений начального и среднего образования, а также палат больниц, спальных комнат в санаториях, домах отдыха и пансионатах для престарелых и инвалидов, допускается деление помещений на зоны с достаточным и недостаточным естественным освещением.

Совмещенное освещение может быть двух типов:

- постоянное дополнительное искусственное освещение;

- автоматически регулируемое совмещенное освещение.

Постоянное дополнительное искусственное освещение отличается от общего искусственного освещения только уровнем, который может быть даже выше нормируемого, а также «гардинным» освещением для снижения контраста яркостей светопроемов и простенков.

Техническими вопросами автоматически регулируемого совмещенного освещения занимаются специалисты-электротехники. При проектировании естественного освещения вопросы автоматического регулирования дополнительного искусственного освещения рассматриваются с точки зрения выбора рациональной системы естественного освещения. При этом экономически целесообразные размеры светопроемов могут значительно отличаться от требуемых для обеспечения нормируемых значений КЕО.

Автоматически регулируемое совмещенное освещение может быть дискретным (ступенчатым) и непрерывным (плавным).

Дискретное автоматически регулируемое совмещенное освещение заключается в отключении рядов светильников, параллельных окнам, при повышении наружной освещенности и во включении этих рядов при уменьшении наружной освещенности. Эти включения и отключения должны происходить в строгом соответствии с изменением зоны с достаточной естественной освещенностью, т.е. там, где уровни естественной освещенности будут равны критическим. В помещениях с системой верхнего естественного освещения дискретная система заключается в автоматическом включении и отключении нескольких групп или рядов светильников, каждая из которых создает на рабочей поверхности одинаковые уровни освещенности:

$$E_i = E_u^{норм} / n. \quad (5.41)$$

Здесь  $n$  – количество таких групп. Критическая освещенность для  $i$ -той группы светильников определяется по формуле

$$E_{i,кр.} = 100E_i \cdot i / e \text{ (лк)}; \quad (5.42)$$

Технико-экономические расчеты показывают, что с помощью дискретной системы автоматического регулирования можно получить экономию электроэнергии на освещение в среднем около 25% в зависимости от светового климата местности и от нормируемого уровня искусственной освещенности по сравнению с ручным включением всей системы искусственного освещения. Причем, например, при равномерном верхнем естественном освещении максимальная экономия электроэнергии достигается при уровне нормируемой искусственной освещенности, равном 750 лк во всех светоклиматических районах. При больших или меньших нормируемых уровнях экономия уменьшается.

Непрерывное автоматически регулируемое совмещенное освещение является более сложной, но и более эффективной системой. Экономия электроэнергии при применении такой системы в среднем достигает 35-40%. Однако главным преимуществом обоих видов автоматически регулируемого совмещенного

освещения является повышение комфортности светового режима, исключение таких ситуаций, когда освещенность на рабочих местах будет ниже нормы из-за несвоевременного включения искусственного освещения.

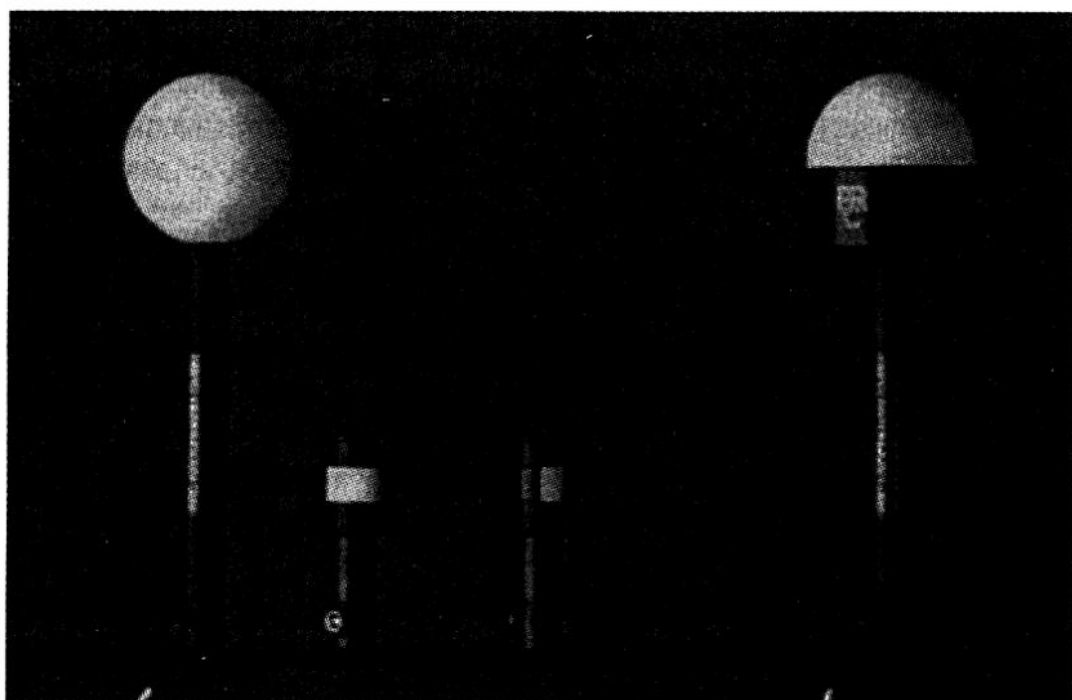
### **5.10. Современные тенденции в расчетах и проектировании естественного и совмещенного освещения**

Развитие науки о естественном освещении зданий привело к тому, что современные представления о физике этого вопроса постепенно приходят к универсальному понятию о естественном световом поле. Согласно оптической теории естественного светового поля, предложенной Д.В. Бахаревым, световое поле в какой-либо точке помещения на бесконечно малой поверхности (участок плоскости, сфера, полусфера, цилиндр, полуцилиндр, стоящие вертикально) представляет собой размытое оптическое изображение внешней среды, проецируемое в эту точку из внешнего пространства через светопроем. На него накладываются оптические изображения внутренних поверхностей помещения, которые еще более размыты многократными отражениями. Практически из точки помещения, поместив туда приемник излучения (глаз, фотоэлемент с различными насадками), можно «видеть» внешний мир и окружающее пространство, как видит его «камера обскура».

Если рассматривать точку внутри помещения как некое бесконечно малое объемное тело, на поверхности которого концентрируются световые потоки от различных окружающих элементов интерьера, включая светопроемы, то ее можно представить как тело неравномерной яркости, интеграл которой по его поверхности в соответствующем пересчете даст величину пространственной освещенности. Величина пространственной освещенности, с одной стороны, может быть измерена с помощью современных приборов, *рис.5.40*. С другой - она может быть рассчитана с помощью формул, разработанных в МГСУ. Величины пространственной освещенности могут быть использованы в качестве инструмента для оценки условий зрительной работы. Таким образом, оптическая теория естественного светового поля является качественно новым этапом развития теории естественного освещения. Она дополняет классическую теорию светового поля А.А. Гершуна, позволяя подойти к точному расчету любых характеристик внутренней световой среды как на внутренних поверхностях помещения, так и в точках внутреннего пространства. Зная значения таких характеристик, можно судить о соответствии внутренней световой среды требованиям по решению зрительных задач. Определение этих требований, а также разработка инженерных методов приложения этой теории к решению практических задач ведутся в настоящее время светотехнической школой МГСУ, представители которой работают в технических университетах Магнитогорска, Макеевки (Украина), Душанбе (Таджикистан), Ханоя (Вьетнам), Улан-Батора (Монголия). Применение оптической теории светового поля для проектирования естественного и совмещенного освещения позволяет:



1. Снизить требуемые уровни освещенности для выполнения зрительных работ, особенно в случае объемных и рельефных объектов различения, за счет оптимального соотношения пространственной и направленной освещенности и ее оптимального направления. При проектировании естественного освещения это выражается в рациональном выборе типов, размеров и размещения светопроемов.
2. Преодолеть двойной подход к нормированию бокового и верхнего естественного освещения, обусловленный горизонтальным расположением условной рабочей поверхности.



**Рис. 5.40.** Измерительные насадки к фотоэлементам для измерения средней сферической, цилиндрической полуцилиндрической и средней полусферической освещенности.

3. Разработать новые подходы к проектированию совмещенного освещения.

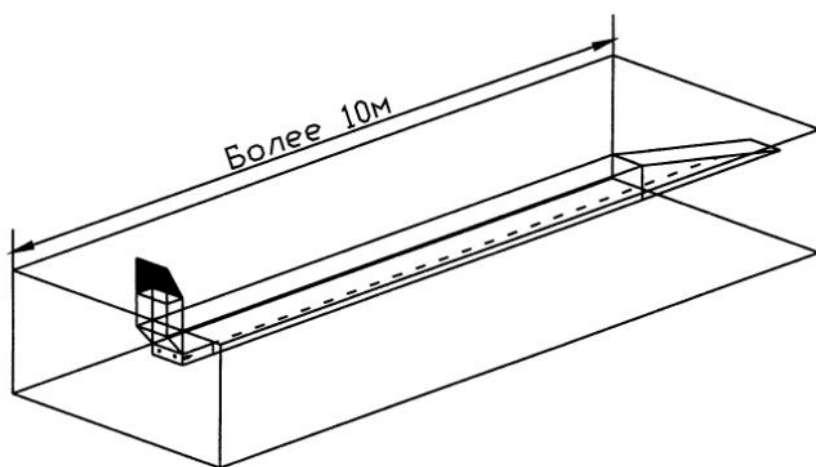
Все это будет способствовать повышению качества световой среды, значительной экономии энергии на освещение, восполнению теплопотерь и нейтрализации теплопоступлений через светопроемы, а также снижению затрат на устройство систем естественного и искусственного освещения и их эксплуатацию.

Расчеты естественной освещенности в настоящее время могут проводиться вручную инженерными методами, как это было показано выше, а также с помощью компьютеров. Однако только компьютерные методы позволяют осуществить визуализацию интерьеров помещений, освещаемых естественным светом, или при совмещенном освещении. Существует несколько расчетных программ для расчетов естественного и совмещенного освещения.

Использование той или иной программы диктуется характером той информации, которую хотят получить в результате расчета.

Примером программы для визуализации помещений, освещаемых естественным светом, может служить программа LARISA, разработанная в Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете под руководством Д.В. Бахарева. Она обеспечивает надежный объективный прогноз будущего зрительного восприятия интерьеров при неординарных и сложных светоцветовых композиционных решениях.

Для естественного освещения зданий все активнее используются светонаправляющие устройства и материалы, а также световоды, позволяющие освещать естественным светом залы метро неглубокого заложения, подвалы и нижние этажи широких многоэтажных зданий. В качестве светонаправляющих устройств используются светонаправляющие полки, являющиеся одновременно солнцезащитными козырьками. Эти полки улавливают прямой солнечный свет и направляют его на потолок. Оттуда он попадает на рабочую поверхность в глубине помещения. Развитием такого приема является использование плоских клиновидных световодов, позволяющих более эффективно проводить естественный свет, включая прямой солнечный, в глубину помещения (рис.5.41). Голографические оптические элементы (ГОЭ) являются инновационным направлением развития техники солнцезащиты и естественного освещения. Они позволяют обеспечить «прозрачную солнцезащиту», которая практически не препятствует наблюдению наружного пространства, но защищает помещение от прямых солнечных лучей. Одновременно они изменяют направление световых солнечных лучей и направляют их в глубину помещения, а также в помещения, удаленные от фасадов. С помощью ГОЭ можно осветить естественным светом цокольные этажи и подвалы, превратив их в помещения с новыми ценными функциями.



Интегральная система освещения помещений длиной более 10 м (от окон) с плоским световодом

**Рис. 5.41.** Плоские клиновидные световоды

ГОО работают на принципе дифракции. В отличие от традиционных оптических элементов, использующих свою форму для отклонения светового потока, ГОЭ меняют свои оптические свойства за счет изменения плотности. Они плоские и очень легкие, так как производятся в виде тонких пленок толщиной в несколько микрон. Пленки могут наклеиваться на стекло или прозрачный пластик, создавая прозрачные солнцезащитные и светонаправляющие устройства.

Перспективным направлением повышения эффективности естественного освещения зданий является применение полых трубчатых и плоских световодов. Полный световод – это светопроводящее устройство, состоящее из приемника светового излучения, светопроводящего канала, передающего свет на расстояние за счет многократных отражений, не обязательно по прямой, а также из светораспределяющего устройства, передающего свет из канала в помещение (рис. 5.42). Системы могут быть как вертикальными (со светоприемным узлом на крыше), так и горизонтальными (со светоприемным узлом на стене). При применении световодов КЕО, так же как и в случае обычных светопроемов, равен отношению освещенности внутри помещения в расчетной точке к одновременной наружной освещенности на горизонтальной поверхности. Но в отличие от обычных светопроемов (окон и фонарей) при определении эффективности которых прямой солнечный свет не учитывается, световоды резко увеличивают освещенность в помещении при попадании в светоприемник прямого солнечного света. Поэтому при расчете их эффективности необходимо в качестве наружной освещенности принимать суммарную естественную освещенность ( $E_Q$ ).

Световоды позволяют принимать естественный свет на крыше или стенах здания и транспортировать его с минимальными потерями в глубину здания, например на нижние этажи, в подвал, проводить свет через чердачное пространство, обходить коммуникации и трубопроводы, освещать станции метро неглубокого заложения. При этом сохраняются такие положительные качества природного освещения, как непрерывный спектр света, природный ритм освещенности, соответствующий «биологическим часам» человека, природная динамика естественного света, позволяющая судить о погоде снаружи, т.е. обеспечивать минимальную связь с внешней средой.

Световоды не создают таких больших теплопотерь в помещении, как обычные светопроемы, и препятствуют теплопоступлениям в летнее время. Таким образом, они экономят энергию на отопление, вентиляцию и охлаждение помещений. Но главным экономическим преимуществом является экономия энергозатрат на электрическое освещение таких помещений, где без световодов естественное освещение невозможно.

1. Прозрачный купол РММА-НП
2. Кровельный адаптер
3. Полный трубчатый световод
4. Устройство, перехватывающее и изменяющее направление светового потока RIR®
4. Крепление для RIR®
6. Изоляция
7. Дренажная изоляция
8. Герметичное уплотнение
9. Круглый диффузор
11. Угловой адаптер 0-30 градусов
12. Переходник для различных типов диффузоров
13. Декоративное потолочное кольцо

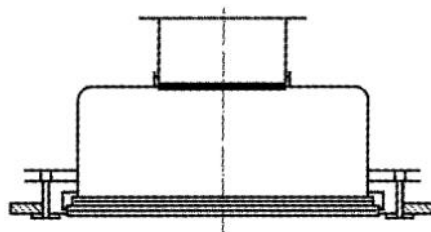
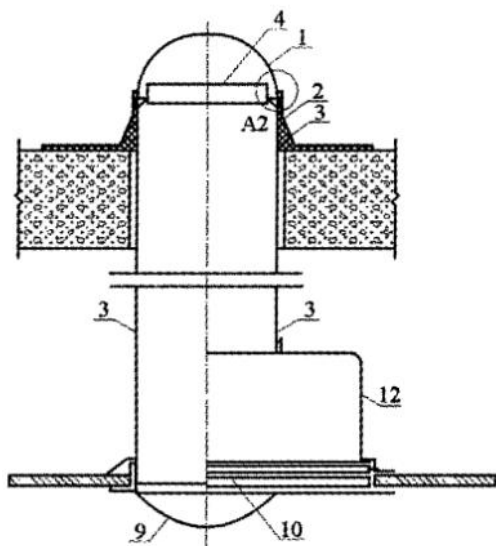
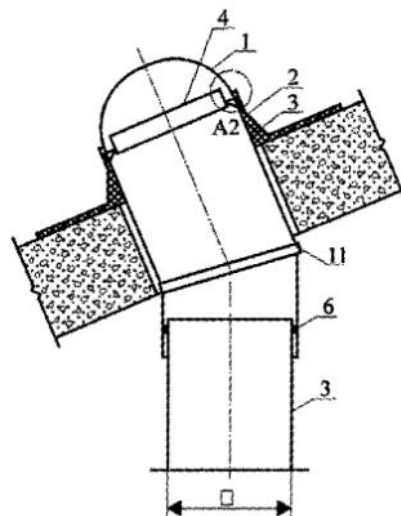
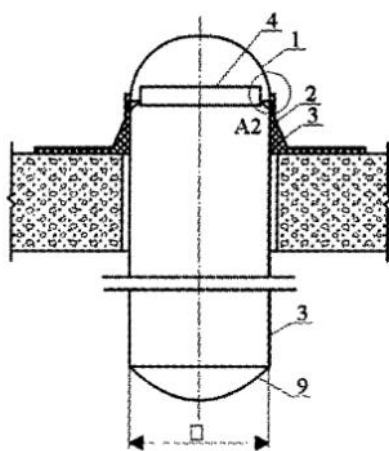
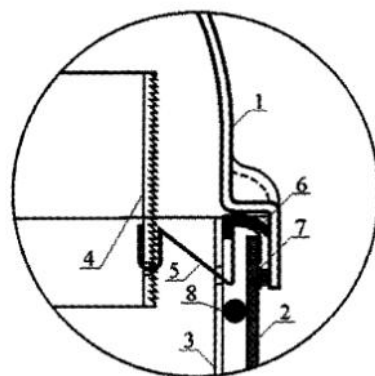
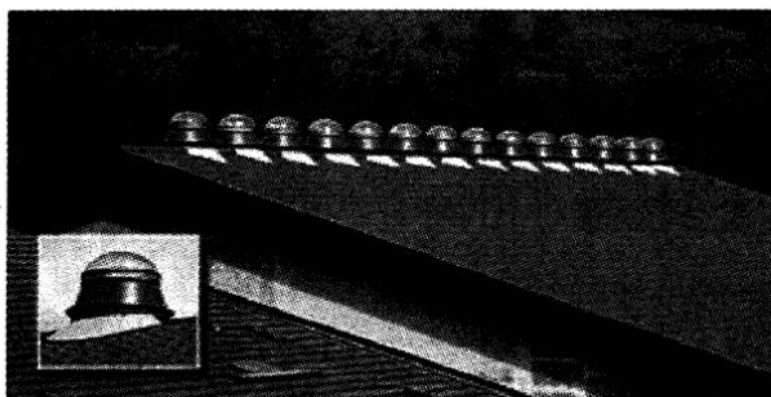


Рис. 5.42. Схема устройства световода

Благодаря простоте конструкции, эффективности, относительно невысокой цене и практическому отсутствию необходимости в систематической эксплуатации и замене элементов, новые системы находят все расширяющееся применение в школах и детских учреждениях, складах, гаражах и др. основных и вспомогательных помещениях общественных, промышленных и жилых зданий многих стран Европы и Северной Америки (рис. 5.43).



14 систем Solarspot® диаметром 650 мм, состоящих из 22 световодных секций, освещают естественным светом 560 кв. метров производственных площадей FRE. TOR, Puos D'Alpago (Belluno).



EUROSPED, Tavazzano (Milano), складское помещение, 4600 кв. метров площадей, освещается системой Solarspot® : 105 систем диаметром 650 мм, 5 систем диаметром 375 мм, 6 систем диаметром 530 мм.

Рис. 5.43. Примеры использования световодов

## 5.11. Расчет КЕО при применении трубчатых световодов

Общая эффективность или КПД системы:

$$\eta_g = \tau_c \cdot \tau_d \cdot K_m \cdot \xi = K_1 \cdot \xi . \quad (5.43)$$

Здесь  $\tau_c$  – коэффициент пропускания купола световода, его оправы и промежуточной линзы. Значения  $\tau_c$  предоставляются производителем. Для световодов системы SOLARSPOT (Милан, Италия)  $\tau_c = 0,92$ .

$\tau_d$  – коэффициент пропускания диффузора. У системы SOLARSPOT  $\tau_d = 0,80$ . Простое стекло обеспечивает  $\tau_d = 0,9$ , органическое стекло:  $\tau_d = 0,92$ , но они не обеспечивают равномерное распределение света по помещению.

$K_m$  – коэффициент запаса (учитывает загрязнение купола при эксплуатации). Для эффективной эксплуатации купола должны очищаться не реже 2-х раз в год. По Дж. Бракали  $K_m = 0,92$ . Если подходить к очистке купола по нормам СНиП, то при очистке купола один раз в год величина  $K_m$  в среднем составляет 0,77;

$\xi$  – эффективность или КПД полого торцевого световода. Величина  $\xi$  зависит от коэффициента отражения зеркального покрытия трубы световода  $\rho$ , от соотношения длины световода к его диаметру  $L/D$ , т.е. от количества отражений световых лучей внутри трубы световода и от наклона лучей, падающих на купол световода, к его оси.

Эффективность световода  $\xi$  может быть определена по упрощенной версии математического уравнения многократных отражений Застрова и Виттвера или Бинг-Чао:

$$\xi = \frac{e^{\frac{L}{D} \operatorname{tg} \theta \ln \rho}}{\left(1 - \frac{L}{D} \operatorname{tg} \theta \ln \rho\right)^{1/2}} . \quad (5.44)$$

Здесь  $\theta$  – угол между осью световода и световым лучом. Наиболее просто этот угол определяется для прямой солнечной составляющей освещенности под открытым небом. При вертикальном положении оси световода он равен зенитному расстоянию Солнца в данный момент времени. Это говорит о том, что эффективность световода меняется при изменении высоты Солнца. Чем меньше высота Солнца над горизонтом, тем менее эффективен световод за счет увеличения числа внутренних отражений. Поэтому речь может идти только о средней эффективности световода, которая хорошо представлена условиями пасмурного неба МКО. При этом  $\theta = 30^\circ$  представляет средний угол входа света в трубу световода. Величины  $\xi$  можно также определить по табл. 5.7, рассчитанной по формуле 5.44.

Световой поток, излучаемый диффузором,

$$\Phi_d = \eta_g \cdot \Phi_n , \quad (5.45)$$

где  $\Phi_e$  – световой поток, входящий в световод снаружи.

$$\Phi_n = [(180 - \alpha)/180] \cdot E_n \cdot A \text{ (лм)}. \quad (5.46)$$

Здесь  $(180 - \alpha)/180$  – входной коэффициент световода,  $\alpha^\circ$  – угол отклонения оси трубы от зенита,  $E_e$  – горизонтальная освещенность в лк под открытым небом. Если требуется определить значение среднего условного КЕО от световода, то величина  $E_e = 100\%$ ;  $A$  – площадь сечения световода,  $\text{м}^2$ .

**Таблица 5.7**

Эффективность передачи света световодом в зависимости от соотношения длины к диаметру  $L/D$  и для четырех значений зеркального коэффициента отражения  $\rho$  (при наклоне падающих лучей  $\theta = 30^\circ$ )

$L/D$	$\xi$			
	$\rho = 0,92$	$\rho = 0,95$	$\rho = 0,98$	$\rho = 0,995$
0,3	0,98	0,99	1,00	1,00
0,4	0,96	0,98	0,99	1,00
0,7	0,95	0,97	0,99	1,00
1,1	0,92	0,95	0,98	1,00
1,4	0,91	0,93	0,98	0,99
1,6	0,90	0,92	0,97	0,99
2,2	0,85	0,90	0,96	0,99
3,2	0,79	0,85	0,94	0,98
3,4	0,77	0,85	0,94	0,98
6,6	0,65	0,73	0,90	0,97
8,0	0,58	0,69	0,87	0,96
8,6	0,56	0,68	0,86	0,96
11,4	0,46	0,62	0,82	0,95
14,3	0,39	0,55	0,78	0,94
16,0	0,35	0,50	0,76	0,93
18,0	0,30	0,46	0,73	0,92
19,4	0,27	0,43	0,71	0,92
50,0	0,05	0,14	0,44	0,80

$$A = \pi D^2/4, \text{ м}^2 \quad (5.47)$$

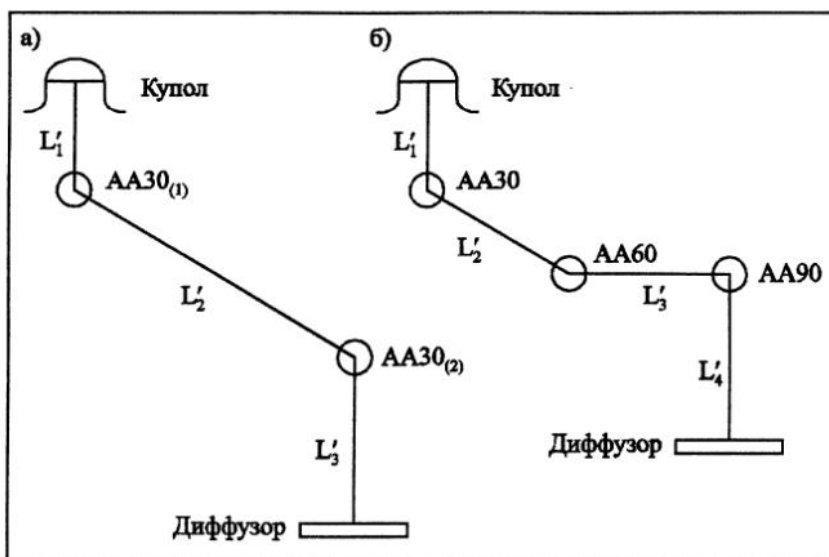
Переход от светового потока, излучаемого диффузором, к величине освещенности (или к величине КЕО) на рабочей поверхности в расчетной точке помещения для плоского равномерного излучателя производится по закону Ламберта:

$$E(\varepsilon)_m = \frac{L_d \cdot A \cos \beta \cdot \cos \gamma}{r^2}. \quad (5.48)$$

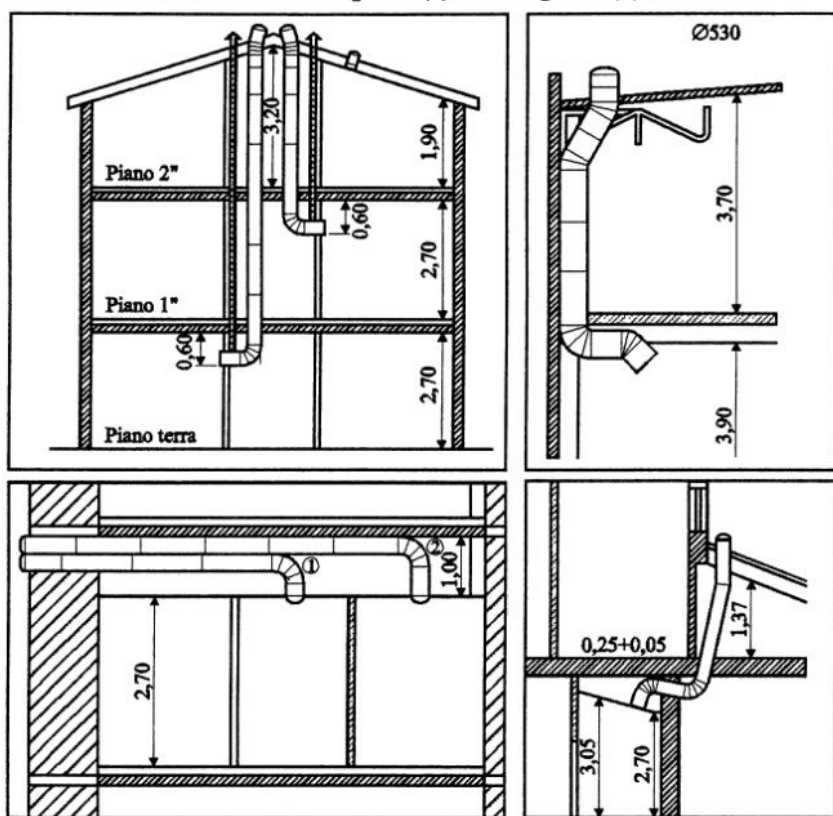
Здесь  $L_d$  – яркость диффузора. Остальные обозначения приведены на *рис. 5.45*.

$$L_d = \frac{\Phi_d}{\pi \cdot A} = \frac{\eta_d [(180 - \alpha)/180] \cdot E_n}{\pi}. \quad (5.49)$$

Для расчета КЕО принимается яркость диффузора  $L_d$  при  $E_n = 100\%$ :



Схемы световодов с тремя (а) и четырьмя (б) коленями



Возможные схемы размещения световодов

Рис. 5.44.

$$L_d = \frac{\eta_d [(180 - \alpha) / 180] \cdot 100}{\pi} \quad (5.50)$$

Таким образом, величина освещенности (или КЕО) в расчетной точке помещения, создаваемая полым трубчатым световодом, равна:

$$E_m = \frac{\eta_d [(180 - \alpha) / 180] \cdot E_n \cdot A \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma}{\pi \cdot r^2}, \text{ лк} \quad (5.51)$$

ИЛИ



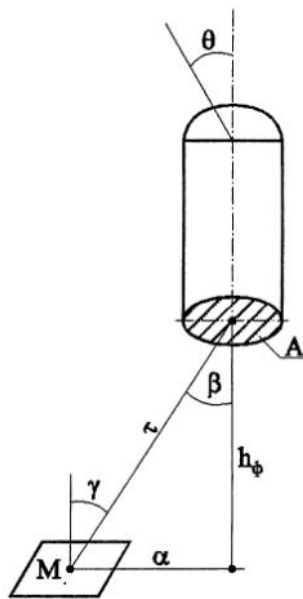


Рис. 5.45. Расчетная схема световода для расчета по закону Ламберта

$$\varepsilon_m = \frac{\eta_d [(180 - \alpha) / 180] \cdot A \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma}{\pi \cdot r^2} \cdot 100\% \quad (5.52)$$

Величину КЕО в любой точке помещения от круглого или прямоугольного диффузора световода можно также рассчитать по формуле (12) в СП 23-102-2003 согласно расчетной схеме, приведенной на рис. 5.46.

$$\varepsilon_m = \eta_d [(180 - \alpha) / 180] \cdot \sin^2(\theta / 2) \cdot 100\% . \quad (5.53)$$

Результаты расчета по формулам (5.52) и (5.53) полностью совпадают. Для небольших размеров помещений, характерных для административных зданий, например до 40 м<sup>2</sup> в плане, высотой от пола до потолка около 3,5 м, приемлемые по точности результаты дает расчет среднего значения освещенности, или КЕО, в помещении по формуле

$$E_{m.c.p.} = \frac{\Phi_d}{S} = \frac{[(180 - \alpha) / 180] \cdot \eta_g \cdot E_n \cdot A}{S}, \text{ лк} \quad (5.54)$$

или

$$\varepsilon_{m.c.p.} = \frac{[(180 - \alpha) / 180] \cdot \eta_g \cdot A}{S} \cdot 100\% . \quad (5.55)$$

Здесь  $S$  – площадь помещения (м<sup>2</sup>).

При изменении направления световода с помощью различных колен изменение (уменьшение) КПД световода  $\xi$  происходит за счет увеличения его эффективной длины. Схемы световода с тремя (а) и четырьмя (б) коленами приведены на рис. 5.44. Практическое определение  $\xi$  трубы с угловым адаптером методом эквивалентной оптической длины и/или оптического отношения  $L/D$  для этих случаев может быть проведено с помощью табл. 5.8 (а и б).

Практическое определение  $\xi$  трубы с угловым адаптером методом оптической эквивалентной длины и/или оптического отношения L/D

а)

D	Ø250	Ø375	Ø530	Ø650
L' <sub>1</sub>	0,5	1	2	1
L' <sub>2</sub>	2	1,5	0,5	2
L' <sub>3</sub>	2	3	4	5
AA 30 <sub>(1)</sub>	0,30+0,25	0,30+0,375	0,40+0,53	0,40+0,65
AA 30 <sub>(2)</sub>	0,30+0,25	0,30+0,375	0,40+0,53	0,40+0,65
L (м)	5,6	6,85	8,36	10,1
$\xi$	0,91	0,92	0,943	0,939

б)

D	Ø250	Ø375	Ø530	Ø650
L' <sub>1</sub>	1	1,5	2	0,5
L' <sub>2</sub>	2	1	0,5	1
L' <sub>3</sub>	2	2,5	4	3
L' <sub>4</sub>	1,5	2	0,5	4
AA 30	0,30+0,25	0,30+0,375	0,40+0,53	0,40+0,65
AA 60	0,60+2x0,25	0,60+2x0,375	2(0,40+0,53)	2(0,40+0,65)
AA 90	0,60+2x0,25	0,60+2x0,375	3(0,40+0,53)	3(0,40+0,65)
L (м)	9,5	10,75	12,58	14,8
$\xi$	0,847	0,883	0,905	0,91

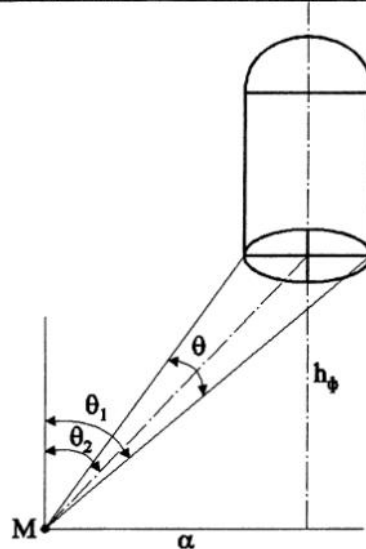


Рис. 5.46. Расчетная схема световода для расчета по формуле из СП 23-102-2003

Отраженный свет учитывается как для систем верхнего естественного света. Согласно табл. Б.9 СП 23-102-2003 определяем значение  $r_2$  в зависимости от отношения  $h_\phi/l_1$ , величины  $\rho_{ср}$  и числа пролетов  $n$ . Здесь  $h_\phi$  – высота диффузора над рабочей поверхностью;  $l_1$  – ширина пролета (помещения);  $\rho_{ср}$  – средне-взвешенный коэффициент отражения в помещении.

Отраженная составляющая КЕО:

$$e_o = \varepsilon_{м.ср.} \cdot (r_2 - 1) . \quad (5.56)$$

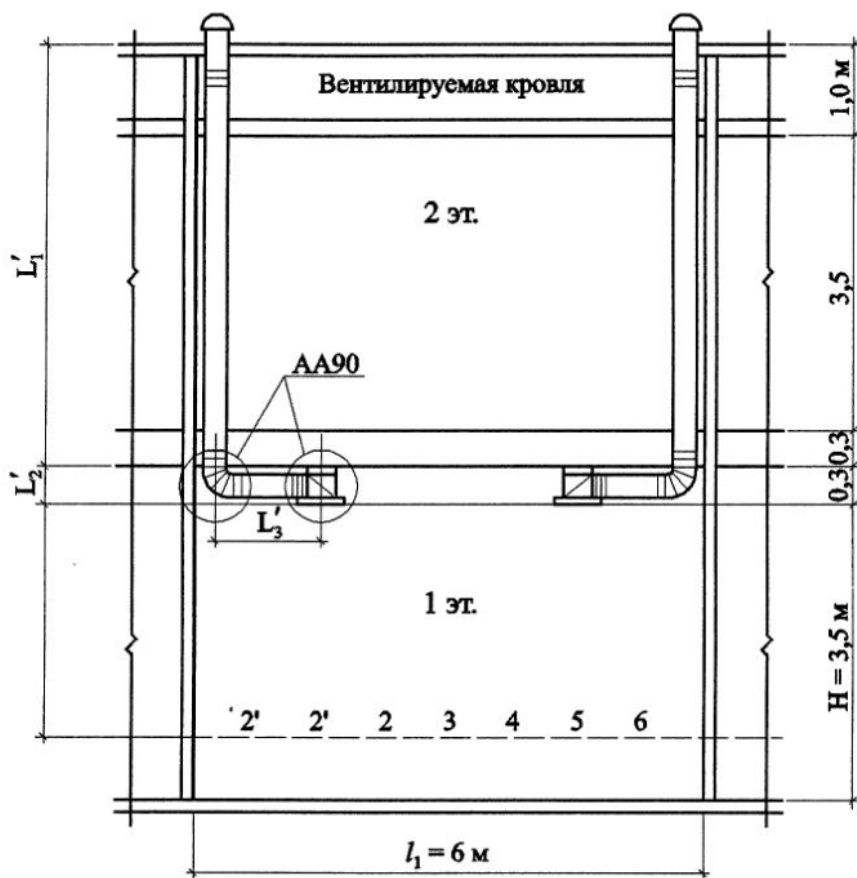


Рис. 5.47. Расчетная схема помещения на 1-м этаже, освещаемого четырьмя световодами (разрез 1-1)

Поэтому сначала следует определить  $e_m$  в не менее чем 5 точках по площади помещения, определить среднее значение  $\varepsilon_{m.cр}$ . Затем определить  $e_o$  по формуле (5.56).

$$e_m = \varepsilon_m + e_o. \quad (5.57)$$

*Пример.* Рассчитать величину КЕО в помещении 6х6 м, высотой от пола до потолка 3,5 м, освещаемом четырьмя световодами типа SOLARSPOT диаметром 350 мм, согласно расчетной схеме на рис. 5.47. Помещение расположено в середине 2-этажного здания на 1-м этаже и не может быть освещено естественным светом через окна или фонари.

#### Расчет по закону Ламберта

По формуле (5.52)  $\varepsilon_m = \frac{\eta_d[(180 - \alpha)/180] \cdot A \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma}{\pi \cdot r^2} \cdot 100\%$ .

Определим КПД системы, используя табл. 5.8 (а и б):

$$L'_1 = 4,8 \text{ м}; L'_2 = 1,5 \text{ м}; L'_3 = 0,3 \text{ м}; AA \ 90 = 0,6 + 3 \times 0,375 = 1,725.$$

$$L = 4,8 + 1,5 + 0,3 + 1,725 + 1,725 = 10,05 \text{ м}.$$

$$D = 0,375 \text{ м}.$$

$$L/D = 10,05/0,375 = 26,8.$$

По таблице 5.7 при  $\rho = 0,98$  и  $L/D = 26,8$  по интерполяции:

$$\xi = \frac{0,71 - 0,44}{50 - 19,4} \cdot (50 - 26,8) + 0,44 = 0,645.$$

Для системы SOLARSPOT

$$\eta_d = \tau_c \cdot \tau_d \cdot k_m \cdot \xi = 0,92 \cdot 0,8 \cdot 0,92 \cdot 0,645 = 0,44.$$

В формуле (5.52) в разных точках помещения меняются значения  $\cos\beta = \cos\gamma$  и  $r^2$

$$\varepsilon_m = \frac{0,44 \cdot 1 \cdot \pi \cdot 0,375^2 \cdot \cos\beta}{\pi \cdot r^2 \cdot 4} \cdot 100\% = 1,547 \cdot \frac{\cos^2\beta}{r^2}.$$

Расчет проводится в табличной форме: для каждой из расчетных точек. Расстояние от центра диффузора до расчетной точки обозначено  $a$ .

Расчет и результаты (величины КЕО без учета отраженного света от внутренних поверхностей помещения) приведены в таблице.

№ точек	$a$ (м)	$\operatorname{tg}\beta = \frac{a}{h_\phi}$	$\beta$	$\cos\beta$	$\cos^2\beta$	$r^2 = a^2 + h_\phi^2$	$\varepsilon_m = 1,547 \cdot (\cos^2\beta / r^2),$ (%)
1	0	0	0	1	1	7,29	0,21
2	0,75	0,28	15,52	0,963	0,928	7,85	0,18
3	1,5	0,56	29,05	0,874	0,764	9,54	0,12
4	2,25	0,83	39,81	0,768	0,590	12,35	0,07
5	3	1,11	48,01	0,669	0,447	16,29	0,04
6	3,75	1,39	54,25	0,584	0,341	21,35	0,025

$$\varepsilon_{cp} = 0,11\%$$

Расчет по формуле (12) в СП 3-102-2003:

$$\varepsilon_m = \eta_d [(180 - \alpha) / 180] \cdot \sin^2(\theta / 2) \cdot 100\% ;$$

$\eta_d = 0,44$  (см. расчет по закону Ламберта).

В формуле (5.53) в разных точках помещения меняются значения  $\sin(\theta/2)$ :

$$\varepsilon_m = 0,44 \cdot 1 \cdot \sin^2(\theta / 2) \cdot 100.$$

Расчет проводится в табличной форме.

№ точек	$a$ (м)	$\theta_1 = \operatorname{atg} \frac{a + D/2}{h_\phi}$ , град	$\theta_2 = \operatorname{atg} \frac{a - D/2}{h_\phi}$ , град	$\theta/2$ , град	$\sin \theta/2$	$\sin^2 \theta/2$	$\varepsilon_m = 0,44 \cdot \sin^2\theta/2 \cdot 100,$ (%)
1	0	3,97		3,97	0,069	0,0048	0,21
2	0,75	19,148	11,768	3,69	0,064	0,0041	0,18
3	1,5	32,005	25,920	3,04	0,053	0,0028	0,12
4	2,25	42,075	37,376	2,35	0,041	0,0016	0,07
5	3	49,733	46,169	1,78	0,031	0,00097	0,04
6	3,75	55,56	52,84	1,36	0,024	0,00056	0,025

Результаты расчетов в обеих таблицах совпадают.

От всех четырех световодов суммарные значения КЕО в точках см. рис. 5.47 (план помещения с расположением точек и световодов).

Суммарное значение КЕО в каждой из точек от четырех световодов, расположенных симметрично:

В точке 1:  $\varepsilon_M = 0,21 + 0,042 + 0,042 + 0,025 = 0,321\%$

В точке 2:  $\varepsilon_M = 0,183 + 0,074 + 0,074 + 0,025 = 0,356\%$

В точке 3:  $\varepsilon_M = 0,124 + 0,124 + 0,042 + 0,042 = 0,332\%$

В точке 4:  $\varepsilon_M = 0,356\%$

В точке 5:  $\varepsilon_M = 0,321\%$

В точке 6:  $\varepsilon_M = 0,025 + 0,183 + 0,042 + 0,025 = 0,275\%$

В точке 2':  $\varepsilon_M = 0,275\%$

$\varepsilon_{cp} = \sum \varepsilon_M / 7 = 0,319 \approx 0,32\%$

По табл. Б.9 в СП 23-102-2003 (прил. 5.8) при  $h_{\phi}/l_1 = 2,7/6 = 0,45$ ;

$n = 1$  и  $\rho_{cp} = 0,5$  значение  $r_2 = 1,39$ .

$e_{cp} = 0,32 \cdot 1,39 = 0,445\%$ .

Если рассчитывать среднее значение КЕО в таком помещении по Бракале (5.16):

$\varepsilon_{cp} = \Phi_d/S = \eta_g \cdot [(180-\alpha)/180] \cdot 100 \cdot 3,14 \cdot (0,375^2/4)/36 = 0,135\%$  - от одного световода

$\varepsilon_{M,cp} = 0,135 \cdot 4 = 0,539\%$ . С учетом отраженного света по Бракале  $\varepsilon_{M,sp} = 0,539/(1-0,5) = 1,079\%$ ,

т.е. более, чем в 2 раза больше.

Расчет среднего значения КЕО в помещении при использовании нескольких световодов дает завышение результатов более, чем в 2 раза.

При наружной освещенности при ясном небе в среднем  $E_Q = 25\ 000$  лк. Освещенность в помещении составит  $E_{cp} = (25\ 000 \cdot 0,445)/100 = 111,25$  лк.

При наружной освещенности при пасмурном небе  $E_D = 15\ 000$  лк освещенность в помещении составит  $E_{cp} = (15\ 000 \cdot 0,445)/100 = 66,75$  лк.

Максимальная освещенность в Москве может составить:

$E_{cp} = (53000 \cdot 0,445)/100 = 236$  лк.

Очевидно, что наибольший эффект с точки зрения экономии энергии в этом случае может быть достигнут при применении автоматически регулируемого совмещенного освещения. При этом помещение может использоваться для любых производственных целей или как офисное помещение (рис. 5.49).

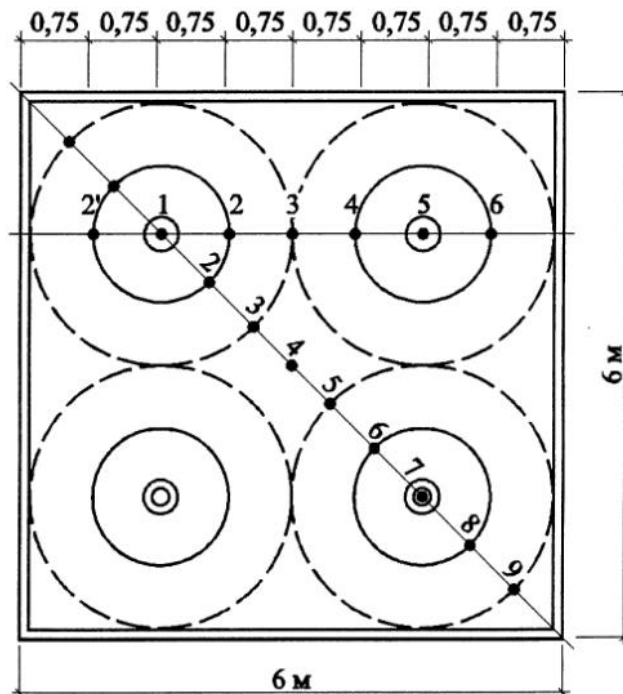
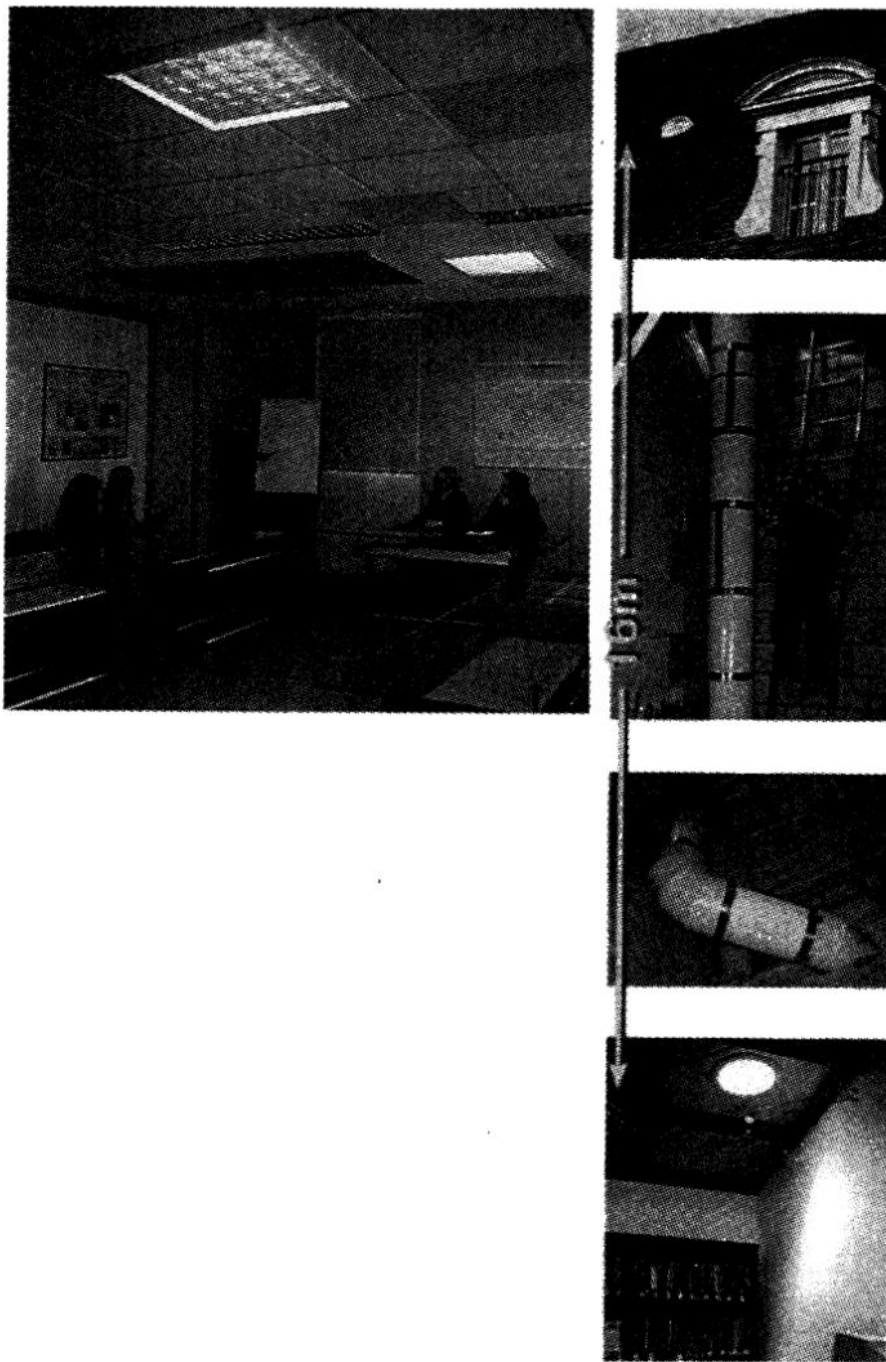


Рис. 5.48. Расчетная схема помещения, освещаемого четырьмя световодами (план с изолиниями КЕО от каждого из световодов).



**Рис. 5.49.** Применение световодов в офисных помещениях

## **5.12. Инсоляция и солнцезащита**

Солнце – основа жизни на Земле, основной источник энергии, который приобретает все большее значение по мере истощения природных запасов энергетического сырья: нефти, газа, угля. Однако использование Солнца как источника энергии в настоящее время в России находится в стадии экспериментов. В то же время значение Солнца не исчерпывается его энергетической значимостью. Воздействие Солнца на человека складывается из четырех факторов:

- бактерицидное воздействие. Считается, что за 2-2,5 часа ультрафиолетовая радиация (УФР) убивает до 100% бактерий в чашке Петри, установленной в солнечном пятне на подоконнике;
- эритемное воздействие. Под действием УФР на кожу человека, в организме вырабатывается витамин Д;
- тепловое воздействие. Зимой на большей части территории России тепловое воздействие имеет положительный характер. Летом оно ведет к перегреву, что требует специальной солнцезащиты;
- психологическое воздействие. По результатам психофизических исследований, проводившихся в Дании, Швеции, Голландии, принято считать, что люди далеко не всегда хотят находиться в инсолируемой комнате, но им нужна уверенность, что Солнце может проникать в одну из комнат квартиры.

Инсоляцией называется проникновение прямых солнечных лучей в помещение.

НОРМИРОВАНИЕ ИНСОЛЯЦИИ в России в настоящее время осуществляется по нормам Минздрава РФ СанПиН 2.2.1/2.1.1. 1076-03 «Гигиенические требования по инсоляции и солнцезащите жилых и общественных зданий». Большой вклад в теорию инсоляции и солнцезащиты в архитектуре внесли такие ученые, как Н.М. Гусев, Л.Л. Дашкевич, Б.А. Дунаев, Н.В. Оболенский, Д.В. Бахарев, Д.С. Масленников, И.С. Суханов, Б.Ф. Васильев. Гигиеническая сторона Норм по инсоляции определяется на основе работ таких ученых, как В.А. Белинский, М.П. Гараджа, Н.М. Данциг, В.Г. Беликова.

Нормирование инсоляции, так же как и естественного освещения, позволяет гигиенически обоснованно ограничить стремление инвесторов к чрезмерному повышению плотности застройки.

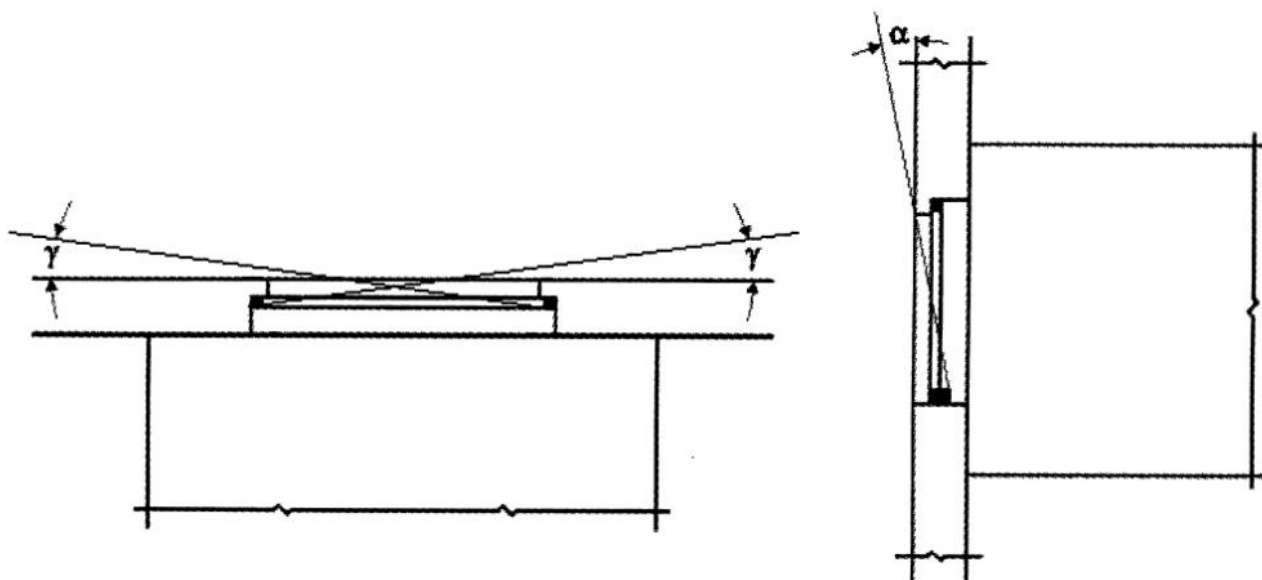


Рис. 5.50. Горизонтальный и вертикальный (соответственно  $\gamma$  и  $\alpha$ ) теньевые углы окна

## Нормы инсоляции по СанПиН 2.2.1/2.1.1. 1076-03

№№ пункта	Географ. широта	Календарный период	Нормируемая продолжительность (час)	Примечание
2.4	Северная зона (севернее 58°с.м.)	22.04 – 22.08	2.5	
2.5	Центральная зона (58° - 48°с.м.)	22.03 – 22.09	2.0	
	Южная зона (южнее 48°с.м.)	22.02 – 22.10	1.5	
3.1	Продолжительность инсоляции д.б. обеспечена не менее, чем в одной комнате 1-3-комнатных квартир и не менее чем в двух комнатах 4 (и более)-комнатных квартир			
3.2	В зданиях общежитий должно инсолироваться не менее 60% жилых комнат			
3.3	Допускается прерывистость продолжительности инсоляции, при которой один из периодов должен быть не менее 1.0 часа. При этом суммарная продолжительность нормируемой инсоляции должна увеличиваться на 0,5 часа соответственно для каждой зоны			
3.4	Допускается снижение продолжительности инсоляции на 0.5 часа для северной и центральной зон в двухкомнатных и трехкомнатных квартирах, где инсолируется не менее двух комнат, и в многокомнатных квартирах (четыре и более комнаты), где инсолируется не менее трех комнат, а также при реконструкции жилой застройки, расположенной в центральной, исторической зонах городов, определенных их генеральными планами развития			
4.1 4.2	Нормируемая продолжительность инсоляции устанавливается в следующих основных функциональных помещениях общественных зданий: <ul style="list-style-type: none"> <li>- в зданиях ДДУ – групповые, игровые, изоляторы, палаты;</li> <li>- в учебных заведениях – классы и учебные кабинеты;</li> <li>- в ЛПУ – палаты (не менее 60% общей численности);</li> <li>- в учреждениях социального обеспечения – палаты, изоляторы.</li> </ul>			
4.3 4.4	Инсоляция не требуется в следующих помещениях: <ul style="list-style-type: none"> <li>- паталогоанатомических отделениях;</li> <li>- операционных, реанимационных залах больниц, вивариев, ветлечебниц;</li> <li>- хим. лабораториях;</li> <li>- выставочных залах музеев;</li> <li>- книгохранилищ и архивов;</li> <li>- допускается отсутствие инсоляции в учебных кабинетах информатики, физики, химии, рисования и черчения</li> </ul>			
5.1	На территориях детских игровых площадок, спортивных площадок жилых домов, групповых площадок дошкольных учреждений. Спорт. зоны, зоны отдыха общеобразовательных школ и школ-интернатов, зоны отдыха ЛПУ стационарного типа продолжительность инсоляции должна составлять не менее 3 часов на 50% площади участка независимо от географической широты.			

Нормы инсоляции определяются в часах, в течение которых прямое солнечное излучение непрерывно или с перерывами попадает в расчетную точку. В случае прерывистой инсоляции суммарная продолжительность должна быть увеличена на 0.5 часа при продолжительности одного из периодов не менее 1 часа. Расчетная точка располагается в помещении за остеклением светопроема согласно *рис. 5.50*. Это условие регламентировано СанПиН. На территории иг-



ровых и детских спортивных площадок в жилой застройке, а также на территории общеобразовательных школ и детских дошкольных учреждений (ДДУ) такие точки должны ограничивать 70% территории.

Нормируемая продолжительность инсоляции для различных районов России приведена в табл. 5.9. Инсоляция должна быть обеспечена в одной из жилых комнат одно-двух- и трехкомнатных квартир или в двух жилых комнатах четырех- и более комнатных квартир, а также в палатах больниц, игровых и групповых комнатах ДДУ и в классах общеобразовательных школ. На территории детских площадок продолжительность инсоляции в указанные в табл. 5.9 сроки должна быть не менее 3 часов.

Для центральных и исторических районов городов, а также в случае, если в квартире инсолируются две и более жилые комнаты, нормируемая продолжительность инсоляции может быть уменьшена на 0,5 часа. Это не касается детских дошкольных учреждений и общеобразовательных школ.

РАСЧЕТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ИНСОЛЯЦИИ основан на астрономических закономерностях движения Солнца по небосводу. На рис.5.51 приведена схема траекторий движения Солнца по небосводу в дни весенне-осеннего равноденствия (22 марта и 22 сентября), летнего и зимнего солнцестояния (22 июня и 22 декабря). Угол наклона плоскостей эклиптики по отношению к горизонтальной плоскости в данной точке земной поверхности равен  $90-\varphi$ , где  $\varphi$  - географическая широта местности.

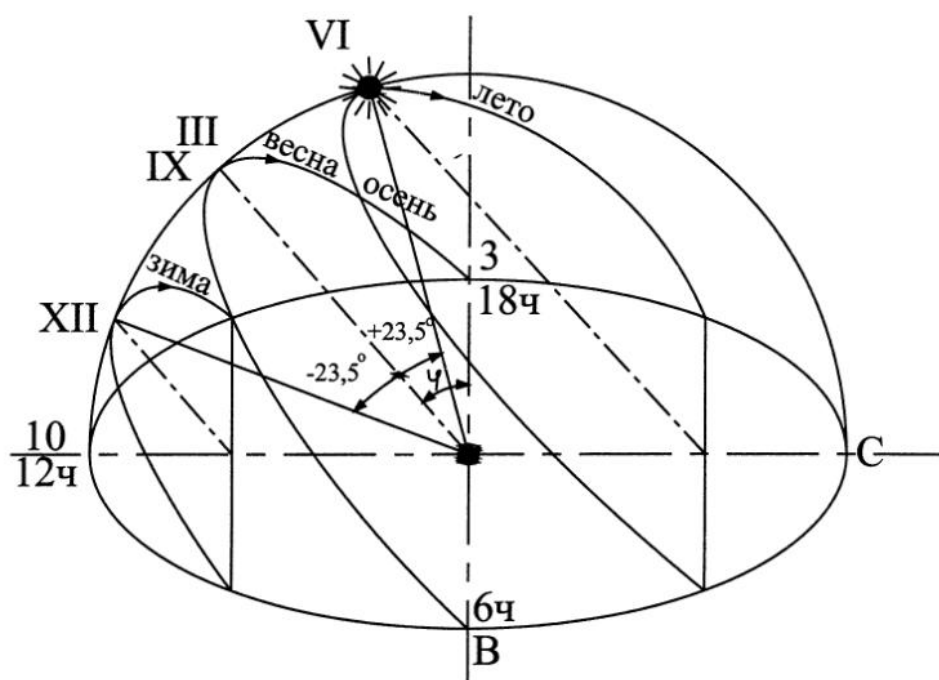
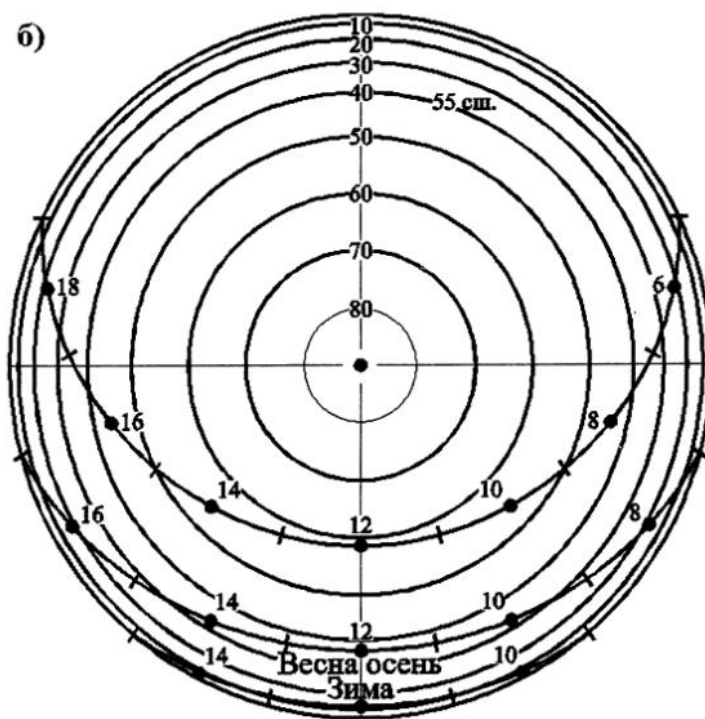
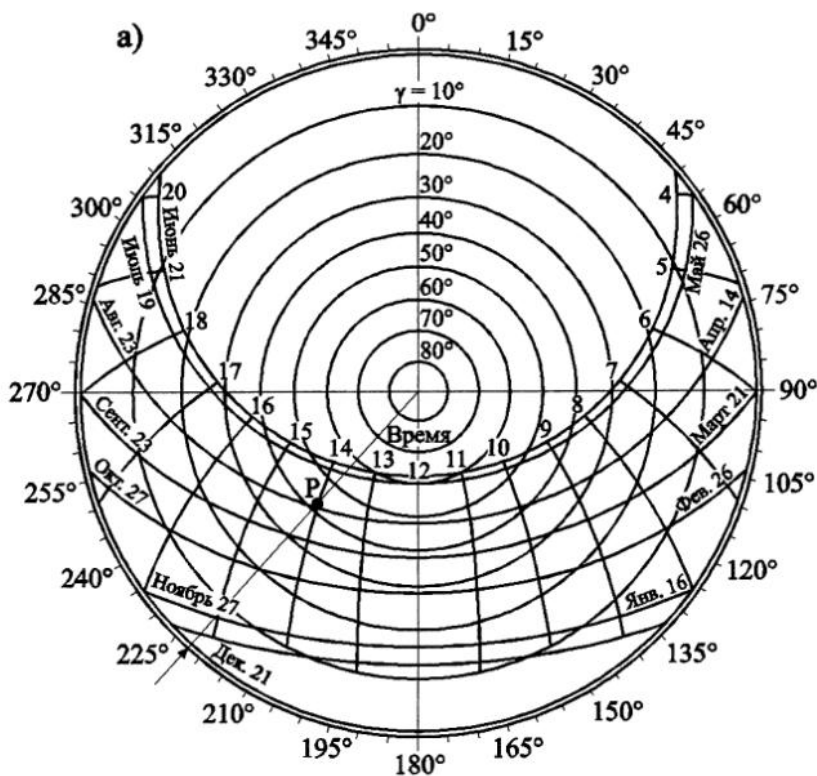


Рис. 5.51. Траектория Солнца в течение характерных дней года и способ определения положения Солнца в полдень в дни летнего и зимнего солнцестояния при заданной географической широте



**Рис. 5.52:**

- а) стереографическая проекция; солнечная карта для  $\varphi = 52^\circ$  с.ш.  
 б) ортогональная проекция; солнечная карта для  $\varphi = 52^\circ$  с.ш.

Положение Солнца на небосводе в любой момент времени может быть рассчитано по формулам:

$$\sin h_0 = \sin G \cdot \sin \varphi + \cos G \cdot \cos \varphi \cdot \cos t;$$

$$\cos A_0 = (\cos \varphi \cdot \sin G - \cos G \cdot \sin \varphi \cdot \cos t) / \cos h_0;$$

где  $\varphi$  - географическая широта (южная – со знаком минус);  $t$  – часовой угол ( $15^\circ$  для каждого часа после полудня; утренние часы со знаком минус);  $G$  – склонение ( $0-23,5^\circ$ ).

Среднее значение склонения для годового цикла в високосный год можно рассчитать по формуле

$$G = 23,45 \cdot \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) = 23,45 \sin[0,986(284+n)],$$

где  $n$  – порядковый номер дня в году, считая от 1 января.

Проекция траекторий движения Солнца по небосводу на горизонтальную плоскость называется солнечной картой, которая составляется для данной широты местности в ортографических или в стереографических (*рис.5.52*) проекциях. Концентрические окружности на солнечных картах обозначают кольцевые угловые координаты вертикальных углов высоты солнца над горизонтом. На солнечную карту (см. *рис.5.52*) наносится линия ориентации фасада и горизонтальный и вертикальный теневые углы светопроема (*рис.5.53*). По свободной (не попавшей в теневые углы) части проекции траектории солнца можно определить продолжительность инсоляции помещения.

Затенение противостоящими зданиями учитывается путем построения на солнечной карте теневых масок этих зданий: измеряются горизонтальные углы и вычисляются вертикальные углы контура окружающей застройки, видимой из расчетной точки, в соответствии с генпланом или ситуационным планом места строительства (см. *рис.5.53*). Затем эти углы наносятся на солнечную карту в виде теневых масок. По свободным от теневых масок участкам проекции траектории движения солнца, разбитым на часы, определяется продолжительность инсоляции помещения.

В проектных организациях России для определения продолжительности инсоляции принято пользоваться так называемыми инсографиками (*рис.5.54*), которые можно накладывать на генплан и быстро определять продолжительность инсоляции прямо «с листа». Это повышает оперативность работы архитекторов. Недостатком инсографиков является сложность учета затеняющего действия карнизов, балконов и лоджий по сравнению с методом солнечных карт. Тем не менее этот метод считается основным, и его применение регламентируется нормами СанПиН.

Инсографики строятся для определенной широты местности, для определенных контрольных сроков инсоляции в соответствии с табл. 5.9 и для определенного масштаба генплана (1:500) или ситуационного плана (1:2000). Принцип построения инсографиков подробно описан Н.В. Оболенским. На инсограмме (*рис. 5.54*) лучи, выходящие из полюса графика, обозначают направление лучей солнца в конкретное время дня (6,7,8...часов). Горизонтальные прямые линии для 22.03 (22.09) или кривые линии для других контрольных сроков показывают превышение верха карниза или парапета кровли противостоящих зданий над расчетной точкой.

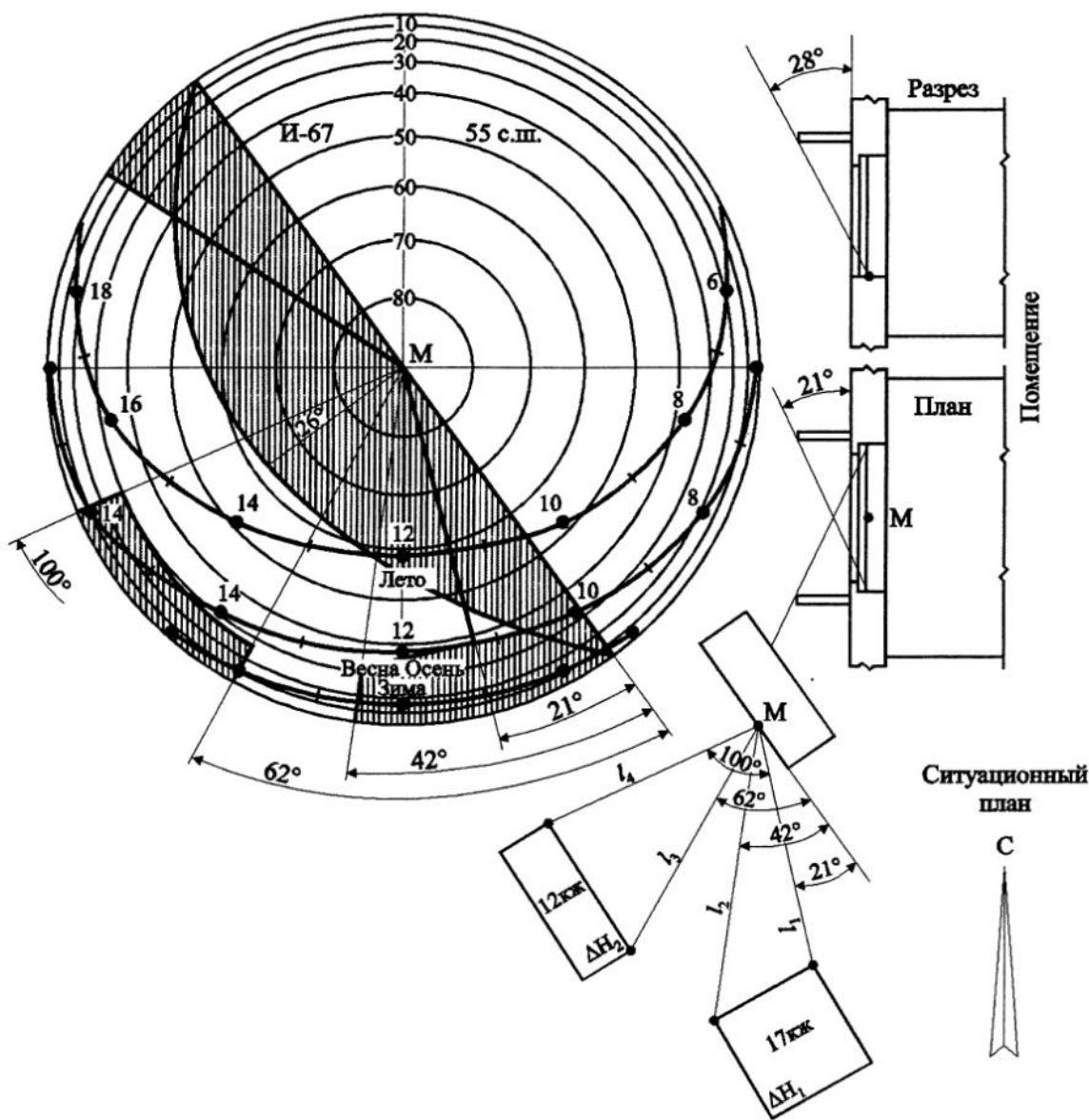


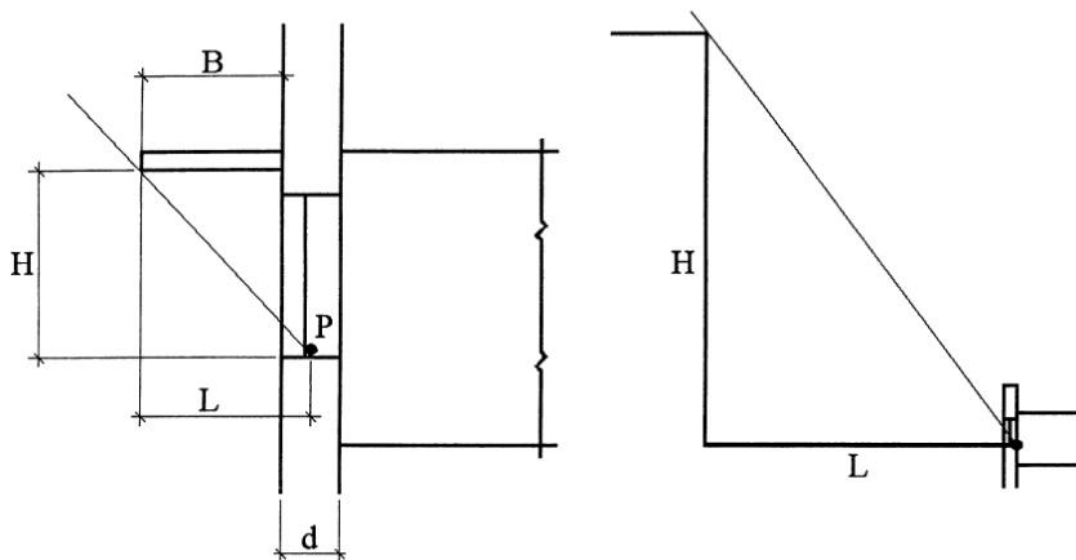
Рис. 5.53

Расчетная точка совмещается с полюсом инсографика. Инсографик ориентируется строго по направлению С-Ю на генплане. Части планов зданий или целиком планы зданий, находящиеся ближе к расчетной точке, чем горизонталь, показывающая превышение их над расчетной точкой, затеняют ее. Продолжительность инсоляции определяется по инсографику «с листа», как показано на рис. 5.55.

Балконы, лоджии и козырьки уменьшают продолжительность инсоляции помещений, однако при расчетах с помощью инсографиков в масштабе 1:500 на генплане их влияние учесть сложно. Поэтому для расчета продолжительности инсоляции при наличии затеняющих козырьков, балконов и лоджий можно использовать следующую методику.

В разрезе балкон, козырек или лоджия относительно расчетной точки имеют геометрические параметры, подобные параметрам окружающей застройки (рис. 5.56).





**Рис. 5.56.** Аналогия между затеняющим действием балкона и затеняющим действием противостоящего здания

Как видно из *рис. 5.56*, высота нижней грани балкона или козырька над расчетной точкой соответствует высоте превышения карниза или парапета противоположного здания над расчетной точкой ( $H$ ). Ширина балкона и части стены  $L$  соответствует расстоянию от расчетной точки до противоположного здания.

Предельная угловая высота солнца, при которой его лучи будут проникать в расчетную точку,  $h_{пред} = \text{arctg} \frac{H}{L}$ .

Для определения продолжительности инсоляции с достаточной степенью точности с помощью инсографика для масштаба 1:500 необходимо вычертить план инсолируемого окна с балконом или козырьком в масштабе 1:50. Балкон или козырек можно изобразить пунктиром. В этом случае одно горизонтальное деление инсографика будет соответствовать не 1 м, а 10 см.

Инсографик накладывается на план окна сориентированным по сторонам света так, чтобы расчетная точка была совмещена с полюсом графика.

В отличие от определения продолжительности затенения противостоящими зданиями, затенять расчетную точку будет та часть козырька или балкона, которая находится дальше от горизонтальной линии, обозначающей превышение  $H$ , по отношению к расчетной точке.

Продолжительность инсоляции может быть прочитана по графику.

Следует отметить, что расчет ведется для расчетной точки  $P$ , расположенной в центре ширины окна в плане. Значит, в действительности солнце попадает в разные точки подоконника в течение большего, равного или меньшего промежутка времени, чем в расчетную точку.

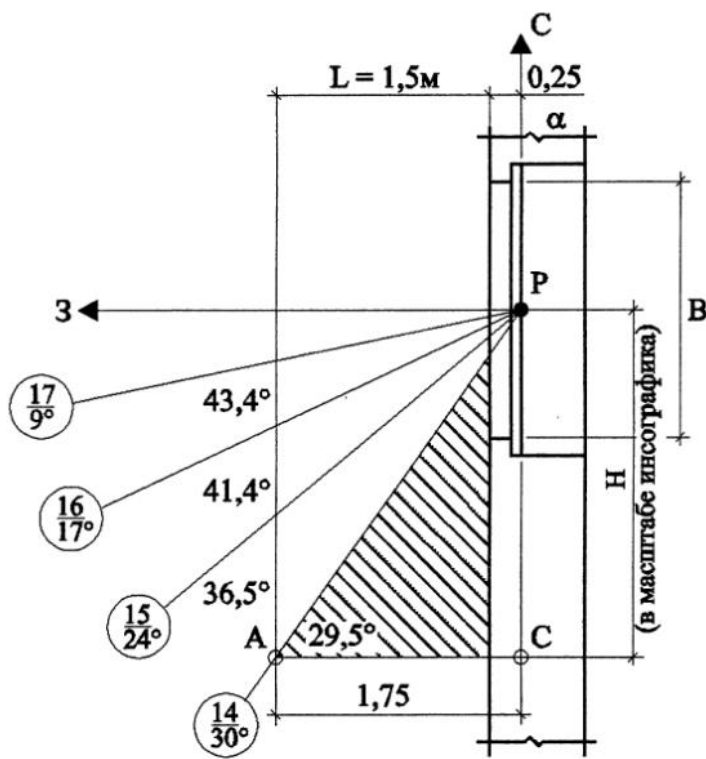


Рис. 5.57. План окна с балконом над ним, М 1:50

*Пример.*

Определить продолжительность инсоляции окна комнаты с протяженным балконом. Окно ориентировано на Запад. Ширина балкона  $b = 1,5$  м. Ширина окна  $B = 1,8$  м, его высота  $h_0 = 1,5$  м. Толщина стены  $d = 0,7$  м.

Точка  $P$  расположена на расстоянии  $d_0 = 0,25$  м от внешней грани стены. План окна с балконом приведен на рис. 5.57 в М 1:50.

Превышение нижней грани балкона над расчетной точкой составляет  $H = h_0 + 0,2 \text{ м} = 1,5 + 0,2 = 1,7 \text{ м}$ . (здесь 0,2 м – расстояние от верхней грани окна до нижней поверхности балконной плиты). Отложим от расчетной точки вертикально вниз расстояние, равное 1,7 м в масштабе горизонтальных делений инсографика, и проведем линию АС. Линия РА (от  $P$  до пересечения АС с пунктирной линией ширины балкона в плане) ограничивает период инсоляции с 14.00 до 17.00 (предельное время инсоляции). Продолжительность инсоляции составляет 3 часа. Начиная с 14 часов солнце проходит под балконом в расчетную точку помещения.

*Пример.*

Определить продолжительность инсоляции окна комнаты с протяженным балконом ограниченной длины. Ориентация окна  $120^\circ$  (ЮВ). Параметры окна такие же, как в предыдущем примере. Балкон заканчивается в 1,5 м от края окна (рис. 5.58).

Инсоляция точки  $P$  начинается в 7.00. Лучи солнца при угловой высоте  $9^\circ$  свободно проходят в точку  $P$  под балконом. Угловая высота солнца меньше вертикального угла балкона до 11 ч. 40мин. С 11.40 до 13.15 инсоляция прекращается, так как точку  $P$  затеняет балкон. В 12.00 солнце имеет угловую высоту  $35^\circ$ , а угол затенения  $32.2^\circ$ . В 13.00  $h_0 = 34^\circ$ . Угол затенения  $32.9^\circ$ . С 13.15 до 13.45 имеет место второй период инсоляции точки  $P$ , продолжающийся 0 ч. 30мин.

Инсоляция точки  $P_1$  ограничивается горизонтальным теневым углом. Она продолжается с 7.00 до 9.30. Продолжительность инсоляции в точке  $P_2$  - с 9.30 до 11.40, т.е. 3 ч. 10 мин.

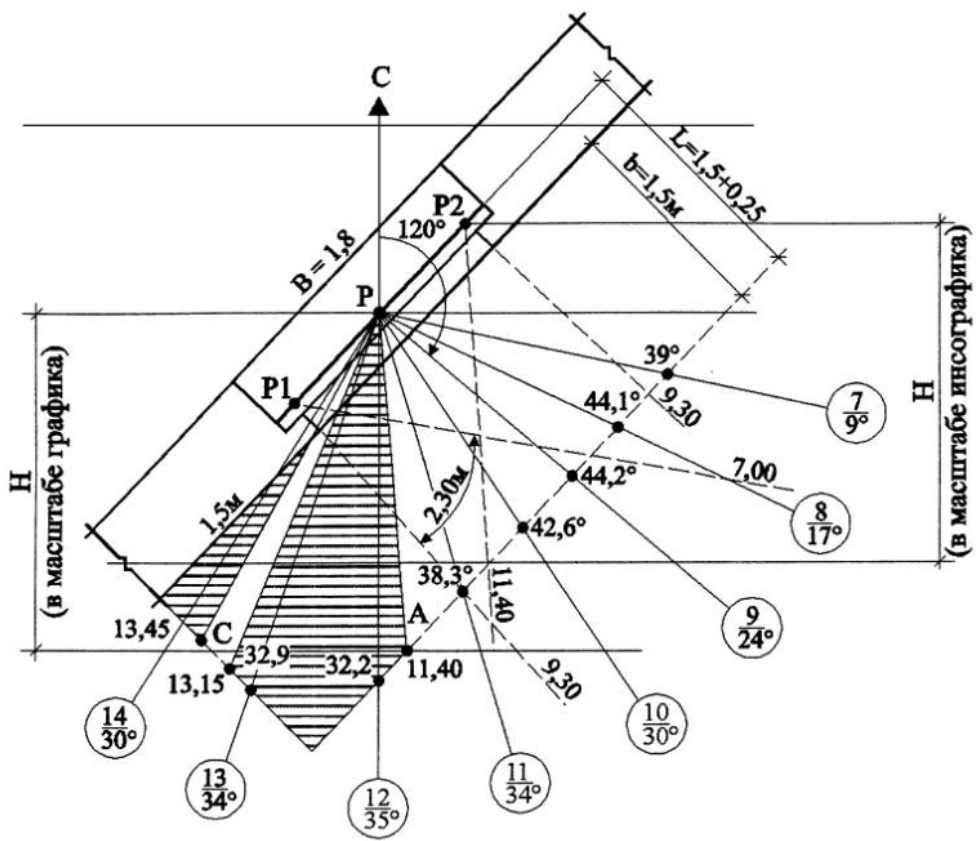


Рис. 5.58. План окна с расположенным над ним балконом ограниченной длины, М 1:50

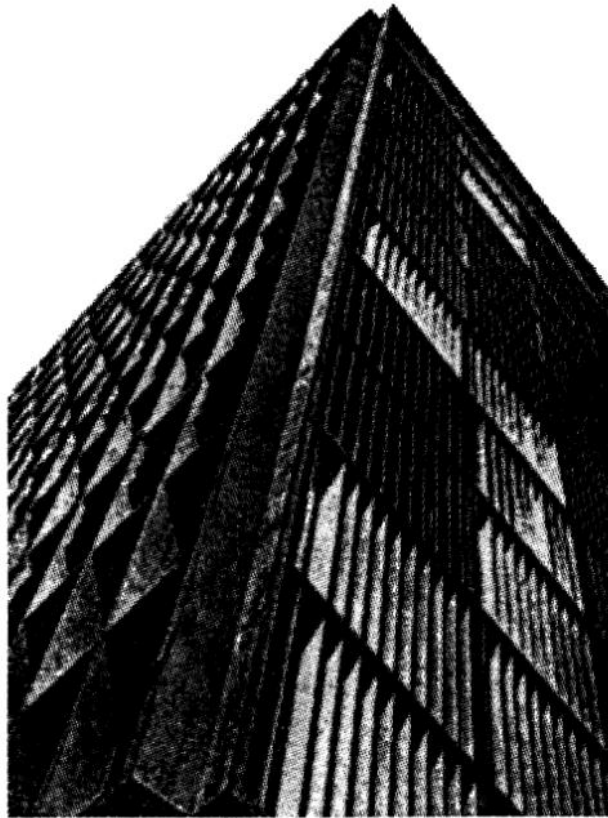


Рис. 5.59. Банк «Боа-Виста» (Сан-Паулу, Бразилия). Соответствие вида солнцезащиты ориентации фасадов



Расчеты продолжительности инсоляции входят составной частью в проект здания или застройки (раздел «Естественное освещение и инсоляция», который утверждается Архитектурно-планировочным управлением города при согласовании с городским органом Санэпиднадзора).

Проектирование солнцезащиты является важным средством повышения комфортности внутренней среды в зданиях. Нормы СанПиН 2.2.1/ 2.1.1 1076-03 требуют обязательное ограничение избыточного теплового воздействия инсоляции в жилых комнатах, помещениях ДДУ, учебных помещениях общеобразовательных школ, средних специальных учебных заведений, в палатах, санаторно-оздоровительных учреждений и учреждений социального обеспечения, имеющих юго-западную и западную ориентацию светопроемов. Ограничение теплового воздействия должно в этом случае обеспечиваться устройством лоджий или солнцезащитных устройств (СЗУ). Однако и там, где это не регламентировано нормами, устройство солнцезащиты является средством повышения комфортности и снижения энергозатрат на кондиционирование воздуха. СЗУ являются элементом, способным в значительной степени влиять, а иногда и полностью формировать архитектурный облик зданий (*рис. 5.59* и *рис. 5.60*).



Рис. 5.60. Гостиница «Узбекистан» в Ташкенте

СЗУ могут быть стационарными и регулируемыми. Регулируемые СЗУ представляют собой горизонтальные или вертикальные жалюзи с поворачивающимися перьями. Поворот перьев и сдвигка их вверх или вбок могут осуществляться вручную или автоматически под управлением специального устройства, следящего за положением солнца на небосводе. Наиболее рационально с точки зрения теплозащиты наружное расположение жалюзи. Однако такое расположение требует надежной и прочной конструкции СЗУ для защиты от погодных воздействий. Межстекольное расположение жалюзи ведет к перегреву межстекольного пространства. Внутреннее расположение жалюзи превращает их в источник тепловой радиации внутри помещения, так как они нагреваются солнцем. Для снижения этого негативного эффекта межстекольные и внутренние жалюзи должны окрашиваться в белый или очень светлый цвет и выполняться из малотеплоемкого материала.

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

Характерные ошибки при проектировании стационарных СЗУ:

1. Применение тяжелых бетонных экранов и козырьков, монолитно связанных с несущими конструкциями; большие плоскости остекления усугубляют перегрев помещений. Горячий воздух, поднимаясь по фасаду, попадает в помещения. Очень светлые СЗУ создают слепимость за счет отраженного от них прямого солнечного света.
2. Несоответствие геометрических параметров СЗУ требуемым условиям затенения светопроемов. В основе этой ошибки лежит стремление архитекторов придать солнцезащите преимущественно декоративный характер, не проверив эффективность затенения.
3. Применение СЗУ с внутренней стороны светопроемов. Эта ошибка более характерна для регулируемых устройств.
4. Применение наружной солнцезащитной пластики, свойственной архитектуре тропических стран, в зданиях, строящихся в центральных и северных районах.
5. Применение одинаковой наружной солнцезащиты на всех фасадах здания независимо от их ориентации.
6. Применение солнцезащитного остекления. Следует учитывать, что теплоотражающие стекла лишь частично эффективны в снижении перегрева и бесполезны как средство против слепящего действия прямых солнечных лучей. Они не пропускают целебную УФР, значительно снижают освещенность и стоят во много раз дороже обычного оконного стекла. Это же касается и тонированных стекол, к негативным качествам которых добавляется аккумулялирование тепла. Летом такие стекла могут быть дополнительным источником перегрева.

На *рис. 5.61* приведены рекомендуемые типы СЗУ в зависимости от ориентации фасадов по странам света.

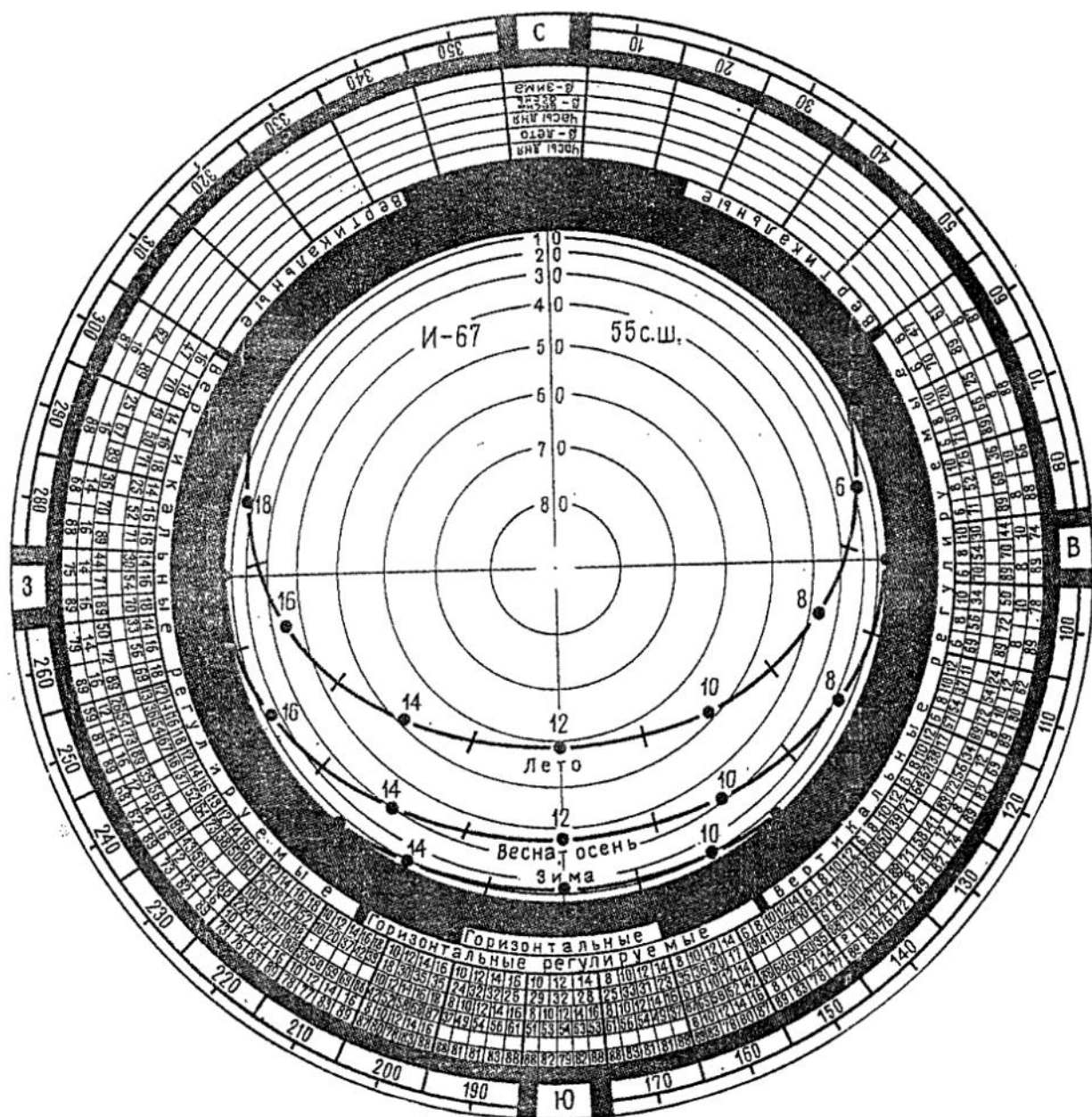


Рис. 5.61. Рекомендуемые типы СЗУ по ориентациям для 55° с.ш.  
(Инсоляметр Н.В. Оболенского)

Размеры СЗУ, их ритм, расположение и углы наклона определяются с помощью солнечных карт или рассчитываются по формулам:

$$\beta = \arctg (\operatorname{ctg} h_0 \cdot \cos \alpha); \quad (5.43)$$

$$\gamma = 90 - \alpha. \quad (5.44)$$

Здесь  $\beta$  – угол между плоскостью фасада и проекцией солнечного луча на нормальную к фасаду плоскость (для горизонтальных элементов);  $\gamma$  – угол между линией фасада и азимутом солнца ( $A_0$ ) (для вертикальных ребер);  $h_0$  – угловая

высота солнца над горизонтом;  $\alpha$  – угол между азимутом солнца и нормалью к фасаду (см. рис.5.62).

Существуют методы определения боковых выносов горизонтальных затеняющих элементов свободной формы в зависимости от движения солнца по небосводу (рис.5.63). Такие козырьки позволяют затенить светопроем в течение только определенного времени.

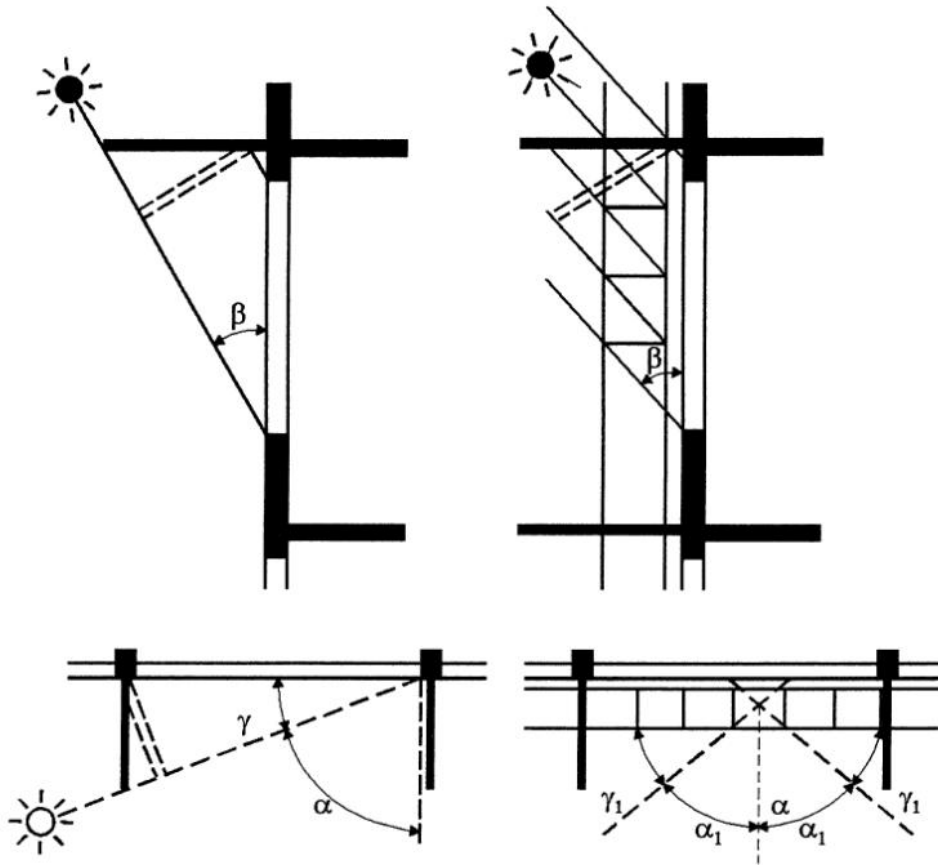


Рис. 5.62

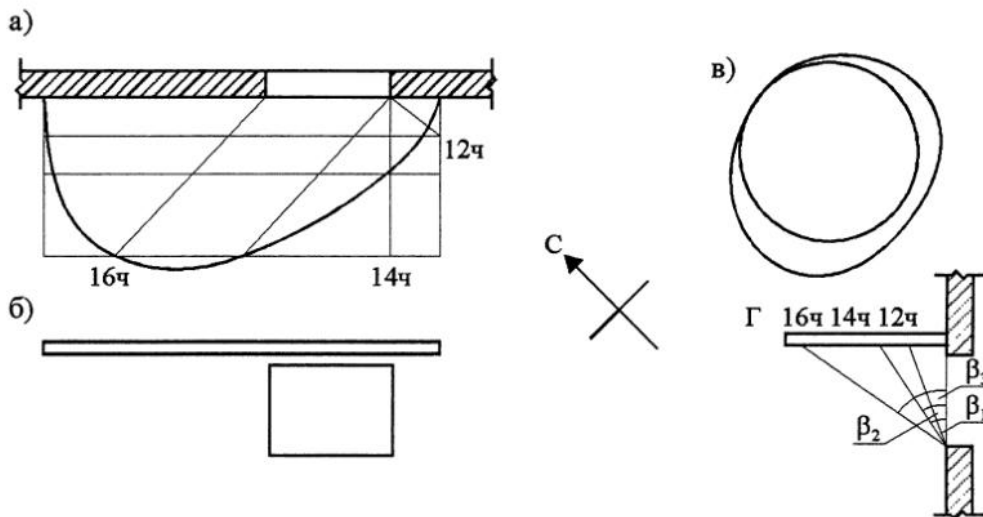


Рис. 5.63

Расчетное положение солнца (углы  $h_0$  и  $A_0$ ) определяется для периода перегрева. Период перегрева устанавливается по изолиниям температур наружного воздуха в месте строительства (рис. 5.64). Температурой перегрева для России считается  $t_n = +28^\circ\text{C}$ , т.е. наружная температура, при которой должно обязательно работать искусственное охлаждение в помещении. В различных странах эта температура может быть другой в зависимости от влажности воздуха и привычек населения.

При разработке проектов зданий выполняются разделы «Естественное освещение и инсоляция». Очень часто в стесненной городской застройке выполнение требований норм СНиП и СанПиН по инсоляции и естественному освещению диктует этажность и объемно-планировочное решение зданий. С одной стороны, проектируемое здание не должно нарушать требований норм по естественному освещению и инсоляции в окружающей застройке. С другой стороны, окружающая застройка не должна затенять квартиры и другие помещения в проектируемом здании. Солнечные лучи, соответствующие выполнению требований норм по инсоляции, «строят» определенный объем. Разработчики этого метода А.В. Воронов и Н.И. Щепетков назвали этот объем «воздушным замком». Такие «воздушные замки» ограничивают пространство, в которое можно «вписать» здание в стесненной городской застройке. Практика построения таких «замков» показывает, что естественный свет и солнце могут формировать неожиданные интересные архитектурные формы и объемы. Этот пример показывает, что естественный свет не только обеспечивает комфорт и требуемые гигиенические и психо-физиологические качества интерьеров, но является «строительным материалом», способным формировать объемно-планировочное решение проектируемого здания.

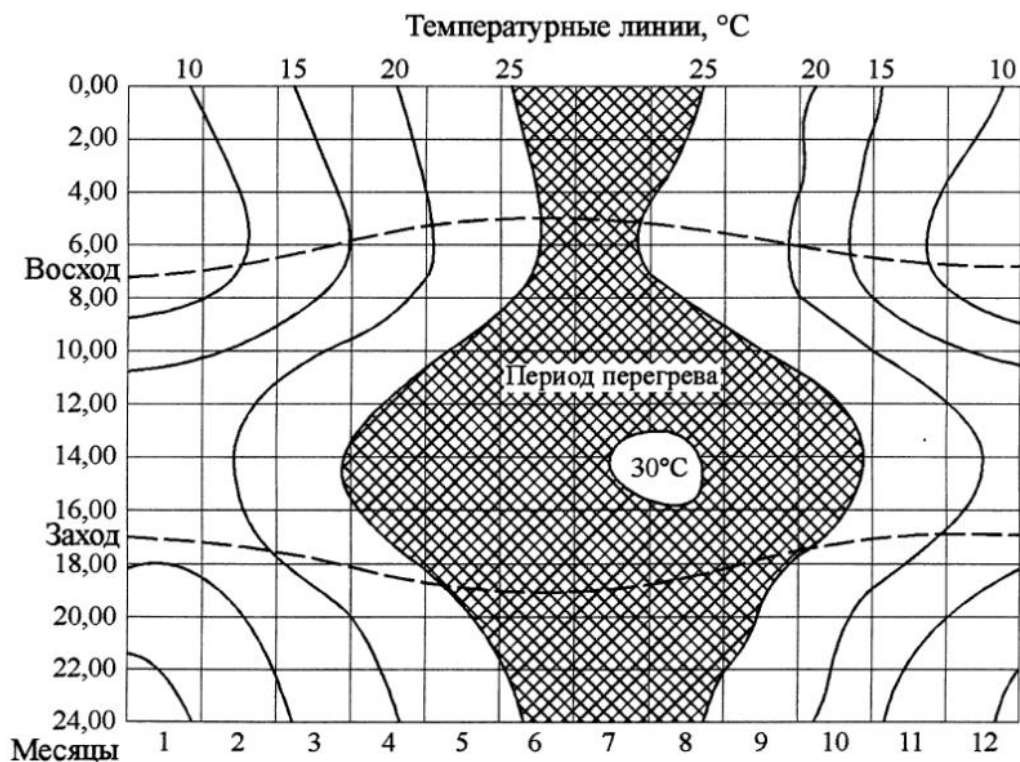


Рис. 5.64

### 5.13. Техничко-экономическая и энергетическая оценка систем естественного освещения зданий

Естественное освещение экономит электроэнергию, затрачиваемую на искусственное освещение помещений. С ростом стоимости электроэнергии это становится важным экономическим фактором. Однако естественное освещение не бесплатно. Светопрозрачное заполнение проемов, в особенности современные конструкции окон, являются значительно более дорогими, чем конструкции глухих стен. Несмотря на то, что современные светопрозрачные конструкции обладают высоким сопротивлением теплопередаче, даже вакуумные стеклопакеты зимой пропускают наружу в три раза больше тепла, чем глухие стены. Это требует дополнительных затрат энергии на отопление. Летом, наоборот, светопроемы пропускают внутрь большое количество тепла. Это, в свою очередь, требует дополнительных затрат энергии на вентиляцию и охлаждение. Кроме того, естественное освещение требует дополнительных затрат на ремонт и очистку светопроемов.

Оценка затрат на устройство и эксплуатацию естественного освещения зданий включает в себя расчет капитальных затрат на устройство светопроемов, установок отопления, вентиляции и охлаждения, а также расчет годовых эксплуатационных затрат на очистку и ремонт светопроемов, на дополнительные затраты энергии на отопление, вентиляцию и охлаждение, связанные с наличием светопроемов, а также на электрическое освещение. Методика оценки экономической эффективности системы естественного освещения разработана в НИИстройфизики. С помощью этой методики удобно сравнивать эффективность различных вариантов систем.

Так как затраты в стоимостном выражении постоянно меняются, более объективной и постоянной оценкой эффективности системы естественного освещения является энергетическая оценка.

Затраты энергии на восполнение теплопотерь через светопроемы,  $\omega_{m.om.}$ , ГДж/(м<sup>2</sup> год), определяются по формуле

$$\omega_{m.om.} = 10^{-6} \cdot 1,1 \cdot 3,6(1,3 + \eta) \left( \frac{1}{R_{ск}} - \frac{1}{R} \right) \left[ (t - t_{om})T + (t_d - t_{om})(8760 - T) \right] \cdot z_{om} \cdot b \cdot A_{ск} \cdot N_{ск} / 365 A_n. \quad (5.58)$$

Здесь приняты следующие обозначения: 1,1 – коэффициент, учитывающий бесполезные теплопотери в системах отопления, отн. ед; 3,6 – коэффициент пересчета единиц, кДж/(Вт ч); 1,3 – коэффициент, учитывающий потери тепла на нагревание наружного воздуха, поступающего через светопроемы путем инфильтрации, отн.ед.;  $\eta$  – коэффициент, учитывающий добавочные потери тепла светопрозрачными конструкциями, отн.ед., принимаемый по СНиП «Отопление и вентиляция»;  $R_{ск}$  – сопротивление теплопередаче светопрозрачной конструкции, м<sup>2</sup>·°C/Вт;  $R$  – сопротивление теплопередаче стены или глухой части покрытия;  $t$  – расчетная зимняя температура воздуха внутри помещения в рабочее время, °C;  $t_{om}$  – средняя наружная температура отопительного периода,

$^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\theta}$  - температура воздуха в помещении в нерабочее время,  $^{\circ}\text{C}$ , принимаемая равной  $5^{\circ}\text{C}$  по всему объему или равной  $t$  при работе основной системы отопления круглосуточно;  $z_{om}$  - продолжительность отопительного периода, сут;  $T$  - продолжительность рабочего времени за год, принимаемая равной 2150 ч при работе в одну смену, 4300 ч - при работе в две смены, 6500 ч - при работе в три смены;  $A_{ск}$  - площадь светопрозрачной конструкции в покрытии или стене,  $\text{м}^2$ ;  $b$  - коэффициент, учитывающий наличие переплетов в светопроеме (в большинстве случаев  $b = \tau_2$ , см. п. 5.3);  $N_{ск}$  - количество светопрозрачных конструкций в помещении, шт.;  $A_n$  - площадь пола помещения,  $\text{м}^2$ .

Указанные значения принимаются по расчету или по таблицам в СНиП «Теплозащита зданий», «Строительная климатология». Геометрические параметры принимаются по строительным чертежам. Для помещений высотой свыше 4 м при использовании для нагрева отопительных приборов:

$$t = t_p + \Delta t (H-2). \quad (5.59)$$

Здесь  $t_p$  - температура воздуха в рабочей зоне помещения,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta t = 0,2 \div 1^{\circ}\text{C}/\text{м}$  - градиент температуры по высоте в зависимости от теплонапряженности помещения;  $H$  - высота от пола до расчетной точки, м.

Продолжительность отопительного периода  $z_{om}$  для промышленных зданий с производственными тепловыделениями рассчитывается по специальным формулам. Для остальных зданий  $z_{om}$  определяется по таблице в СНиП «Строительная климатология».

Удельное количество электроэнергии на вентиляцию  $\omega_{э.в.}$  кВт·ч/м следует определять по формуле:

$$\omega_{э.в.} = 0,72L_0(N_{н.в.} + N_{в.в.})z_{20}. \quad (5.60)$$

Здесь приняты следующие обозначения:

0,72 - доля рабочих дней за месяц, отн.ед.;  $L_0$  - производительность системы вентиляции на  $1\text{м}^2$  площади пола с учетом средней теплоинерционности помещения. Величину  $L_0$  следует рассчитывать по формуле

$$L_0 = \frac{3,6 \cdot 0,7 q_{рад.}^{макс}}{c\rho(t_{р.А.} - t_{нр.А.})}, \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^2. \quad (5.61)$$

$N_{н.в.} = 0,2 \cdot 10^{-3}$  кВт·ч/м<sup>3</sup> - удельный расход электроэнергии на приточную вентиляцию;  $N_{в.в.} = 0,1 \cdot 10^{-3}$  кВт·ч/м - удельный расход электроэнергии на вытяжную вентиляцию.

Эти данные приведены согласно «Пособию НИИСФ», М. 1985 г.

В формуле (5.61)  $c = 1$  кДж/кг;  $c$  - удельная теплоемкость воздуха;  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup> - плотность воздуха; расчетная разность температур ( $t_{р.А.} - t_{нр.А.}$ ) принимается равной 3 или  $5^{\circ}\text{C}$  в зависимости от теплонапряженности помещения.

Наибольшее значение радиационных теплопоступлений  $q_{рад}^{макс}$  (Вт/м<sup>2</sup>) в рабочую зону помещения определяется максимальным значением суммарной

солнечной радиации, падающей на плоскость светопроема в течение суток и в зависимости от вида светопрозрачной конструкции, рассчитывается по формуле

$$q_{рад}^{макс} = (Q_{пр.VII}^{макс} + \xi Q_{рас.VII}^{макс}) \tau_e \cdot \tau_2 \cdot \beta_{сз} \cdot b \cdot A_{ск} \cdot N_{ск} / A_n \cdot \kappa_3, \quad (5.62)$$

где  $Q_{пр.VII}^{макс}$  и  $Q_{рас.VII}^{макс}$  - наибольшее значение прямой и рассеянной солнечной радиации в июле при безоблачном небе, приходящее на поверхность светопроема в зависимости от его ориентации, Вт/м<sup>2</sup>;  $\tau_e$  - интегральный коэффициент пропускания солнечной радиации светопрозрачным заполнением проемов, отн.ед., определяется по табл. 5.10;  $\beta_{сз}$  - коэффициент теплопропускания солнцезащитных устройств, отн.ед., определяется по табл. 5.11;  $\kappa_3$  см. табл. Прил. 5.7.  $\xi$  - коэффициент, определяющий долю теплоизбытков помещения, влияющих на температуру воздуха в рабочей зоне, принимаемый согласно «Пособию НИИСФ», М. 1985 г.

Для упрощения ведения расчетов в качестве времени работы системы вентиляции можно принимать количество часов (убывающий итог) с температурой наружного воздуха более 20 °С –  $z_{20}$ , ч по справочнику СНиП ПА.6-72.

Таблица 5.10

Теплотехнические характеристики световых проемов

Заполнение светового проема	Сопротивление теплопередаче $R_{с.н.}$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт	Интегральный коэффициент пропускания $\tau_e$ , отн.ед.
Одинарное остекление в деревянных переплетах	0,17	0,83
То же, в металлических	0,15	0,83
Двойное остекление в деревянных спаренных переплетах	0,34	0,69
То же, в металлических	0,31	0,69
То же, в деревянных отдельных	0,38	0,69
То же, в металлических	0,34	0,69
Тройное остекление в деревянных переплетах (спаренный и одинарный)	0,52	0,57
То же, в металлических	0,48	0,57
Блоки стеклянные пустотелые размером 194x194x98 мм с шириной швов 6 мм	0,31	0,64
То же, размером 244x244x98 мм	0,33	0,64
Профильное стекло швеллерного сечения	0,16	0,78
То же, коробчатого	0,34	0,61
Органическое стекло одинарное	0,19	0,87
То же, двойное	0,36	0,76
То же, тройное	0,52	0,66
Двуслойные стеклопакеты в деревянных переплетах	0,34	0,69
То же, металлических	0,31	0,69
Двуслойные стеклопакеты и одинарное остекление в отдельных деревянных переплетах	0,52	0,57
Двуслойные стеклопакеты	0,48	0,57



Количество электроэнергии, кВт·ч/м<sup>2</sup>, затрачиваемое на охлаждение приточного воздуха, определяется по затратам энергии на ликвидацию теплопоступлений через окна за счет их пониженного сопротивления теплопередаче и теплопоступлений от солнечной радиации, нагревающей внутренние поверхности в помещении.

$$\omega_{э.х.} = 10^{-3}(1,3+\eta)(1/R_{ск}-1/R)(t_{ср.охл.}-t) \cdot z_{28} \cdot b \cdot A_{ск} \cdot N_{ск}/A_n + 0,72 \cdot L_0 \cdot N_a \cdot z_{28}. \quad (5.63)$$

Здесь  $t_{ср.охл.}$  – средняя температура за период охлаждения, °С;  $z_{28}$  – количество часов (убывающий итог) с температурой наружного воздуха больше +28 °С. Это значение, так же как и значение  $z_{20}$ , можно определить по этому же справочнику;  $t$  – температура воздуха в помещении согласно требованиям СНиП или отраслевых норм.

Удельный расход электроэнергии на охлаждение воздуха  $N_a$  зависит от типа системы кондиционирования. При адиабатическом охлаждении воздуха расход электроэнергии на подачу воды в приточные камеры равен  $N_a = 0,75 \cdot 10^{-4}$  кВт·ч/м<sup>2</sup>. В современных системах эта величина значительно больше. Например, по данным В.Н. Богословского, она в среднем составляет  $1,67 \cdot 10^{-3}$  кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Энергозатраты на искусственное освещение определяются по формуле

$$\omega_{э.и.} = 10^{-3} \cdot E \cdot K_{з.и.} \cdot z \cdot \alpha \cdot P_{л.} (1+\beta) \cdot T_u / \Phi_{л.} \cdot u_{св.} \quad (5.64)$$

**Таблица 5.11**

(СНиП II-3-79\*, приложение 8)

Коэффициенты теплопропускания солнцезащитных устройств

Солнцезащитные устройства	Коэффициент теплопропускания солнцезащитных устройств $\beta_{с.з.}$
<b>А. Наружные</b>	
1. Штора или маркиза из светлой ткани	0,15
2. Штора или маркиза из темной ткани	0,20
3. Ставни-жалюзи с деревянными пластинами	0,100,15
4. Шторы-жалюзи с металлическими пластинами	0,15/0,20
<b>Б. Межстекольные (непрветриваемые)</b>	
5. Шторы-жалюзи с металлическими пластинами	0,30/0,35
6. Штора из светлой ткани	0,25
7. Штора из темной ткани	0,40
<b>В. Внутренние</b>	
8. Шторы-жалюзи с металлическими пластинами	0,60/0,70
9. Штора из светлой ткани	0,40
10. Штора из темной ткани	0,80
Примечания:	
1. Коэффициенты теплопропускания даны дробью: до черты - для солнцезащитных устройств с пластинами под углом 45°, после черты – под углом 90° к плоскости проема.	
2. Коэффициенты теплопропускания межстекольных солнцезащитных устройств с проветриваемым межстекольным пространством следует принимать в 2 раза меньше.	

Здесь  $K_{з.и.}$  – коэффициент запаса при искусственном освещении;  $z$  – коэффициент, учитывающий неравномерность освещенности и принимаемый равным 1,15 для светильников с лампами накаливания, ДРЛ и ДРИ и 1,1 для светильников с люминесцентными лампами;  $\Phi_{л.}$  – световой поток лампы, принимаемый по справочнику;  $P_{л.}$  – мощность лампы, Вт.;  $u_{св.}$  – коэффициент использования светового потока светильника все эти данные определяются по «Справочной книге по светотехнике» (см. список литературы) или по «Справочной книге для проектирования электрического освещения» под ред. Г.М. Кнорринок. «Энергия». Ленинград. 1976г.;  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий потери энергии в ПРА (величина  $\alpha = 1$  для ламп накаливания (ЛН), 1.2 – для люминесцентных ламп (ЛН), 1.8 – для ламп ДРЛ и ДРИ);  $\beta$  – коэффициент, учитывающий потери энергии в сетях (величина  $\beta = 0,03$  при ЛН, 0,037 при ЛЛ и 0,078 при ДРИ);  $E$  – уровень искусственной освещенности по нормам (см. п. 5.5);  $T_u$  – продолжительность работы установки искусственного освещения за год, ч.

$$T_u = 8 \cdot 24 \cdot 12 \cdot n_{см} - T_e,$$

где  $T_e$  – время использования естественного освещения.

Время использования естественного света можно определить по графикам хода естественной диффузной освещенности, которые строятся по данным справочника СНиП II А.6-72 (см. прил. 5.10 и *рис.5.20*). Время использования естественного света за год определяется как сумма дневного времени использования естественного света для характерного дня (15-е число) каждого месяца, умноженная на количество рабочих дней в месяце – в среднем 24:

$$T_e = 24 \cdot \sum_{i=1}^{12} (t_{2i} - t_{1i}). \quad (5.65)$$

За время  $t_{1i}$  (время отключения искусственного освещения) принимается время наступления критической освещенности (см. *рис. 5.20*) или время начала работы, если оно имеет место после наступления критической освещенности. Это бывает, как правило, в зимние месяцы. За время  $t_{2i}$  (время включения искусственного освещения) также принимается время наступления критической освещенности или время конца работы.

Если при определении величины критической освещенности по формуле (5.31) за величину внутренней освещенности принимать нормируемую величину искусственной освещенности, то, например, при нормируемой искусственной освещенности 300 лк и величине КЕО  $e = 1,5\%$   $E_{кр.} = 20000$  лк. Такая величина диффузной освещенности имеет место только в летние месяцы в течение короткого промежутка времени. Поэтому правильным было бы понижение в формуле (5.31) величины  $E_u^{норм}$ , например, на три ступени по логарифмической шкале освещенностей (см. п. 5.9) с учетом того, что при включении искусственного света к естественной освещенности добавляется сразу нормируемая величина искусственной освещенности. При этом при  $E_u^{норм} = 300$  лк величина  $E_{u.1}^{норм} = 100$  лк;  $e = 1,5\%$ ;  $E_{кр.} = 6666$  лк. Это приблизительно соответствует

принятой Н.М. Гусевым и Н.Н. Киреевым для всех случаев величине  $E_{кр} = 5000$  лк [5.23].

Суммарные энергозатраты, переведенные в условное топливо,  $\omega_{усл.}$  кг/м<sup>2</sup> площади помещения, определяются по формуле

$$\omega_{усл.} = A_1 \cdot \omega_{т.от.} + A_2 (\omega_{э.от.} + \omega_{э.в.} + \omega_{э.х.} + \omega_{э.и.}), \quad (5.66)$$

где  $A_1 = 41,2$  кг/ ГДж и  $A_2 = 0,33$  кг/ (кВт ч) - удельный расход условного топлива на электростанциях общего использования на 1 ГДж тепловой энергии и на 1 кВт·ч электроэнергии;  $\omega_{э.от.}$  - удельный годовой расход электроэнергии на отопление, кВт·ч/(м<sup>2</sup> год), принимаемый по формуле

$$\omega_{э.от.} = 7,1 \omega_{т.от.} \quad (5.67)$$

для систем воздушного отопления и равным нулю для других систем отопления.

Энергетическая и стоимостная оценка систем освещения помещений позволяет производить комплексное проектирование освещения зданий, дает возможность подойти к оптимальной интеграции естественного и искусственного освещения зданий в соответствии с его функцией, а также с климатическими условиями места строительства.

### **Список литературы к разделу «Свет в архитектуре и строительстве»**

1. В. Блази. Справочник проектировщика. Строительная физика. 2-е, дополненное издание. Перевод с немецкого под редакцией и с дополнением А.К. Соловьева «Строительная светотехника – естественное освещение». Техносфера. Москва, 2005.
2. Архитектурная физика. Под редакцией Н.В. Оболенского. Стройиздат. Москва, 1997.
3. Справочная книга по светотехнике. Под редакцией Ю.Б. Айзенберга. «Знак». Москва, 2006.
4. В.А. Объедков, А.К. Соловьев и др. Лабораторный практикум по строительной физике. Высшая школа. Москва, 1979.
5. Н.М. Гусев. Основы строительной физики. М.: Стройиздат, 1975.
6. СНиП 23-05-95\* «Естественное и искусственное освещение». М, 2003.
7. СП-23-102-2003 «Естественное освещение зданий». Свод правил по проектированию и строительству. М, 2003.

# АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНАЯ АКУСТИКА

## 6. ЗАЩИТА ОТ ШУМА В ЗДАНИЯХ (ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ)

### 6.1. Звук. Основные понятия

В строительстве все большее внимание уделяется защите от шума. Этого требуют увеличивающиеся шумовые воздействия снаружи и повышенные шумовые воздействия внутри зданий. Причинами увеличения шумовых воздействий являются:

- большие транспортные потоки;
- растущие авиационные перевозки;
- небольшие участки под строительство;
- более плотная застройка;
- различное время работы членов семьи, работа в разные смены и, соответственно, разное время сна и отдыха;
- большая нагрузка на человека на рабочем месте от шума машин и оборудования и, как следствие, большая потребность в покое;
- более мощные стереоустановки;
- различные привычки относительно громкости телевизоров и прослушивания музыки;
- большая мощность домашних электроприборов и инженерного оборудования современных зданий.

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

При проектировании следует учитывать следующие положения:

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

**ЗВУК** – это механические колебания упругого тела в частотном диапазоне слышимости человека. Звук характеризуется **ЧАСТОТОЙ** и **АМПЛИТУДОЙ** колебаний. Процесс распространения колебательного движения в среде называется **ЗВУКОВОЙ ВОЛНОЙ**. Скорость распространения звуковой волны (**СКОРОСТЬ ЗВУКА**) зависит от характеристик среды.

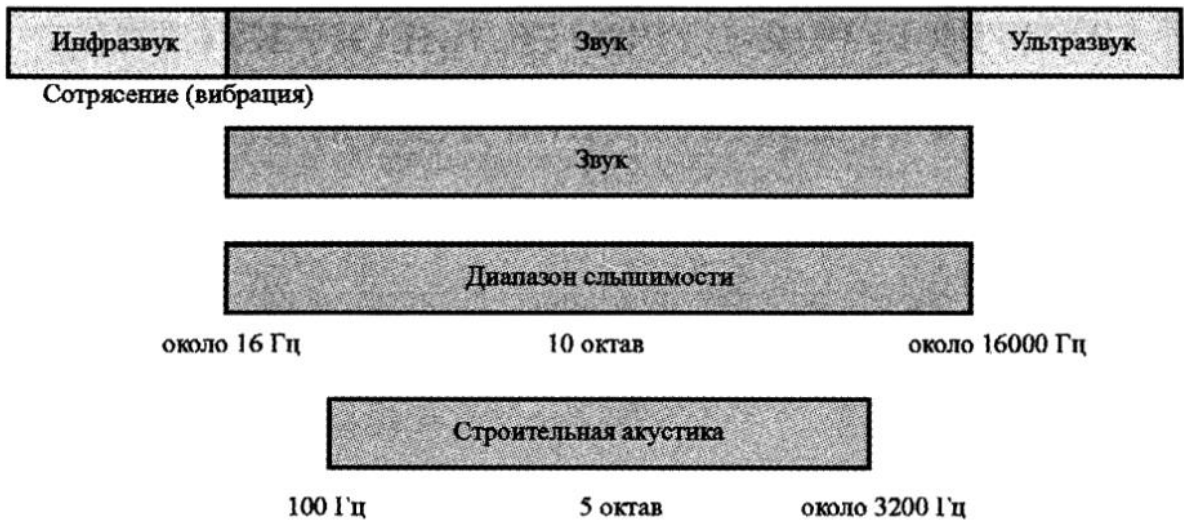


Рис. 6.1. Частоты в октавных интервалах

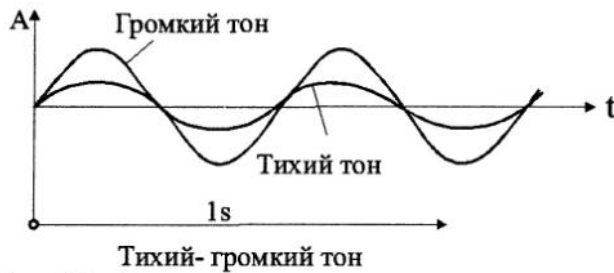


Рис. 6.2. Одинаковые тона – различная громкость звука

**ЧАСТОТА** – это количество колебаний в единицу времени. Частота определяет высоту звукового тона. Единица частоты – число колебаний в 1 секунду – герц (Гц). Частотные диапазоны звука схематически представлены на *рис.6.1.*

**АМПЛИТУДА** – определяет громкость звука. Чем сильнее отклонить струну или ударить по ней, тем сильнее она колеблется и тем сильнее звук (*рис.6.2.*).

**ТОН** – звуковые колебания синусоидальной формы.

**ЗВУЧАНИЕ** – наложение многих тонов (определяет красоту звучания).

**ШУМ** – нерегулярные колебания без закономерной зависимости.

**ГРОМКИЙ, РЕЗКИЙ, КОРОТКИЙ ЗВУК** – кратковременный, очень сильный, быстро кончающийся звуковой сигнал (*рис.6.3.*).



Одинаковая громкость - различные тона.

Тон: Звуковые колебания синусоидальной формы.

Звучание: Наложение многих тонов.

Шум: Нерегулярные колебания без закономерной зависимости.

Громкий резкий короткий звук: Кратковременный, очень сильный быстро кончающийся звуковой сигнал.

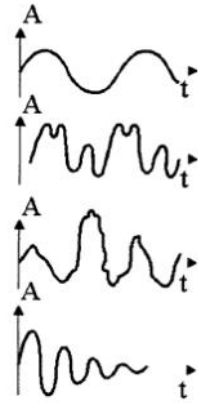
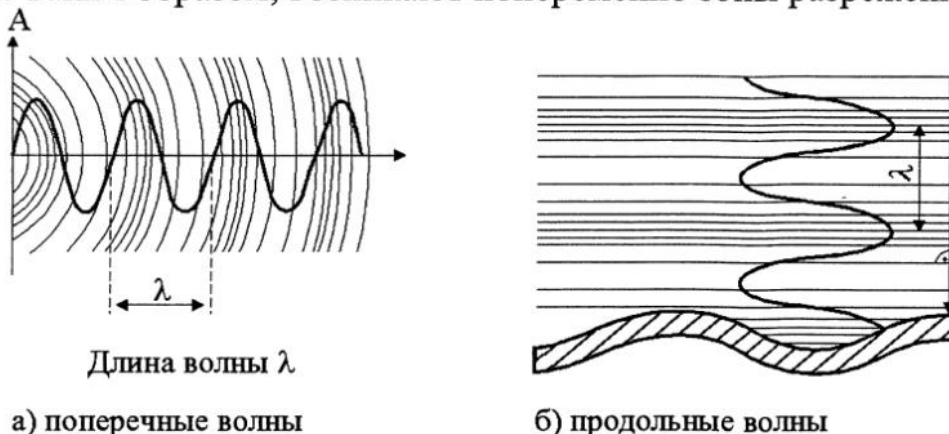


Рис. 6.3. характеристики звука

Физически чистый тон со своим синусоидальным колебанием – безжизненный и бесцветный. От чистого тона следует отличать звучание, которое характеризуется наложением обертонов над чистым основным тоном с низшей частотой. При этом говорят об окраске звучания. Этими обертонами в каждом музыкальном инструменте создается своя специфическая окраска звучания, которой мы можем его идентифицировать.

Колебания воздуха создают переменное давление на барабанную перепонку человеческого уха, которое мы воспринимаем как звук. Органы слуха у человека имеют сложное устройство, преобразующее механические импульсы колебаний воздуха или другой среды в электрические импульсы, поступающие в мозг, который создает у человека ощущение звука.

Колебательные движения источника звука (голосовые связки человека, мембрана динамика) передаются молекулам воздуха, а от них – на следующие молекулы. Таким образом, возникают попеременно зоны разрежения и



Длина волны  $\lambda$

а) поперечные волны

б) продольные волны

Рис. 6.4. Звуковые волны (продольные), волны в воде от брошенного камня (поперечные)

уплотнения воздуха. Подобно камню, брошенному в воду, в колебательные движения вовлекается все большее число молекул, и колебания постепенно затихают. Звуковые волны являются не поперечными, как это имеет место в воде от брошенного в нее камня, а продольными (рис. 6.4).

Под ЗВУКОВЫМ ДАВЛЕНИЕМ  $p$  понимают изменение атмосферного давления внутри определенного периода времени. Началом отсчета является давление  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2$  или 20 Па (1 Па = 1 Н/м<sup>2</sup>). Это самое меньшее давление звука, которое может еще воспринимать человек с неповрежденным слухом (порог слышимости).

ЗВУКОВАЯ МОЩНОСТЬ  $P$  (англ. Power). Звуковой мощностью называют всю звуковую энергию, излучаемую источником звука по всем направлениям в помещении. Единица звуковой мощности Ватт (Вт). Звуковые мощности различных источников приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1.

Источник звука	Мощность (Вт)
Разговор (человеческая речь)	$10^{-5}$
Наивысшая мощность человеческого голоса	$2 \cdot 10^{-3}$
Фортепиано	$2 \cdot 10^{-3}$
Труба	$3 \cdot 10^{-1}$
Автосигнал	5
Громкоговоритель	$10^2$
Сирена тревоги	$3 \cdot 10^3$
Реактивный двигатель	$10^4$
Двигатель ракеты	$10^6$

ЗВУКОВАЯ ЭНЕРГИЯ  $E$ . Звуковая энергия зависит как от мощности звука, так и от времени его действия. Единица: Ватт секунда (Вт\*с).

$$E = P \cdot t. \quad (6.1)$$

ИНТЕНСИВНОСТЬ ЗВУКА  $I$ . Под интенсивностью звука понимают звуковую мощность (Вт) на единицу площади (м<sup>2</sup>) площадки (S), перпендикулярной распространению звука. Порог слышимости имеет место при интенсивности звука  $I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$ .

$$I = P / S. \quad (6.2)$$

УРОВЕНЬ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ  $L$  (англ. Level). Ухо человека в состоянии оценивать не абсолютные, а относительные изменения звукового давления или интенсивности звука. При этом уровень ощущения по закону Вебера-Фехнера изменяется пропорционально логарифму физического воздействия. Этот закон касается не только звука, но и других ощущений (свет, боль, обоняние и др.). Изменение интенсивности звука и звукового давления огромно. То есть ухо человека может различать изменения этих параметров соответственно в  $10^{14}$  и  $10^7$  раз. Поэтому введены логарифмические единицы:

**УРОВЕНЬ ИНТЕНСИВНОСТИ** звука или **УРОВЕНЬ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ** (Децибел), дБ.

$$L = 10 \lg (I/I_0) = 10 \lg (p^2/p_0^2) = 20 \lg (p/p_0). \quad (6.3)$$

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

**СКОРОСТЬ ЗВУКА С.** Скорость звука зависит от материала, в котором распространяется звук, от температуры этого материала и от частоты звука.

Чем выше температура материала, тем больше скорость звука, так как молекулы с более высокой температурой более подвижны, чем более холодные.

Для воздуха справедлива формула

$$C_L = 331,2 + 0,6 \cdot \Delta T. \quad (6.4)$$

Здесь 331,2 м/с – скорость звука в воздухе при 0 °С;  $\Delta T$  – разница температуры с 0 °С.

Так, например, при температуре воздуха +18 °С скорость звука составляет:

$$C = 331,2 + 0,6 \cdot 18 = 342 \text{ м/с.}$$

В общем случае:

$$C = 10^3 \sqrt{\frac{E_{\text{дин}}}{\rho}}. \quad (6.5)$$

В этой формуле  $E_{\text{дин}}$  – динамический модуль упругости материала в МН/м<sup>2</sup>;  $\rho$  – плотность материала в кг/м<sup>3</sup>.

**ДЛИНА ВОЛНЫ ЗВУКА  $\lambda$ .** Звук распространяется волнообразно *рис.6.4*. Длина волны зависит от скорости распространения звука в воздухе и от его частоты.

$$\lambda = \frac{C_L}{f}, \text{ м.} \quad (6.6)$$

Если принять среднюю скорость звука в воздухе 343 м/с, то можно получить шкалу частот и зависимых от них длин волн (*рис.6.5*). Из рисунка следует, что чем ниже частота, тем больше длина волны.

Спектр частот, воспринимаемых ухом человека, огромен: диапазон составляет от 16 до 20 000 Гц. Обычно параметры шума оцениваются в **ОКТАВНЫХ** или в **ТРЕТЬОКТАВНЫХ** диапазонах. Октавой называется полоса частот, в которой отношение верхней  $f_1$  и нижней  $f_2$  граничных частот равно 2. Для третьоктавной полосы  $f_2/f_1 = 1,26$ . В качестве частоты, характеризующей полосу такого диапазона в целом, берется среднегеометрическая частота  $f = \sqrt{f_2 \cdot f_1}$ .

*рис. 6.5* приведены такие среднегеометрические частоты октавных полос, стандартизованные для акустических измерений.



Интервал в одну октаву

Фв Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	32000
$\lambda$ в м	10,9	5,44	2,74	1,37	0,69	0,34	0,17	0,0858	0,0429	0,0214	0,0107

Отсюда следует: Чем ниже частота, тем больше длина волны.

Рис. 6.5. Интервалы частот в одну октаву и соответствующие длины звуковых волн

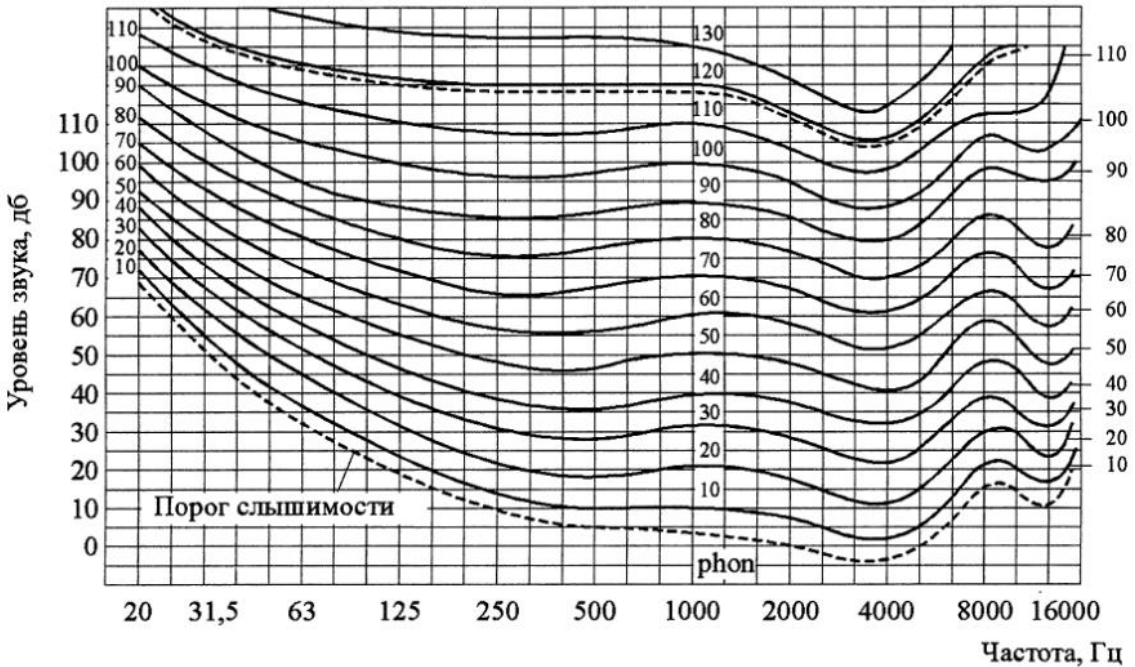


Рис. 6.6. Кривые равной громкости.

Уровень звукового давления не может характеризовать звук полностью, так как звуки разной частоты при одинаковом уровне звукового давления могут создавать разное ощущение громкости. На рис. 6.6 по оси абсцисс нанесены стандартизованные октавные частоты в логарифмическом масштабе, т.е. удвоенные частоты имеют место через равные промежутки на этой оси. По оси ординат отложены уровни звукового давления в дБ. Как видно из рис. 6.6, порог слышимости, так же как и болевой порог наступают на разных частотах при разных значениях  $L$ . Например, звук частотой 31,5 Гц начинает быть слышимым при 53 дБ, тогда как при частоте 2000 Гц – уже при 0 дБ. С другой стороны, звук будет восприниматься как болевое ощущение при частоте 31,5 Гц, если уровень звукового давления достигнет 135 дБ, тогда как при частоте 2000 Гц это произойдет уже при 112 дБ. Отсюда можно заключить, что низкие частоты воспринимаются человеком лучше, чем высокие.

**УРОВЕНЬ ГРОМКОСТИ  $L_A$ .** Уровни громкости даются в ФОНАХ. Эта величина выражает субъективное ощущение звукового давления, тогда, как децибел является физической величиной. При частоте 1000 Гц децибелы соответствуют фонам. Шкала громкости различных источников звука представлена на рис. 6.7.

## Шкала громкости

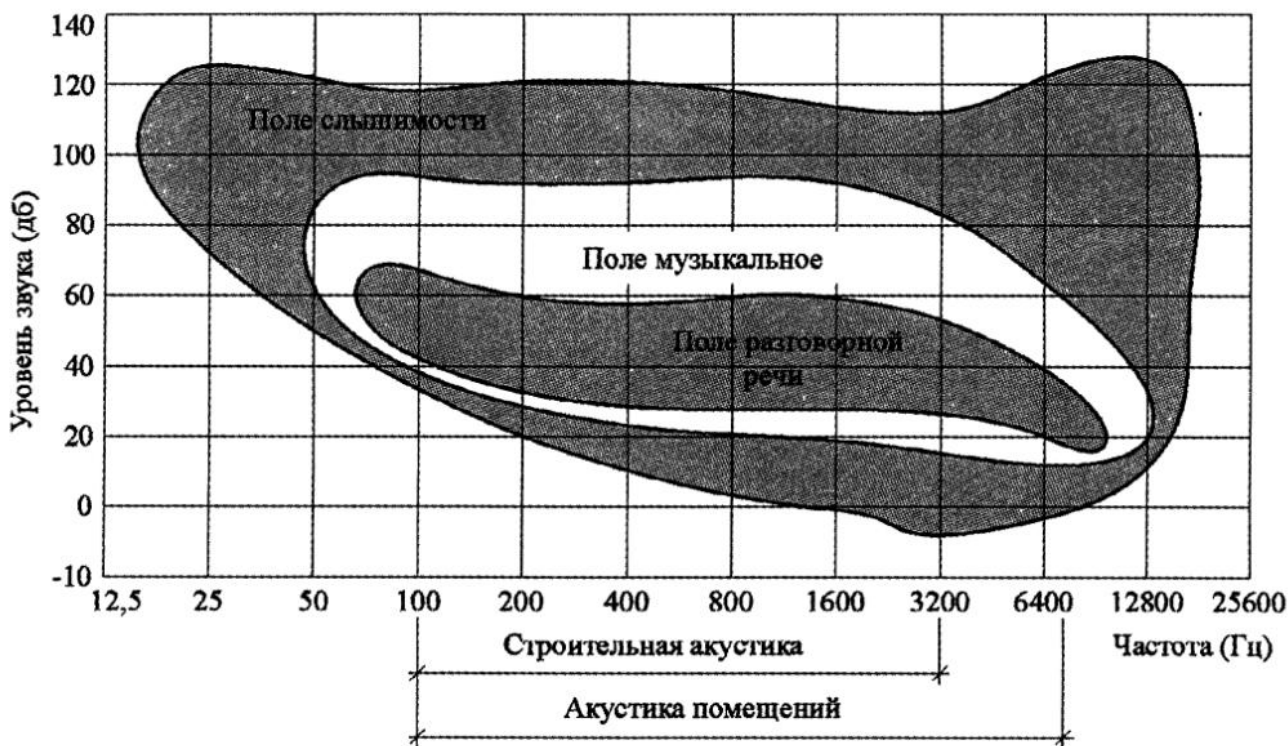
		Фоны в дБ (А)	Процесс	Ощущения	
Ступени шума	1	20	Тиканье тихих часов, лёгкий шелест листвы, спокойная комната ночью	 Очень тихо	
		30	Шелест листьев, шепот, разговор соседей, еле слышимый	 Тихо	
		40	Близкий шепот, средние шумы	 Почти тихо	
		50	Разговор	 Умеренно тихо	
		60	Шум в бюро, ресторане, магазине	 Умеренно громко	
		2	70	Громкий разговор, громкое радио, крик	 Громко
			80	Уличный шум при сильном движении	 Громко
			90	Шумный производ- ственный цех, автосигнал	
		3	100	Отбойный молоток, маленький самолёт	 От громкого до непере- носимого
			110	Штамповочно-котель- ное производство, громкая музыка, сигнал машины скорой помощи	
4	≥120	Реактивный двигатель, двигатель ракеты			

**Рис. 6.7.** Шкала громкости различных источников звука

На рис.6.8 представлена область слухового восприятия звука. Из рисунка видно, что поле музыкальное и поле разговорной речи лежат внутри поля слышимости, периферийные участки которого воспринимаются как шум.

Приборы для измерения шума называются шумомерами. Эти приборы состоят из микрофона, усилителя и указателя со шкалами А, В и С. Шкалы А и В применяются для измерения уровня громкости шума разного типа. Шкала С применяется для измерения уровня звукового давления. Фоны соответствуют

уровням звукового давления по шкале А. Единицу принято называть дБ (А). Полную характеристику шума может дать измерение уровня звукового давления по шкале С и его частотная характеристика (распределение компонентов шума по частоте и уровню звукового давления).



Поле разговорной речи - поле музыкальное - поле слышимости

Рис. 6.8. Область слухового восприятия звука

## 6.2. Борьба с шумом в помещениях

Существует три способа борьбы с шумом:

- в источнике (является наиболее эффективной, но не всегда возможной);
- звукоизоляция;
- звукопоглощение.

Борьба с шумом в источнике менее всего связана со строительством и является вопросом техники и принятия административных решений.

Основное значение при проектировании зданий, помещений и ограждающих конструкций имеют звукоизоляция и звукопоглощение. Кроме этих показателей должно учитываться также отражение от ограждающих конструкций.

### ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЕ

Коэффициент звукопоглощения материала  $\alpha = (E_n - E_o)/E_n$ ,

здесь  $E_n$ ,  $E_o$  – падающая на конструкцию из данного материала и отраженная от нее звуковая энергия.

Коэффициент звукопроводности  $\tau = E_{np}/E_n$ ,

здесь  $E_{np}$  – прошедшая через конструкцию звуковая энергия.

Звуковое поле воздействует на все поверхности в помещении, в том числе и на людей и предметы обстановки. Все они поглощают звуковую энергию. Поэтому вводится понятие общего звукопоглощения помещения:

$$A_{\text{общ}} = \sum \alpha_i \cdot S_i + \sum A. \quad (6.7)$$

Произведение  $\alpha \cdot S = A$  называется эквивалентной площадью звукопоглощения поверхности, т.е. площадью поверхности, полностью поглощающей звук. В формуле (6.7) величина  $\sum A$  – добавочная эквивалентная площадь звукопоглощения (люди, обстановка, проемы, отверстия, полости).

Наглядно шкала громкости различных источников шума представлена на рис. 6.7. Эта шкала разбита на три ступени.

Начиная с 1-й ступени: психологическая реакция.

Начиная со 2-й ступени: физическая реакция (нервные расстройства, нарушение сна, повреждение слуха, нарушение кровообращения, нарушение сердечной деятельности и мозгового кровообращения, повреждение спинного мозга, желудочные расстройства).

Размерность децибел (дБ) применяется не только для измерения интенсивности источников шума, но и для измерения звукоизоляции конструкций. Если интенсивность звука на стороне приемника и на стороне источника относятся друг к другу как 1000: 1, то звукоизоляция стены составит 30 дБ. Звукоизоляция, например, в 50 дБ означает, что в соседнее помещение попадает  $1/100\,000$  ( $=10^{-5}$ ) от той энергии, которая падает на стену.

Звукоизолирующая способность ограждающей конструкции от воздушного шума (зависит от неплотностей, щелей и колебаний перегородки) определяется по формуле:

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau}. \quad (6.8)$$

*Пример 1.* Интенсивность звука в помещении с источником  $I_2 = 1 \text{ Вт/м}^2$ .

Интенсивность звука в помещении с приемником  $I_1 = 10^{-3} \text{ Вт/м}^2$ .

Уровень звукового давления в помещении:

с источником  $L_2 = 10 \lg(I_2/I_0)$

с приемником  $L_1 = 10 \lg(I_1/I_0)$

Звукоизоляция стены  $R = \lg(I_2/I_1) = \lg(1/10^{-3}) = 3 \text{ Бел} = 30 \text{ дБ}$ .

Различают ВОЗДУШНЫЙ ШУМ и УДАРНЫЙ ШУМ, который может, в свою очередь, разделяться на КОРПУСНОЙ шум и УДАРНЫЙ шум по перекрытию.

СРЕДОЙ ПЕРЕДАЧИ ВОЗДУШНОГО ШУМА является воздух. Источники – например, телевизор, радио, музыка.

Источник приводит в колебательное движение частицы воздуха. Эти периодические колебания со своей стороны сообщают стене или перекрытию изгибные колебания, которые, в свою очередь, приводят частицы воздуха в соседнем помещении в колебательное движение. Это создает шум в соседнем помещении.

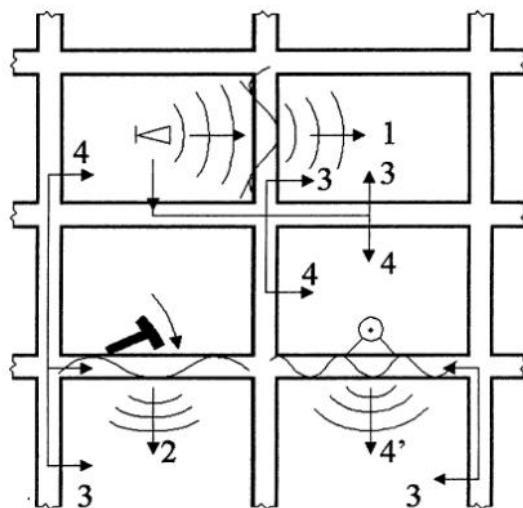
СРЕДОЙ ПЕРЕДАЧИ КОРПУСНОГО ШУМА являются твердые и жидкие материалы.

Источники: захлопывание двери, щелканье выключателя, смыв воды в туалете, шум потока воды в водопроводных трубах и в системе центрального отопления. Стены или перекрытия за счет механического воздействия источника приводятся в колебательное движение (изгибные колебания), которые, в свою очередь, приводят в колебательное движение частицы воздуха в соседнем помещении, которое воспринимается ухом человека как шум.

**СРЕДА ПЕРЕДАЧИ УДАРНОГО ШУМА – твердые тела.**

Источники: ходьба по перекрытиям (по полу). Перекрытие приводится при ходьбе в колебательное движение (изгибные колебания). Оно приводит в колебательное движение частицы воздуха над перекрытием и под ним. Кроме того, колебания передаются лежащим сверху и снизу частям стен, от которых эти колебания в соседних помещениях также могут восприниматься как шум.

Распространение шума в здании, как воздушного, так и ударного и корпусного, может быть прямым и косвенным (рис. 6.9).



**Рис. 6.9.** Распространение шума в здании

1 - воздушный шум; 2 - ударный шум (прямые пути передачи шума); 3 и 4 - косвенные (обходные) пути; 4' - структурный шум, излучаемый конструкциями, связанными с вибрирующими механизмами и элементами инженерного оборудования

### **6.3. Нормативные требования к звукоизоляции ограждающих конструкций**

Согласно СНиП 23-3-2003 «Защита от шума» нормируемыми параметрами звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций жилых и общественных зданий, а также вспомогательных зданий производственных предприятий являются индекс изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями  $R_w$ , дБ, и индекс приведенного уровня ударного шума  $L_{nw}$ , дБ (для перекрытий). Нормативные значения этих величин для категорий зданий А, Б и В приведены в табл. прил. 6.1 (табл. 1 Свода правил СП 23-103-2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий»):

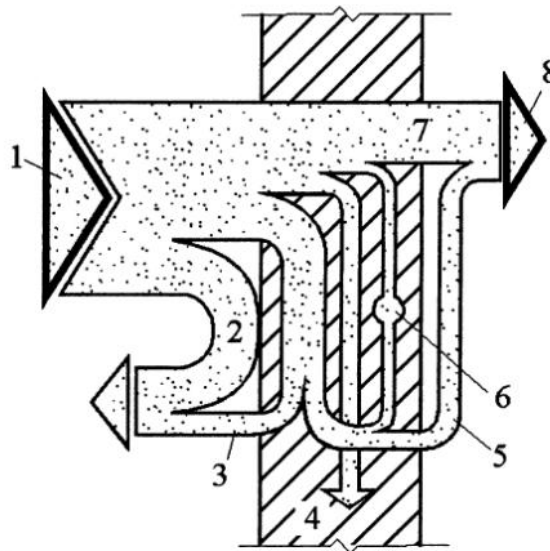
- категория А – высококомфортные условия;
- категория Б – комфортные условия;

- категория В – предельно допустимые условия.

Категория здания устанавливается заказчиком в задании на проектирование.

Нормативные значения  $R_{Атран}$  для жилых комнат, номеров гостиниц, общежитий, кабинетов и рабочих комнат административных зданий, палат больниц, кабинетов врачей площадью до 25 м<sup>2</sup> приведены в табл. прил. 6.2 в зависимости от расчетного уровня транспортного шума у фасада здания. Для промежуточных значений расчетных уровней требуемую величину  $R_{Атран}$  следует определять интерполяцией.

#### 6.4. Изоляция от воздушного шума



**Рис. 6.10.** Схема передачи звуковой энергии через конструкцию:

1 – звуковая энергия, падающая на конструкцию; 2 – отраженная звуковая энергия; 3, 5 – энергия, излучаемая колеблющейся конструкцией в смежные помещения; 4 – энергия структурного шума; 6 – энергия, трансформирующаяся в тепловую; 7 – звуковая энергия, прошедшая через поры и неплотности; 8 – суммарная звуковая энергия, прошедшая через конструкцию

Схема передачи звуковой энергии через конструкцию показана на *рис. 6.10*. Из рисунка видно, что основная доля звуковой энергии, прошедшей через конструкцию, приходится на поры и неплотности. Поэтому герметизация ограждающих конструкций при звукоизоляции играет важную роль. Если герметизация обеспечена, то передача звуковой энергии происходит в основном за счет колебаний перегородки.

#### НОРМИРОВАНИЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ОТ ВОЗДУШНОГО ШУМА

Согласно СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» нормируемыми параметрами звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций от воздушного шума являются индексы звукоизоляции воздушного шума  $R_w$  дБ. Нормируемым параметром звукоизоляции наружных ограждающих конструкций (в том числе окон, витражей) является звукоизоляция  $R_{Атран}$ , дБ(А), представляющая собой

изоляция внешнего шума, производимого потоком городского транспорта (табл. 1, 2 СП 23-101-2003 и табл. прил. 6.2).

Каждая ограждающая конструкция имеет свою частотную характеристику изоляции воздушного шума (рис. 6.11), которая показывает величины звукоизоляции этой конструкции на различных частотах. Такие кривые могут быть получены как путем измерений на уже готовой конструкции или на моделях, так и путем расчета на стадии проектирования.

Индекс звукоизоляции воздушного шума  $R_w$ , дБ, ограждающей конструкцией с известной (рассчитанной или измеренной) частотной характеристикой определяется путем сопоставления этой частотной характеристики с оценочной кривой. Параметры оценочных кривых звукоизоляции воздушного и ударного шума приведены в табл. 6.2.



Рис. 6.11. Измененная кривая в третьоктавных интервалах и ее оценка

Звукоизоляция от воздушного шума определяется в диапазоне частот от 100 до 3200 Гц экспериментальным или расчетным путем. Этот диапазон разделяется на октавные полосы с граничными частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Гц. Каждая октава, в свою очередь, разбивается на 1/3 октавы. Для определения индекса звукоизоляции воздушного шума  $R_w$  необходимо определить сумму неблагоприятных отклонений данной частотной характеристики от оценочной кривой.

Если сумма неблагоприятных отклонений максимально приближается к 32 лБ, 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 дБ так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений не превышала указанную величину.

Таблица 6.2

№ п.п	Параметры	Среднегеометрические частоты третьоктавных полос, Гц															
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
1	Изоляция воздушного шума $R_i$ , дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
2	Приведенный уровень ударного шума $L_{nw}$ , дБ	62	62	62	62	62	62	61	60	59	58	57	54	51	48	45	42
3	Скорректированный уровень звукового давления эталонного спектра $L_i$ , дБ	55	55	57	59	60	61	62	63	64	66	67	66	65	64	62	60

Если сумма неблагоприятных отклонений значительно меньше 32 дБ или неблагоприятные отклонения отсутствуют, оценочная кривая смещается вверх (на целое число дБ) так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений от смещенной оценочной 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 со среднегеометрической частотой 500 Гц.

В СП 23-103-2003 приведены примеры определения индексов звукоизоляции. Так, например, величина индекса звукоизоляции воздушного шума  $R_w$  перегородкой из тяжелого бетона  $\gamma = 2500 \text{ кг/м}^3$  толщиной 100 мм, расчетная частотная характеристика которой известна (табл. 6.3), определяется следующим образом:

1. Определяем сумму неблагоприятных отклонений расчетной кривой от оценочной (когда значения расчетной кривой лежат ниже значений оценочной кривой). Эта сумма составляет в нашем примере 105 дБ, что значительно больше 32 дБ.
2. Смещаем оценочную кривую на 7 дБ вниз и находим сумму неблагоприятных отклонений уже от смещенной оценочной кривой. На этот раз она составляет 28 дБ, что немного меньше 32 дБ. За величину индекса звукоизоляции воздушного шума принимаем значение звукоизоляции на частоте 500 Гц, т.е.  $R_w = 45$  дБ.



Таблица 6.3

№ пп	Параметры	Среднегеометрические частоты 1/3-октавной полосы, Гц															
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
1	Расчетная частотная характеристика $R$ , дБ	36	36	36	36	36	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56
2	Оценочная кривая, дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
3	Неблагоприятные отклонения дБ	-	-	3	6	9	12	13	12	11	10	9	8	6	4	2	-
4	Оценочная кривая, смещенная вниз на 7 дБ	26	29	32	35	38	41	44	45	46	47	48	49	49	49	49	49
5	Неблагоприятные отклонения от смещенной оценочной кривой, дБ	-	-	-	-	2	5	6	5	4	3	2	1	-	-	-	-
6	Индекс изоляции воздушного шума $R_w$ , дБ										45						

Величина звукоизоляции окна  $R_{Атран}$ , дБ(А) определяется на основании частотной характеристики изоляции воздушного шума окном с помощью эталонного спектра шума потока городского транспорта (табл. 6.4). Здесь эти уровни эталонного спектра скорректированы по кривой частотной коррекции «А» для шума с уровнем 75 дБ(А).

Для определения величины звукоизоляции окна  $R_{Атран}$  (по измеренной или рассчитанной частотной характеристике изоляции воздушного шума) необходимо в каждой третьоктавной полосе частот из уровня эталонного спектра  $L_i$  вычесть величину изоляции воздушного шума  $R_i$  данной конструкции окна. Полученные величины уровней надо сложить энергетически и результат вычесть из уровня эталонного шума, равного 75 дБ(А).

Величина звукоизоляции окна  $R_{Атран}$  определяется по формуле

$$R_{Атран} = 75 - 10 \lg \sum_{i=1}^{16} 10^{0.1(L_i - R_i)}, \text{ дБ(А)}. \quad (6.9)$$

Результат вычисления округляется до целого значения дБ(А).

В СП 23-103-2003 приведен пример определения звукоизоляции окна  $R_{Атран}$  для окна из ПВХ профиля с распашными створками, остекленного двухкамерным стеклопакетом стеклом толщиной 4 мм с воздушными прослойками толщиной 12 мм. И с двумя контурами уплотняющих прокладок в притворе. Фактическая кривая частотной характеристики для этого окна взята по данным фирмы-изготовителя.

Расчет приведен в форме табл. 6.4.

№ пп	Параметры	Среднегеометрические частоты 1/3-октавной полосы, Гц															
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
1	Уровни звукового давления эталонного спектра (скорректированные по «А») $L_i$ , дБ	55	55	57	59	60	61	62	63	64	66	67	66	65	64	62	60
2	Изоляция воздушного шума окном $R_i$ , дБ	23	24	22	21	25	28	29	31	34	36	38	38	39	39	37	35
3	Разность $L_i - R_i$ , дБ	32	31	35	38	35	33	33	32	30	30	29	28	26	25	25	25

Суммируя значения разницы  $L_i$  и  $R_i$  по энергии, определяем уровень шума, дБ(А), условно прошедшего через окно:

$$10 \lg \sum_{i=1}^{16} 10^{0,1(L_i - R_i)} = 10 \lg (3 \cdot 10^{2,5} + 2 \cdot 10^{3,2} + 2 \cdot 10^{3,5} + 2 \cdot 10^{3,3} + 2 \cdot 10^3 + 10^{3,8} + 10^{3,1} + 10^{2,9} + 10^{2,8} + 10^{2,6}) = 10 \lg 25819 = 44,1 \text{ дБ(А)}$$

(Для упрощения группируем величины  $L_i - R_i$  по одинаковым значениям).

Звукоизоляция данного окна (применительно к шуму потока городского транспорта)

$$R_{\text{Атран}} = 75 - 44,1 = 30,9 \approx 31 \text{ дБ(А)}.$$

## РАСЧЕТ ИЗОЛЯЦИИ ВОЗДУШНОГО ШУМА

Ограждающие конструкции можно разделить на акустически однородные (состоят из одного материала или из нескольких, но жестко связанных между собой) и многослойные (акустически неоднородные).

Рассмотрим звукоизоляцию акустически однородных конструкций. Основное значение при передаче звука имеют изгибные волны, образующиеся в конструкции во всем нормируемом диапазоне частот. Поскольку длины изгибных волн меньше линейных размеров конструкции (толщина конструкции меньше 1/6 длины волны), то эту конструкцию можно представить как тонкую пластинку бесконечной протяженности. Звуковые волны приводят ее в колебательное движение. На низких частотах (ниже 100 Гц), близких к частотам собственных колебаний пластинки, возникают резонансные явления, и амплитуда колебаний пластинки в основном зависит от потерь энергии на внутреннее трение в материале. Однако для ограждающих конструкций зданий эти частоты не характерны, так как они ниже 100 Гц., т.е. ниже нормируемого диапазона частот.

На более высоких частотах колебательное движение пластинки зависит от ее массы и звукоизоляция может быть определена по формуле

$$R = 20 \lg Pf - 54 \text{ дБ} \quad (6.10)$$

где  $P$  – поверхностная плотность конструкции,  $\text{Н/м}^2$ ;  $f$  – частота звука, Гц.

Это выражение определяет «закон массы», сформулированный лордом Рэлеем. Согласно этому закону колебания конструкции можно рассматривать в виде системы несвязанных между собой масс, колеблющихся независимо одна от другой. Дальнейшее рассмотрение Л.Кремером прохождения наклонно падающего звука через тонкую бесконечную пластину привело к теории «волновых совпадений». В этой теории нашло также отражение изменение звукоизоляции при изменении частоты звуковых колебаний.

При низких частотах скорость распространения изгибных волн меньше скорости звука и в конструкции возникают слабые вынужденные колебания с незначительным излучением звуковой энергии. С увеличением частоты  $f$  уменьшается длина звуковой волны. Наконец, при так называемой **ГРАНИЧНОЙ ЧАСТОТЕ** длина изгибной волны  $\lambda_{изг}$  будет равна проекции волны ( $\lambda$ ), т.е. произойдет совпадение волн, при котором интенсивность изгибных колебаний пластины резко возрастает. Волновое совпадение возможно не только при изменении частоты звука, но и при изменении угла падения звуковой волны ( $\beta_0$ ), так как

$$\lambda / \sin \beta = \lambda_{изг}. \quad (6.11)$$

Следовательно, явление волновых совпадений возникает не при совпадении частот  $f$  и  $f_{изг.}$ , а при совпадении геометрических проекций длин звуковой волны на конструкцию и длины волны изгибных колебаний (рис. 6.12).

При волновом совпадении распределение давления в падающей волне вдоль конструкции точно соответствует распределению амплитуды ее собственных колебаний для той же частоты, что и приводит к интенсивному росту колебаний. В спектре любого шума имеются составляющие различных частот. Поэтому волновые совпадения возможны почти во всех случаях.

Граничную частоту  $f_{гп}$  для однородных конструкций, начиная с которой может возникнуть волновое совпадение, можно определить по приближенной формуле:

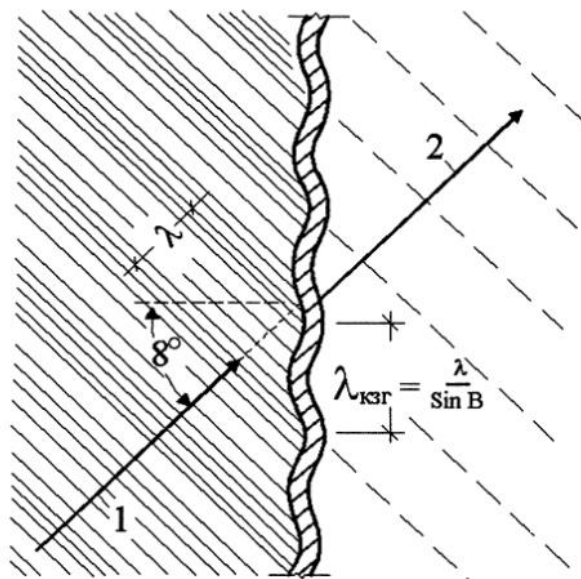
$$f_{гп} = c^2 / 1,8 (c_1 h), \quad \text{Гц}, \quad (6.12)$$

где  $c$  – скорость звука в воздухе, м/с;  $h$  – толщина конструкции, м;  $c_1$  – скорость распространения продольных звуковых волн в конструкции, м/с.

Скорость  $c_1$  в пластине равна:

$$c_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\mu^2)}}, \quad \text{м/с}, \quad (6.13)$$

где  $E$  – модуль упругости,  $\text{кг/м}^2$  (или Па);  $\rho$  – плотность среды,  $\text{кг/м}^3$ .



**Рис. 6.12.** Схема возбуждения изгибных колебаний конструкции при наклонном падении звуковых волн (отраженные волны не показаны):  
1 – падающие волны; 2 – прошедшие волны

Значения скорости  $c_1$  приведены в табл. 6.5.

**Таблица 6.5**

Скорость продольных волн  $c_1$  для материалов

Наименование материала	Скорость $c_1$ , м/с
Бетон, железобетон	3700
Гипсобетон, шлакобетон	4000
Шлакопемзобетон, легкий бетон	3500
Кирпичная кладка	2300

*Пример.* Определить граничную частоту колебаний железобетонной панели толщиной 160 мм. Из табл. 6.7 находим  $c_1 = 3700$  м/с. Тогда

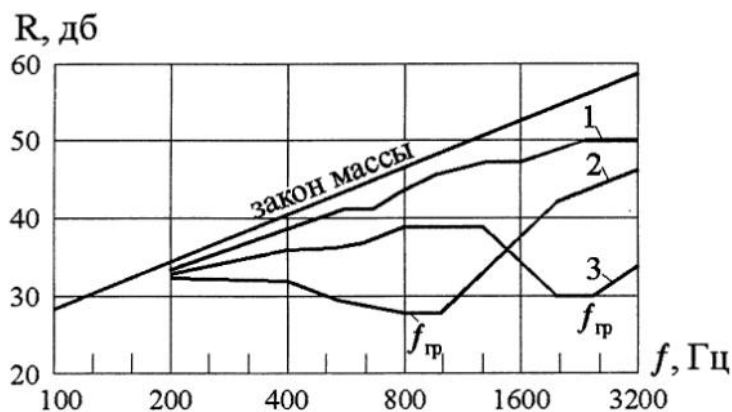
$$f_{гр} = 340^2 / 1,8 \cdot 3700 \cdot 0,16 = 108,5 \text{ Гц.}$$

Железобетонная панель толщиной 160 мм имеет резкое снижение звукоизоляции при частоте 108 Гц. Эта частота лежит практически рядом с границей нормируемых частот для звукоизоляции 100 Гц. Диапазон ниже 100 Гц нехарактерен для шума, проходящего через ограждающие конструкции зданий.

Волновое совпадение, при котором резко возрастает передача звука, охватывает область частот примерно в пределах одной октавы, т.е. в диапазоне от  $f_{гр}$  до  $2f_{гр}$ .

Влияние волнового совпадения на звукоизоляцию показано на *рис. 6.13*, где приведены результаты измерений для трех конструкций одной поверхностной плотности (по  $55 \text{ кг/м}^2$ ), но выполненных из различных материалов.

Частотные характеристики не подчиняются закону массы; значения  $f_{гр}$  также отличаются друг от друга за счет различных величин модулей упругости и толщины.



**Рис. 6.13.** Частотные характеристики изоляции от воздушного шума  
1 – резина; 2 – бетон; 3 – сталь

При  $f$  больше  $f_{гр}$  существенное значение имеет цилиндрическая жесткость конструкции при изгибе  $D$  ( $\text{Па}\cdot\text{см}^3$ ), равная

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}, \quad (6.14)$$

где  $E$  – модуль упругости материала,  $\text{кгс}/\text{см}^2$  ( $1\text{кгс}/\text{см}^2 = 10^5 \text{ Па}$ );  $h$  – толщина конструкции, см;  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

Частота  $f_{гр}$  связана с цилиндрической жесткостью зависимостью

$$f_{гр} = \frac{C^2}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho h}{D}}. \quad (6.15)$$

Рост звукоизоляции (при  $f$  больше  $f_{гр}$ ) с повышением частоты определяется на основании многочисленных экспериментальных данных. В современном нормативном документе «Свод правил по проектированию и строительству» СП 23-103-20003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий» он принят 6 дБ на октаву. Это имеет место почти всегда. Поэтому появилась возможность для достаточно простого графоаналитического расчета частотной характеристики звукоизоляции.

Частотная характеристика разбивается на три области (рис. 6.14). В первой области (на низких и средних частотах) звукоизоляция определяется массой, однако наклонная кривая, характеризующая рост звукоизоляции, заменена горизонтальной, учитывающей ухудшение звукоизоляции вследствие волнового совпадения. Во второй области звукоизоляция быстро возрастает – 6 дБ на октаву: В третьей области снова горизонтальный участок. Данный метод применим для однослойных ограждающих конструкций из бетона, железобетона, кирпича, керамических блоков, гипсобетона и подобных материалов поверхностной плотностью от 100 до 1000  $\text{кг}/\text{м}^2$ . Для нахождения ординаты точки В ( $f_B$ ) частотной характеристики пользуются табл. 6.6. Значение  $f_e$  следует округлять до среднегеометрической частоты 1/3 октавной полосы, в пределах которой находится  $f_e$ . Границы третьоктавных полос приведены в табл. 6.7.

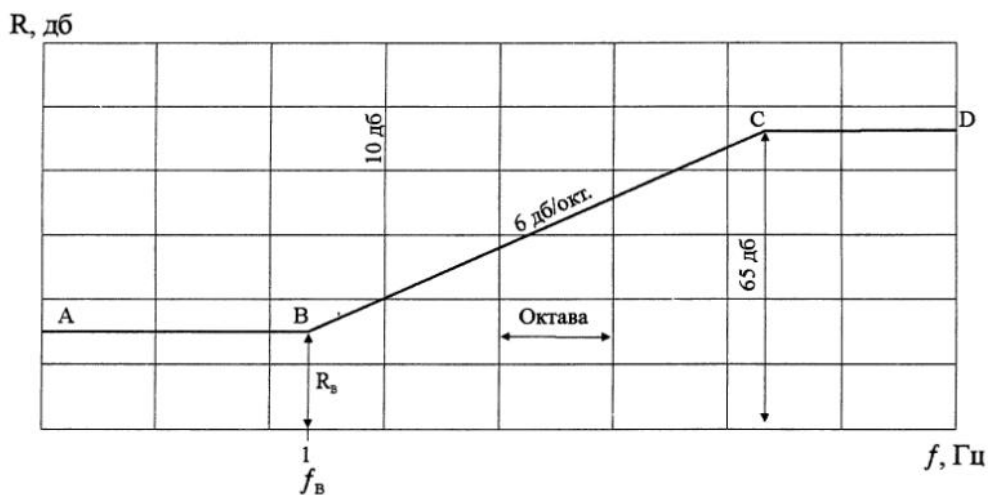


Рис. 6.14. Частотная характеристика изоляции воздушного шума однослойным плоским ограждением

Таблица 6.6

Плотность бетона $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	$f_0$ , Гц
$\geq 1800$	29000/h
1600	31000/h
1400	33000/h
1200	35000/h
1000	37000/h
800	39000/h
600	40000/h

Примечания: 1  $h$  – толщина ограждения, мм.

2 Для промежуточных значений  $\gamma$  частота  $f_0$  определяется интерполяцией.

Таблица 6.7

Среднегеометрическая частота 1/3-октавной полосы	Границы 1/3-октавной полосы
50	45-56
63	57-70
80	71-88
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

Ординату точки  $B - R_6$  следует определять в зависимости от эквивалентной поверхностной плотности  $m_3$  по формуле

$$R_6 = 20 \lg m_3 - 12, \text{ дБ.} \quad (6.16)$$

Эквивалентная поверхностная плотность  $m_3$  определяется по формуле

$$m_3 = K \cdot m, \text{ кг/м}^2, \quad (6.17)$$

где  $m$  – поверхностная плотность,  $\text{кг/м}^2$  (для ребристых конструкций принимается без учета ребер);  $K$  – коэффициент, учитывающий относительное увеличение изгибной жесткости ограждения из бетонов на легких заполнителях, поризованных бетонов и т.п. по отношению к конструкциям из тяжелого бетона с той же поверхностной плотностью. Для сплошных ограждающих конструкций плотностью  $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$  и более  $K = 1$ . Для сплошных ограждающих конструкций из бетонов на легких заполнителях, поризованных бетонов, кладки из кирпича и пустотелых керамических блоков коэффициент  $K$  определяется по табл. 6.8.

Таблица 6.8

Вид материала	Класс	Плотность, $\text{кг/м}^3$	K
Керамзитобетон	В 7,5	1500-1550	1,1
		1300-1450	1,2
		1200	1,3
		1100	1,4
	В 12,5-В15	1700-1750	1,1
		1500-1650	1,2
1350-1450		1,3	
1250		1,4	
Перлитобетон	В 7,5	1400-1450	1,2
		1300-1350	1,3
		1100-1200	1,4
		950-1000	1,5
Аглопоритобетон	В 7,5	1300	1,1
		1100-1200	1,2
		950-1000	1,3
	В 12,5	1500-1800	1,2
	Шлакопемзобетон	В 7,5	1600-1700
В 12,5		1700-1800	1,2
Газобетон, пенобетон, газосиликат	В 5,0	1000	1,5
		800	1,6
		600	1,7
Кладка из кирпича, пустотелых керамических блоков		1500-1600	1,1
		1200-1400	1,2
Гипсобетон, гипс (в том числе поризованный или с легкими заполнителями)	В 7,5	1300	1,3
		1200	1,4
		1000	1,5
		800	1,6

Для ограждений из бетона плотностью  $1800 \text{ кг/м}^3$  и более с круглыми пустотами коэффициент  $K$  определяется по формуле

$$K = 1,5 \sqrt[4]{\frac{j}{bh_{np}^3}}, \quad (6.18)$$

где  $j$  – момент инерции сечения,  $\text{м}^4$ ;  $b$  – ширина сечения,  $\text{м}$ ;  $h_{np}$  – приведенная толщина сечения,  $\text{м}$ .

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

Из точки В (рис. 6.14) влево проводится горизонтальная прямая до пересечения с осью ординат в точке А. А из точки В вправо – отрезок ВС с наклоном 6 дБ на октаву до точки С с ординатой  $R_c = 60$  дБ; из точки С вправо проводится горизонтальная прямая CD. Если точка С лежит за пределами нормируемого диапазона частот ( $f_c$  больше  $f$ ), отрезок CD отсутствует.

При ориентировочных расчетах индекс изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями сплошного сечения с поверхностной плотностью от  $100$  до  $800 \text{ кг/м}^2$  из бетона, железобетона, кирпича и тому подобных материалов можно определять по формуле

$$R_w = 37 \lg m + 55 \lg K - 43, \text{ дБ}, \quad (6.19)$$

где коэффициент  $K$  рассчитывается по формуле (6.18) и коэффициент  $m$  рассчитывается по формуле (6.17).

Результаты расчетов звукоизоляции, изложенные выше, дают достоверные результаты при отношении толщины разделяющего ограждения (подлежащего расчету) к средней толщине примыкающих к нему ограждений в пределах  $0,5 < h/h_{прим} < 1,5$ .

При других соотношениях толщин необходимо учитывать изменение звукоизоляции  $R$  за счет увеличения или уменьшения косвенной передачи звука через примыкающие конструкции.

Для крупнопанельных зданий, в которых ограждающие конструкции выполнены из бетона, железобетона, бетона на легких заполнителях, поправка  $\Delta R$  имеет следующие значения:

$$\text{при } 0,3 < h/h_{прим} < 0,5 \quad \Delta R = +1 \text{ дБ}$$

$$\text{при } 1,5 < h/h_{прим} < 2 \quad \Delta R = -1 \text{ дБ}$$

$$\text{при } 2 < h/h_{прим} < 3 \quad \Delta R = -2 \text{ дБ}$$

для зданий из монолитного бетона величина  $\Delta R$  должна быть уменьшена на 1 дБ;

в каркасно-панельных зданиях, где элементы каркаса (колонны и ригели) выполняют роль виброзадерживающих масс в стыках панелей, вводится дополнительно поправка к результатам расчета  $\Delta R = +2$  дБ.



Если конструкция выполнена из стекла, металла, асбоцементного или гипсокартонного листа и тому подобных материалов, изоляция воздушного шума также определяется графоаналитическим методом. Однако форма частотной характеристики другая (рис. 6.15).

Частотная характеристика состоит из трех прямолинейных отрезков АВ, ВС и CD. Координаты точек В и С определяют по табл. 6.9. При этом значения  $f_b$  и  $f_c$  округляются до ближайшей среднегеометрической частоты 1/3 октавной полосы. Наклон участка ВА принимают равным 4,5 дБ на октаву. Наклон отрезка CD составляет 7,5 дБ на октаву. Ордината  $R_c$  всегда меньше  $R_b$  вследствие явления волнового совпадения.

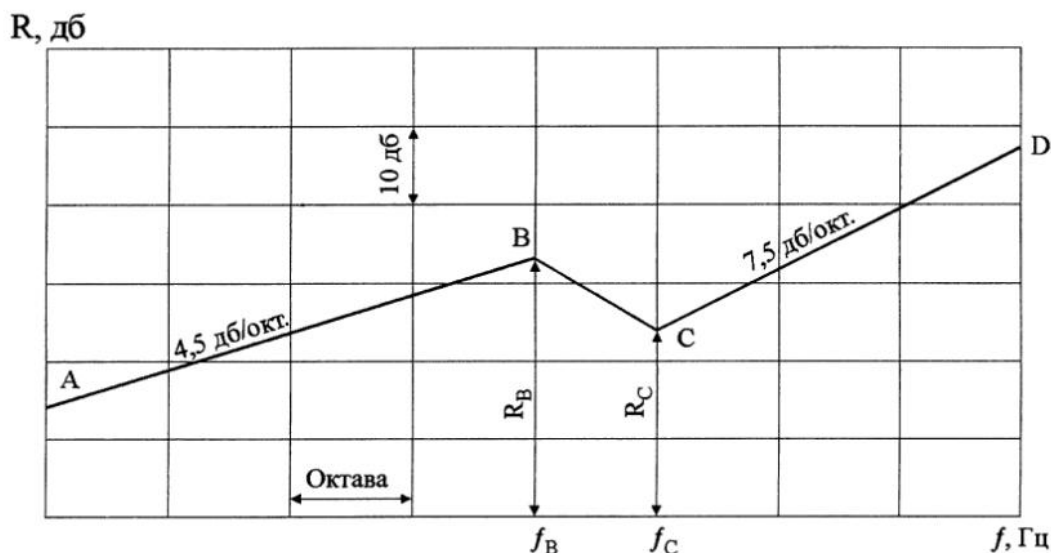


Рис. 6.15. Частотная характеристика изоляции воздушного шума однослойным плоским тонким ограждением

Таблица 6.9

Материалы	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	$f_b$ , Гц	$f_c$ , Гц	$R_b$ , дБ	$R_c$ , дБ
1. Сталь	7800	6000/h	12000/h	40	32
2. Алюминиевые сплавы	2500-2700	6000/h	12000/h	32	22
3. Стекло силикатное	2500	6000/h	12000/h	35	29
4. Стекло органическое	1200	17000/h	34000/h	37	30
5. Асбоцементные листы	2100	9000/h	18000/h	35	29
	1800	9000/h	18000/h	34	28
6. Гипсокартонные листы (сухая гипсовая штукатурка)	1600	10000/h	20000/h	34	28
	1100	19000/h	38000/h	36	30
7. Древесно-стружечная плита (ДСП)	850	19000/h	38000/h	34	28
	850	13000/h	26000/h	32	27
8. Твердая древесноволокнистая плита (ДВП)	650	13500/h	27000/h	30.5	26
	1100	19000/h	38000/h	35	29

Примечание.  $h$  — толщина, мм.

## ИЗОЛЯЦИЯ ВОЗДУШНОГО ШУМА МНОГОСЛОЙНЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

К многослойным конструкциям относятся стены с гибкими плитами на отnose, отдельные (двойные) конструкции, междуэтажные перекрытия с «плавающим» полом или с полом на упругих прокладках и с воздушной прослойкой, а также перекрытия с подвесными потолками.

Передача воздушного шума через такие конструкции характеризуется меньшим излучением звука плитами при частотах ниже граничной частоты. Вблизи одной плиты образуется звуковое поле, в котором происходит периодическое перераспределение энергии из участка среды, прилегающего к одной полуволне колеблющейся плиты, в участок среды, прилегающий к соседней полуволне. Энергия, излучаемая плитой, не уносится звуковой волной, а остается «связанной» с плитой в виде кинетической энергии, присоединенной к плите массы другого объема. Поэтому, несмотря на наличие акустических мостиков, связывающих, например, гипсокартонную плиту с более массивной перегородкой и т.п., звукоизоляция конструкции значительно возрастает.

Частотная характеристика изоляции воздушного шума стеной с плитами (например, гипсокартонные листы ГКЛ) на отnose с двух сторон определяется в такой последовательности. По значениям поверхностной плотности основной конструктивной плиты перегородки  $P_1$  и поперечной стены или перегородки  $P_2$  определяют величину  $m$ :

$$m = P_1/P_2 . \quad (6.20)$$

Величину  $\beta$  находят по формуле:

$$\beta = m \sqrt{\left( \frac{c_1 h_1}{c_2 h_2} \right)^3} , \quad (6.21)$$

где  $c_1$  и  $c_2$  – скорости продольных волн соответственно в основной плите и поперечной стене или перегородке, м/с, принимаемые по табл. 6.5;  $h_1$  и  $h_2$  – толщины этих конструкций, м.

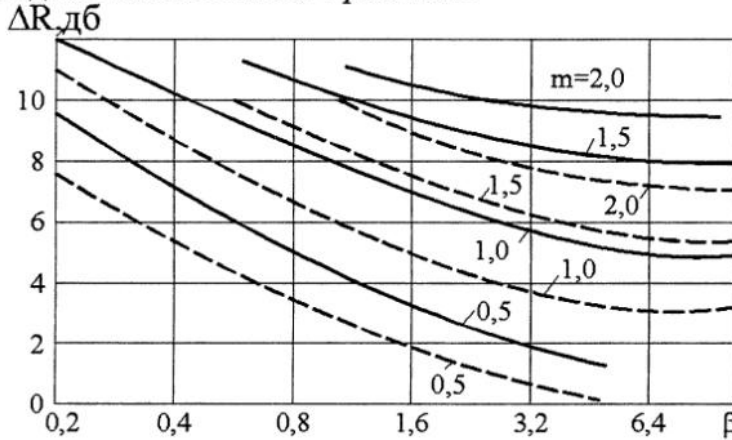
Определяют поправку  $\Delta R$ , улучшающую звукоизоляцию за счет гибких плит на отnose, в зависимости от величин  $m$  и  $\beta$  по графику на рис. 6.16. Поправку  $\Delta R$  прибавляют к значениям частотной характеристики изоляции воздушного шума однослойной конструкцией, как это было показано выше. При устройстве гибкой плиты на отnose с одной стороны значение  $\Delta R$  следует принимать равным 2/3 от значения, определенного по графику на рис. 6.16.

Как видно из приведенного практического метода расчета, большое влияние на звукоизоляцию оказывают косвенные пути передачи звука. Снижение звукоизоляции однослойной конструкцией в зданиях за счет косвенной передачи звука составляет в среднем 2 дБ, для отдельных перегородок 7-8 дБ, а для междуэтажных перекрытий с полами на упругом основании – еще выше. По-

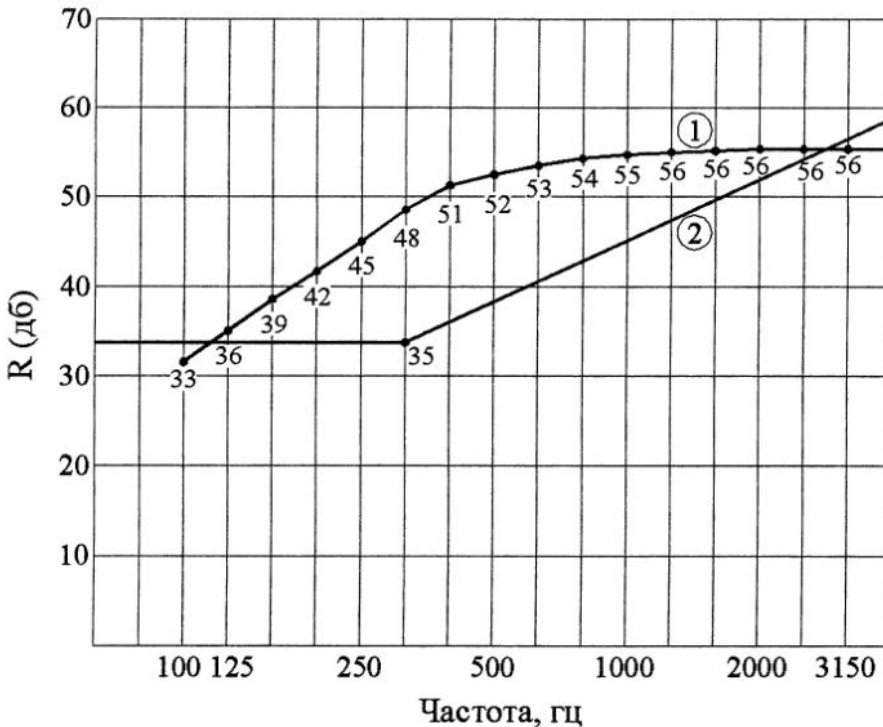
этому в формулах (6.20) и (6.21) использованы параметры пересекающихся основных конструкций.

*Пример.* Определить индекс изоляции воздушного шума железобетонной стеновой панелью толщиной 100 мм между двумя квартирами жилого дома. При необходимости повысить звукоизоляцию этой стены обшивкой ее гибкими плитами ГКЛ на отnose с двух или с одной стороны. К стене примыкает железобетонное междуэтажное перекрытие, состоящее из несущей железобетонной сплошной плиты толщиной 140 мм и пола на упругом основании (релин).

Определим частотную характеристику звукоизоляции воздушного шума основной конструкцией стены из тяжелого бетона плотностью  $2300 \text{ кг/м}^3$  и толщиной 100 мм. Построение производим в соответствии с рис. 6.14.



**Рис. 6.16.** График для определения повышения изоляции воздушного шума стеной при устройстве гибких плит на отnose с обеих сторон. Сплошные линии – перекрытие с полом на упругом основании, пунктирные – перекрытие без пола на упругом основании



**Рис. 6.17:**

1 – оценочная кривая, дБ.

2 – расчетная частотная характеристика основной конструкции стены из тяжелого бетона  $\gamma_0 = 2300 \text{ кг/м}^3$  и толщиной 100 мм

Находим частоту, соответствующую точке В, по табл. 6.6.

$$f_B = 29\,000/h = 29\,000/100 = 290 \text{ Гц.}$$

Округляем до среднегеометрической частоты 1/3 октавной полосы, в пределах которой находится  $f_B$ , т.е.  $f_B = 315 \text{ Гц}$ .

Определяем поверхностную плотность ограждения  $m = \gamma h = 2300 \cdot 0,1 = 230 \text{ кг/м}^3$ .

Определяем ординату точки В по формуле (6.16), учитывая, что в нашем случае  $K = 1$ .

$$R_s = 20 \lg m_s - 12 = 20 \lg 230 - 12 = 35,2 \approx 35 \text{ дБ.}$$

Из точки В влево проводим горизонтальный отрезок ВА, вправо от точки В – отрезок ВС с наклоном 6 дБ на октаву до точки С с ординатой 65 дБ. Точка С соответствует частоте 10 000 Гц, т.е. за пределами нормируемого диапазона частот. Рассчитанная частотная характеристика изоляции воздушного шума рассмотренной перегородкой приведена на *рис. 6.17*.

На этом же графике строим нормативную частотную характеристику согласно табл. 6.2. Далее расчет ведем в табличной форме (табл. 6.10).

**Таблица 6.10**

Определение индекса изоляции воздушного шума

Частота, Гц	Значения звукоизоляции, дБ		Отклонения	По оценочной кривой, сдвину- той вниз на 8 дБ	Отклонение
	Вычисленные	Нормативные (оце- ночная кривая)			
100	35	33	2	25	10
125	35	36	-1	28	7
160	35	39	-4	31	4
200	35	42	-7	34	3
250	35	45	-10	37	-2
315	35	48	-13	40	-5
400	37	51	-14	43	-6
500	39	52	-13	44	-5
630	41	53	-12	45	-4
800	43	54	-11	46	-3
1000	45	55	-10	47	-2
1250	47	56	-9	48	-1
1600	49	56	-7	48	1
2000	51	56	-5	48	3
2500	53	56	-3	48	5
3150	55	56	-1	48	6

Сумма неблагоприятных отклонений от нормативной кривой составляет 120 дБ, что значительно больше предельного значения 32 дБ. Сдвинем оценочную кривую вниз на 8 дБ. Сумма неблагоприятных отклонений составит 28 дБ, что приближается к 32 дБ, но не превышает эту величину.

На 500 Гц величина  $R_w = 44 \text{ дБ}$ . То есть индекс звукоизоляции стены равен 44 дБ. Это значительно ниже, чем требования норм (для категории А – 54 дБ, Б – 52 дБ и В – 50 дБ).

По формулам (6.20) и (6.21) находим значения коэффициентов  $m$  и  $\beta$

$$m = 100/140 = 0,71.$$

$$\beta = 0,71\sqrt{3700 \cdot 0,1 / (3700 \cdot 0,14)^3} = 0,42.$$

По графикам (рис. 6.16) определяем  $\Delta R = 8,8$  дБ – для двусторонней обшивки ГКЛ на отnose. Для односторонней обшивки (при желании улучшить звукоизоляцию из одной квартиры)  $\Delta R = 2/3 \cdot 8,8 = 5,9$  дБ.

Таким образом, при обшивке стены из бетона толщиной 100 мм с одной стороны гипсокартонными листами на отnose (например, по деревянным рейкам) индекс звукоизоляции воздушного шума может быть повышен до  $R_w = 44 + 5,9 = 49,9 \approx 50$  дБ.

Это соответствует нормативным требованиям к межквартирным стенам в домах категории В. При обшивке стены листами ГКЛ с двух сторон можно достичь индекса звукоизоляции  $R_w = 44 + 8,8 = 52,8$  дБ, что примерно соответствует нормативным требованиям в домах категории А.

Следует отметить, что данный метод расчета дает ориентировочные значения с точностью  $\pm 2$  дБ. Поэтому для гарантированного обеспечения нормативной звукоизоляции промежутков между стеной и обшивкой следует заполнить мягкими минераловатными плитами типа «ИЗОВЕР».

Частотная характеристика изоляции воздушного шума ограждающей конструкцией, состоящей из двух тонких листов с воздушным промежутком между ними (двойные глухие остекления, перегородки в виде двух обшивок из одинарных ГКЛ, металла и т.п. по каркасу из тонкостенного металлического профиля или деревянных брусков), при одинаковой толщине листов строится следующим образом:

1. Строится частотная характеристика изоляции воздушного шума одной обшивкой, как это было показано выше для тонких листов (см. рис. 6.15). На рис. 6.18 – это вспомогательная линия ABCD.
2. Строится вспомогательная линия  $A_1B_1C_1D_1$  путем прибавления к ординатам линии ABCD поправки  $\Delta R_1$  на увеличение поверхностной плотности по таблице 6.11 (в данном случае  $m_1 = m_2$  и  $\Delta R_1 = 4,5$  дБ). Каркас при этом не учитывается.
3. Определяется частота резонанса конструкции по формуле

$$f_P = 60 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{d \cdot m_1 \cdot m_2}}, \text{ Гц}, \quad (6.22)$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – поверхностные плотности обшивок,  $\text{кг/м}^2$  (в данном случае  $m_1 = m_2$ ).

$$f_P = 60 \sqrt{\frac{2}{dm}}, \text{ Гц}, \quad (6.23)$$

где  $d$  – толщина воздушного промежутка, м.

R, дБ

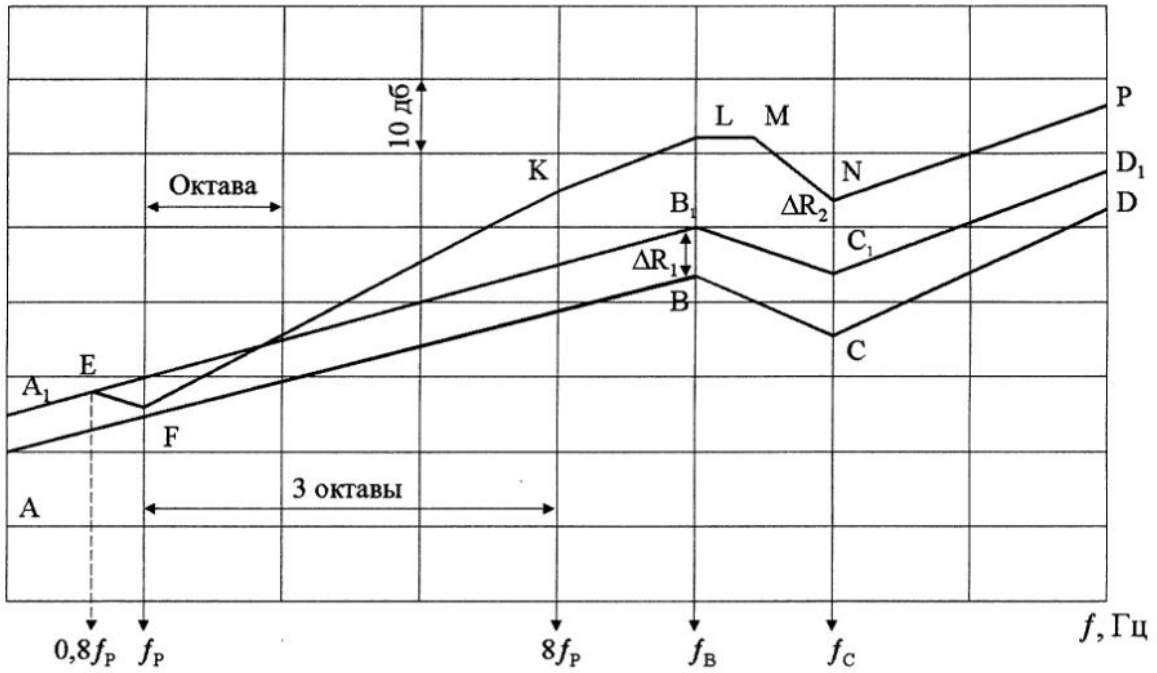


Рис. 6.18. Частотная характеристика изоляции воздушного шума конструкцией, состоящей из двух листов с воздушным промежутком при одинаковой толщине листов

Таблица 6.11

$m_{общ} / m_1$	$\Delta R_1, \text{дБ}$	$m_{общ} / m_1$	$\Delta R_1, \text{дБ}$
1,4	2,0	2,7	6,5
1,5	2,5	2,9	7,0
1,6	3,0	3,1	7,5
1,7	3,5	3,4	8,0
1,8	4,0	3,7	8,5
2,0	4,5	4,0	9,0
2,2	5,0	4,3	9,5
2,3	5,5	4,6	10,0
2,5	6,0	5,0	10,5

Таблица 6.12

Толщина воздушного промежутка $d$ , мм	Величина $H$ , дБ
25-25	22
50	24
100	26
150	27
200	28

Значение частоты  $f_p$  округляется до ближайшей среднегеометрической частоты 1/3 октавной полосы. До частоты  $0,8 f_p$  включительно частотная характеристика звукоизоляции конструкции совпадает со вспомогательной линией  $A_1B_1C_1D_1$  (точка E на рис. 6.18). На частоте  $f_p$  звукоизоляция принимается на 4 дБ ниже линии  $A_1B_1C_1D_1$  (точка F, рис. 6.18).

4) На частоте  $8f_p$  (три октавы выше частоты резонанса) находится точка  $K$  с ординатой  $R_K = R_F + H$ , которая соединяется с точкой  $F$ . Величина  $H$  определяется по табл. 6.12 в зависимости от толщины воздушного промежутка. От точки  $K$  проводится отрезок  $KL$  с наклоном 4,5 дБ на октаву до частоты  $f_e$  (параллельно отрезку вспомогательной линии  $A_1B_1$ ).

Превышение отрезка  $KL$  над вспомогательной кривой  $A_1B_1C_1D_1$  представляет собой поправку на влияние воздушного промежутка  $\Delta R_2$  (в диапазоне выше  $8f_p$ ). В том случае, когда  $f_e = 8f_p$ , точки  $K$  и  $L$  сливаются в одну. Если  $f_e < 8f_p$  отрезок  $FK$  проводится только до точки  $L$ , соответствующей частоте  $f_e$ . Точка  $K$  в этом случае лежит вне расчетной частотной характеристики и является вспомогательной.

5) от точки  $L$  до частоты  $1,25 f_e$  (до следующей 1/3 октавной полосы) проводится горизонтальный отрезок  $LM$ . На частоте  $f_c$  находится точка  $N$  путем прибавления к значениям вспомогательной линии  $A_1B_1C_1D_1$  поправки  $\Delta R_2$  (т.е.  $R_N = R_{C_1} + \Delta R_2$ ) и соединяется с точкой  $M$ . Далее проводится отрезок  $NP$  с наклоном 7,5 дБ на октаву.

Ломаная линия  $A_1EFKLMNP$  представляет собой частотную характеристику изоляции воздушного шума рассматриваемой конструкции.

С помощью двуслойной конструкции можно получить максимальный звукоизоляционный эффект при минимальной массе конструкции. При этом с точки зрения звукоизоляции наиболее целесообразными являются отдельные перегородки, имеющие плиты одинаковой массы, но с различными жесткостями при изгибе, отличающимися в 6-7 раз. Этого можно достичь применением материалов с различной объемной массой, различных толщин плит, а также изменением жесткости конструктивным путем (ребра, впадины и т.п.).

Анализ звукоизоляции подобных конструкций показал, что их эффективность в основном зависит от расстояния между слоями и степени демпфирования, т.е. снижения колебаний воздуха, воздушного промежутка. Если в промежутке между наружными оболочками (стенками) размещен звукопоглощающий материал с большой пористостью (например, минераловатные плиты), то поглощение звуковой энергии при многократном прохождении в нем отраженной звуковой волны увеличивается. Известно, что поглощение звуковой энергии оценивается коэффициентом поглощения  $\alpha$ , и чем выше  $\alpha$ , тем следует ожидать большего эффекта звукоизоляции. За счет заполнения воздушного пространства между оболочками звукопоглощающим материалом достигаются две основные цели: подавление резонансов свободных колебаний воздушной полости и уменьшение излучения звука в воздушную полость между оболочками при вынужденных колебаниях. Поэтому для достижения возможно большей звукоизоляции следует в воздушную полость помещать пористо-волокнистые материалы, имеющие высокий коэффициент звукопоглощения.

## РАСЧЕТ ИНДЕКСА ИЗОЛЯЦИИ ВОЗДУШНОГО ШУМА ДВУСТЕННЫМИ ОБЛЕГЧЕННЫМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Порядок расчета:

1. Строится частотная характеристика изоляции воздушного шума двуслойной перегородки с незаполненным воздушным промежутком с обшивкой (ГКЛ, ДСП, ДВП), как это было показано выше (см. *рис. 6.18*) с учетом изменения поправки  $\Delta R_1$ , поскольку в общую поверхностную плотность конструкции  $m_{\text{общ}}$  входит поверхностная плотность материала заполнения воздушного промежутка.

Частота резонанса конструкции  $f_p$  при заполнении воздушного промежутка полностью или частично минераловатными и стекловолокнистыми плитами определяется по формуле (6.22). При заполнении промежутка пористым материалом с жестким скелетом (пенопласт, пенополистирол, фибролит и т.п.) частоту резонанса определяют по формуле

$$f_p = 0,16\sqrt{(E_{\text{дин}}m_1 + m_2)/dm_1m_2}, \quad \text{Гц.} \quad (6.24)$$

Если облицовки не приклеиваются к материалу заполнения, то значения  $E_{\text{дин}}$  принимаются с коэффициентом 0,75.

2. До частоты резонанса включительно ( $f \leq f_p$ ) частотная характеристика звукоизоляции конструкции полностью совпадает с частотной характеристикой, построенной для перегородки с незаполненным воздушным промежутком.
3. На частотах  $f \geq 1,6f_p$  звукоизоляция увеличивается дополнительно на величину  $\Delta R_4$  (табл. 6.13).

**Таблица 6.13**

Материал заполнения	Заполнение промежутка	$\Delta R_4$
Пористо-волокнистый (минеральная вата, стекловолокно)	20%	2
	30%	3
	40%	4
	50-100%	5
Пористый с жестким скелетом (пенопласт, фибролит)	100%	3

4. При построении частотной характеристики звукоизоляции конструкции на частоте  $f = 1,6f_p$  (две третьоктавные полосы выше частоты резонанса) отмечается точка Q с ординатой на величину  $\Delta R_4$  выше точки, лежащей на отрезке FK, и соединяется с точкой F. Далее частотная характеристика строится параллельно частотной характеристике звукоизоляции конструкции с незаполненным воздушным промежутком – линия  $A_1EFQK_1L_1M_1N_1P_1$  (*рис. 6.19*).



R, дБ

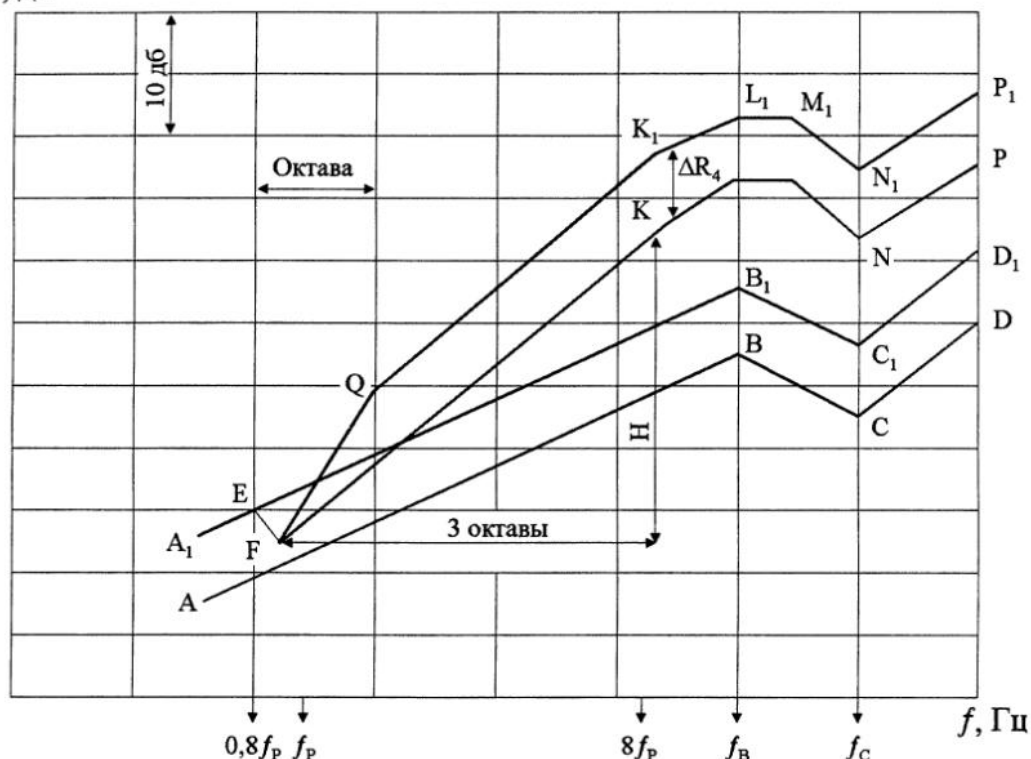


Рис. 6.19. Частотная характеристика изоляции воздушного шума каркасно-обшивной перегородкой с заполнением воздушного промежутка

Таблица 6.14

Конструкция пола	$f_p$ , Гц	Индекс изоляции воздушного шума перекрытием $R_w$ , дБ, при индексе изоляции несущей плитой перекрытия $R_{w0}$ , дБ					
		43	46	49	52	55	57
1. Деревянные полы по лагам, уложенным на звукоизоляционный слой в виде ленточных прокладок с $E_\delta = 5 \cdot 10^5 - 12 \cdot 10^5$ Па при расстоянии между полом и несущей плитой 60-70 мм	160	53	54	55	56	57	58
	200	50	52	53	54	56	58
	250	49	51	52	53	55	57
	320	48	49	51	53	55	-
	400	47	48	50	52	-	-
500	46	48	-	-	-	-	
2. Покрытие пола на монолитной стяжке или сборных плитах с $m = 60-120$ кг/м <sup>2</sup> по звукоизоляционному слою с $E_\delta = 3 \cdot 10^5 - 10 \cdot 10^5$ Па	63	-	55	56	57	58	59
	80	53	54	55	56	57	58
	100	52	53	54	55	56	58
	125	51	52	53	54	55	57
	160	50	51	53	54	55	57
200	47	49	51	53	-	-	
3. Покрытие пола на монолитной стяжке или сборных плитах с $m = 60-120$ кг/м <sup>2</sup> по звукоизоляционному слою из песка с $E_\delta = 12 \cdot 10^5$ Па	200	-	53	54	55	56	58
	250	50	52	53	54	55	57
	320	49	51	52	54	55	57
	400	48	50	51	53	55	57
	500	47	49	51	53	55	57

В Своде правил СП 23-103-2003 приводятся примеры расчета звукоизоляции от воздушного шума различными конструкциями легких перегородок и междуэтажных перекрытий различных конструкций.

При определении индекса звукоизоляции воздушного шума междуэтажного перекрытия  $R_w$  необходимо учитывать влияние массы плиты перекрытия, а также влияние конструкции пола. Индекс звукоизоляции  $R_w$  определяется по табл. 6.14 в зависимости от величины индекса изоляции воздушного шума несущей плитой перекрытия,  $R_{во}$ , определенного как для однослойной массивной конструкции или по формуле (6.19) и частоты резонанса конструкции  $f_p$ , определенного по формуле (6.24). В формуле  $E_{дин}$  – динамический модуль упругости материала звукоизоляционного слоя, Па, принимаемый по табл. 6.10;  $m_1$  – поверхностная плотность несущей плиты перекрытия, кг/м<sup>2</sup>;  $m_2$  – поверхностная плотность конструкции пола выше звукоизоляционного слоя (без него), кг/м<sup>2</sup>;  $d_0$  – толщина звукоизоляционного слоя в обжатом состоянии, м, определяемая по формуле

$$d = d_0(1 - \varepsilon), \quad (6.25)$$

где  $\varepsilon$  – относительное сжатие материала звукоизоляционного слоя под нагрузкой, принимаемое по табл. 6.15.

Если ограждающая конструкция состоит из нескольких частей с различной звукоизоляцией (например, стена с окном и дверью), ее изоляцию воздушного шума следует определять по формуле

$$R_{cp} = 10 \lg \frac{S_{общ}}{\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{10^{0,1R_i}}}, \text{ дБ}, \quad (6.26)$$

где  $S_{общ}$  – общая площадь данной конструкции, м<sup>2</sup>;  $S_i$  – площадь  $i$ -той части, м<sup>2</sup>;  $R_i$  – изоляция воздушного шума  $i$ -той части, дБ.

Если ограждающая конструкция состоит из двух частей с различной звукоизоляцией ( $R_1 > R_2$ ), то

$$R_{cp} = R_1 - 10 \lg \frac{\frac{S_1}{S_2} + 10^{0,1(R_1 - R_2)}}{1 + \frac{S_1}{S_2}}, \text{ дБ}. \quad (6.27)$$

Если ограждающая конструкция имеет открытый проем (открытая форточка или створка окна, вентиляционное отверстие без глушителя шума и т.п.), ее изоляция воздушного шума определяется по формуле

$$R_{cp} = R_1 - 10 \lg \frac{S_1 + S_o \cdot 10^{0,1R_1}}{S_{общ}}, \text{ дБ}, \quad (6.28)$$

где  $S_o$  – площадь открытого проема, м<sup>2</sup>.

Таблица 6.15

Материалы	Плотность кг/м <sup>3</sup>	Динамический модуль упругости $E_d$ , Па и относительное сжатие $\epsilon$ материала звукоизоляционного слоя при нагрузке на звукоизоляционный слой, Па					
		$E_d$	$\epsilon$	$E_d$	$\epsilon$	$E_d$	$\epsilon$
1. Плиты минераловатные на синтетическом связующем: полужесткие	70-90	$3,6 \cdot 10^5$	0,5	$4,5 \cdot 10^5$	0,55	-	-
	95-100	$4,0 \cdot 10^5$	0,5	$5,0 \cdot 10^5$	0,55	-	-
	жесткие 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. Плиты из извергабазальтового волокна на синтетическом связующем	70-90	$1,9 \cdot 10^5$	0,1	$2,0 \cdot 10^5$	0,15	$2,6 \cdot 10^5$	0,2
	100-120	$2,7 \cdot 10^5$	0,08	$3,0 \cdot 10^5$	0,1	$4,0 \cdot 10^5$	0,15
	125-150	$3,5 \cdot 10^5$	0,07	$5,0 \cdot 10^5$	0,08	$6,5 \cdot 10^5$	0,1
3. 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	-	-
4. Плиты древесноволокнистые мягкие по ГОСТ 4598-86	250	$10 \cdot 10^5$	0,1	$11 \cdot 10^5$	0,1	$12 \cdot 10^5$	0,15
5. Прессованная пробка	200	$11 \cdot 10^5$	0,1	$12 \cdot 10^5$	0,2	$12,5 \cdot 10^5$	0,25
6. Песок прокаленный	1300-1500	$120 \cdot 10^5$	0,03	$130 \cdot 10^5$	0,04	$140 \cdot 10^5$	0,06
7. Материалы из пеннополиэтилена и пенополипропилена: Велимат Пенополиэкс Изолон (ППЭ-Л) Энергофлекс Пенофол Вилатерм Парколаг Термофлекс Порилекс (НПЭ) Этафом (ППЭ-Р) Пенотерм (НПП-ЛЭ)		$1,4 \cdot 10^5$	0,19	$1,6 \cdot 10^5$	0,37	$2,0 \cdot 10^5$	0,5
		$1,8 \cdot 10^5$	0,02	$2,5 \cdot 10^5$	0,1	$3,2 \cdot 10^5$	0,2
		$2,0 \cdot 10^5$	0,05	$3,4 \cdot 10^5$	0,1	$4,2 \cdot 10^5$	0,2
		$2,7 \cdot 10^5$	0,04	$3,8 \cdot 10^5$	0,1	-	-
		$2,6 \cdot 10^5$	0,1	$3,7 \cdot 10^5$	0,15	$4,5 \cdot 10^5$	0,2
		$4,0 \cdot 10^5$	0,03	$4,8 \cdot 10^5$	0,1	-	-
		$4,7 \cdot 10^5$	0,15	$5,8 \cdot 10^5$	0,2	-	-
		$6,4 \cdot 10^5$	0,02	$8,5 \cdot 10^5$	0,1	$9,2 \cdot 10^5$	0,2
		$6,6 \cdot 10^5$	0,1	$8,5 \cdot 10^5$	0,2	$9,2 \cdot 10^5$	0,25

Примечания:

1. Для нагрузок на звукоизоляционный слой, не указанных в этой таблице, величины  $E_d$  и  $\epsilon$  следует принимать по линейной интерполяции в зависимости от фактической нагрузки.
2. В таблице даны ориентировочные величины  $E_d$  и  $\epsilon$ , более точные данные следует брать из сертификатов на материалы, в которых эти величины должны быть приведены.

## 6.5. Изоляция ударного шума междуэтажными перекрытиями

Шум от ходьбы по перекрытиям является особой формой корпусного шума. Корпусной шум возникает тогда, когда строительные конструкции, такие как стены, перекрытия, получают прямой колебательный импульс. Это может происходить за счет захлопывания двери, использования туалета, домашних приборов, сверления или забивания гвоздей в стену или перекрытие. Однако особенно мешающим является шум, который возникает, когда перекрытие приводится в колебательное движение при хождении по нему.

### НОРМИРОВАНИЕ УДАРНОГО ШУМА

Для получения нормированного уровня ударного шума на перекрытие устанавливают стандартную ударную «топальную» машину, производящую 10 ударов в секунду пятью молотками весом по 0,5 кг. С помощью вала эти молотки поднимаются на высоту 4 см и свободно падают на перекрытие по одному в определенном ритме. Полученные уровни звукового давления под перекрытием приводят к октавным полосам частот и единому звукопоглощению в помещении, равному  $10 \text{ м}^2$ , а затем сравнивают с нормативными. Такие уровни называют приведенными  $L_n$  (они указаны в табл. 1 СП 23-103-2003).

В табл. 6.16 приведена нормативная частотная характеристика, т.е. параметры оценочной кривой ударного шума под перекрытием, а также параметры частотной характеристики приведенного ударного шума под неким реальным перекрытием  $L_n$ .

Таблица 6.16

№ пп	Параметры	Среднегеометрическая частота 1/3-октавной полосы, Гц																
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
1	Приведенный уровень ударного шума $L_n$ , дБ	59	60	65	65	63	62	60	58	54	50	46	43	43	41	37	33	
2	Оценочная кривая, дБ	62	62	62	62	62	62	61	60	59	58	57	54	51	48	45	42	
3	Неблагоприятные отклонения, дБ	-	-	3	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	Оценочная кривая, смещенная вниз на 4 дБ	58	58	58	58	58	58	57	56	55	54	53	50	47	44	41	38	
5	Неблагоприятные отклонения от смещенной оценочной кривой, дБ	1	2	7	7	5	4	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	Индекс приведенного уровня ударного шума $L_{nw}$ , дБ									56								

Находим неблагоприятные отклонения частотной характеристики приведенного уровня ударного шума от оценочной кривой. В данном примере сумма составила 7 дБ, что значительно меньше 32 дБ. Смещаем оценочную кривую вниз на 4 дБ. Величина смещения определяется подбором. Находим неблагоприятные отклонения от смещенной оценочной кривой. Сумма неблагоприятных отклонений в этом случае составила 31 дБ, что меньше 32 дБ, но приближается к этой величине. За величину индекса приведенного уровня ударного шума принимаем ординату смещенной кривой в 1/3-октавной полосе 500 Гц, т.е.  $L_{nw} = 56$  дБ.

Таким образом, индекс приведенного уровня ударного шума равен уровню шума под перекрытием, приведенному к стандартным параметрам помещения, на частоте 500 Гц, полученному по смещенной оценочной кривой при сумме неблагоприятных отклонений частотной характеристики ударного шума данного перекрытия от оценочной кривой, приближающейся к 32 дБ.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ УДАРНОГО ШУМА МЕЖДУЭТАЖНЫМИ ПЕРЕКРЫТИЯМИ

Обеспечить нормативные требования изоляции ударного шума с помощью одних несущих плит перекрытий практически невозможно. Так, удвоение толщины железобетонной плиты перекрытия снижает уровень  $L_n$  на 9 дБ. Правильно подобранная конструкция пола также может снизить этот уровень на 9 дБ. Это решает проблему веса конструкций.

Индекс приведенного уровня ударного шума  $L_{nw}$  под междуэтажным перекрытием с полом на звукоизоляционном слое следует определять по табл. 6.17.

Для определения частоты собственных колебаний пола, лежащего на звукоизоляционном слое, пользуются формулой

$$f_o = 0,16 \sqrt{\frac{E_{дин}}{dm_2}}, \text{ Гц}, \quad (6.29)$$

где  $E_{дин}$  – динамический модуль упругости звукоизоляционного слоя, Па, принимаемый по табл. 6.17;  $d$  – толщина звукоизоляционного слоя в обжатом состоянии, м, определяется по формуле (6.25);  $m_2$  – поверхностная плотность пола без звукоизоляционного слоя, кг/м<sup>2</sup>.

Для определения величины индекса приведенного уровня ударного шума для несущей плиты перекрытия (сплошного сечения или с круглыми пустотами),  $L_{nwo}$ , дБ, следует пользоваться табл. 6.18.

Таблица 6.17

Конструкция пола	$f_p$ , Гц	Индексы приведенного уровня ударного шума под перекрытием $L_{nw}$ при индексе для несущей плиты пе- рекрытия $L_{nw0}$						
		86	84	82	80	78	76	74
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	59	58	56	55	54	54	53
	200	61	60	58	57	55	54	54
	250	62	61	59	58	56	55	55
	315	64	62	60	59	57	56	56
2. Покрытие пола на сборных плитах с $m = 30$ кг/м <sup>2</sup> по звукоизоляционному слою с $E_d = 3 \cdot 10^5 - 10 \cdot 10^5$ Па	100	60	58	56	554	52	51	50
	125	64	62	60	58	56	55	54
	160	68	66	64	62	60	59	58
	200	70	68	66	64	62	61	60
	250	72	70	68	66	64	63	62
3. Покрытие пола на монолитной стяжке или сборных плитах с $m = 60$ кг/м <sup>2</sup> по звукоизоляционному слою с $E_d = 3 \cdot 10^5 - 10 \cdot 10^5$ Па	60	61	58	56	54	51	49	48
	80	62	59	57	56	53	52	51
	100	64	61	59	57	56	55	54
	125	66	63	61	59	58	57	56
	160	68	65	63	61	60	58	57
	200	70	68	66	64	62	60	59
4. То же, по звукоизоляционному слою из песка с $E_d = 12 \cdot 10^6$ Па	160	62	60	58	57	55	554	53
	200	65	63	61	59	58	57	56
	250	67	65	63	61	60	59	58
	315	71	69	67	66	64	63	62
5. Покрытие пола на монолитной стяжке или сборных плитах с $m = 120$ кг/м <sup>2</sup> по звукоизоляционному слою из песка с $E_d = 3 \cdot 10^5 - 12 \cdot 10^5$ Па	60	59	56	54	52	50	48	47
	80	61	58	56	54	52	50	49
	100	63	60	58	57	55	53	52
	125	65	62	60	58	56	54	53
	160	67	64	62	60	58	56	55
	200	68	65	64	62	60	58	57
5. То же, по звукоизоляционному слою из песка с $E_d = 12 \cdot 10^6$ Па	160	61	58	56	55	53	52	51
	200	63	60	58	57	55	54	53
	250	65	63	61	59	58	57	56
	315	69	67	65	64	62	61	60

Примечание. При промежуточных значениях поверхностной плотности стяжки (сборных плит) индексы следует определять по интерполяции, округляя до целого числа дБ.

Поверхностная плотность несущей плиты перекрытия, кг/м <sup>2</sup>	Значения $L_{нво}$ , дБ
150	86
200	84
250	82
300	80
350	78
400	77
450	76
500	75
550	74
600	73

Примечания:

1. При подвесном потолке из листовых материалов (ГКЛ, ГВЛ и т.п.) из значений  $L_{нво}$  вычитается 1 дБ.
2. При заполнении пространства над подвесным потолком звукопоглощающим материалом из значений  $L_{нво}$  вычитается 2 дБ.

*Пример.* Требуется рассчитать индекс приведенного уровня ударного шума под междуэтажным перекрытием. Перекрытие состоит из железобетонных несущих многопустотных плит – настилов  $\gamma_0 = 2500 \text{ кг/м}^3$ , толщиной 22 см, звукоизоляционного слоя из пенопропиленового материала «Термофлекс» толщиной 12 мм, двух гипсоволокнистых листов  $\gamma_0 = 1100 \text{ кг/м}^3$  общей толщиной 20 мм и паркета на битумной мастике толщиной 15 мм. Полезная нагрузка 2 000 Па.

Определяем поверхностные плотности элементов покрытия:

Для многопустотной плиты для этой цели следует пользоваться понятием приведенной толщины: при ширине плиты 100 см в ее сечении размещаются четыре отверстия диаметром 14 см. Общая площадь пустот в сечении

$$S_0 = 4 \cdot \pi \cdot D^2 / 4 = 3,14 \cdot 14^2 = 615,44 \text{ см}^2.$$

Площадь сечения плиты

$$S_{пл} = 100 \cdot 22 - 2 \cdot 4 \cdot 16 = 2200 - 120,16 = 2079,84 \text{ см}^2.$$

Площадь бетона в сечении плиты  $S_b = 2079,84 - 615,44 = 1464,4 \text{ см}^2$ .

Приведенная толщина плиты составляет  $1464,4 : 100 = 14,64 \text{ см}$ .

Определяем поверхностные плотности элементов перекрытия:

$$m_1 = 2500 \cdot 0,146 = 365 \text{ кг/м}^2;$$

$$m_2 = 1100 \cdot 0,02 + 700 \cdot 0,015 = 32,5 \text{ кг/м}^2.$$

По табл. 6.18 находим  $L_{нво} = 78 \text{ дБ}$ .

Вычисляем частоту собственных колебаний пола по формуле (5.24) при  $E_{дин} = 4 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ,  $\varepsilon = 0,03$ , толщине прокладки в обжатом состоянии  $d = 0,012(1 - 0,03) = 0,0116 \text{ м}$ .

$$f_o = 0,16 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 10^5}{0,0116 \cdot 32,5}} = 164,8 \text{ Гц} \approx 160 \text{ Гц}.$$

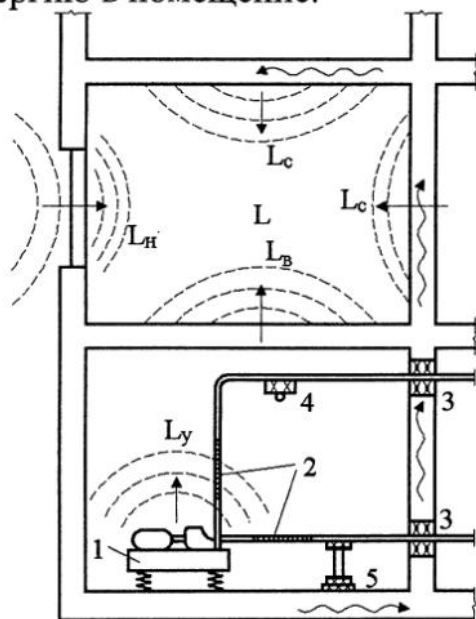
По табл. 6.17 находим индекс приведенного уровня ударного шума  $L_{nw} = 60$  дБ. Этот уровень слишком велик для перекрытий жилых зданий категорий А и Б и может соответствовать нормам согласно табл. прил. 6.1 только для междуэтажных перекрытий гостиниц категории В, офисов всех категорий, междуэтажных перекрытий в квартирах в двух уровнях.

## 6.6. Борьба с шумом от инженерного и санитарно-технического оборудования

Шум от инженерного и санитарно-технического оборудования возникает при открывании запорных вентилей трубопроводов водоснабжения и канализации, т.е. не в самих трубах, а внутри уменьшенного сечения. Шумы передаются вдоль трубопроводов на стены и перекрытия, на которых они закреплены.

Шум возникает также при заполнении ванн, раковин умывальников, при спуске воды в унитазах. По своему характеру это, как правило, воздушный и корпусной шум.

Другими источниками шума от инженерного и санитарно-технического оборудования являются насосные и вентиляционные установки, лифты, мусоропроводы, установки кондиционирования воздуха. Насосные установки обычно размещаются в подвалах. В результате нарушений балансировки роторов мотора и насоса, неисправности подшипников и т.п. механическая энергия преобразуется в звуковую и в энергию колебаний (вибрацию), распространяющуюся по несущим и ограждающим конструкциям зданий. В последние десятилетия к источникам мешающих шумов в зданиях прибавилось метро неглубокого заложения, вибрации которого при прохождении поездов передаются фундаментам зданий. Конструкции зданий приходят в колебательное движение и излучают звуковую энергию в помещение.



**Рис. 6.20.** Схема передачи звуковой энергии из помещения насосной в квартиру; мероприятия по виброизоляции:

- 1 – фундамент на амортизаторах; 2 – гибкие вставки; 3 – изоляция трубопроводов; 4 – кронштейн с упругой прокладкой; 5 – стойка с упругой прокладкой



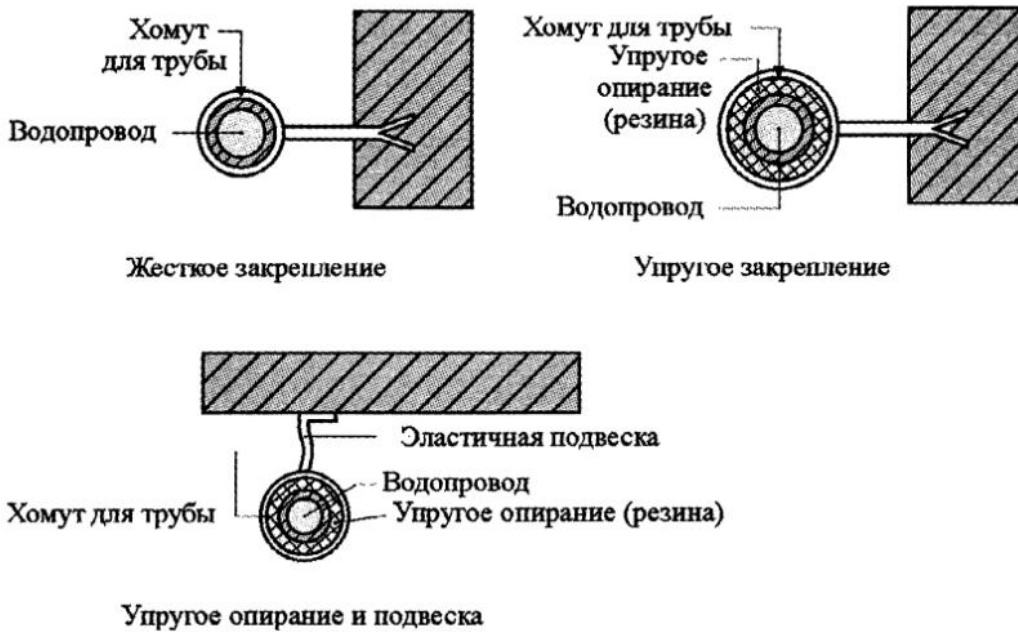


Рис. 6.21. Схемы креплений трубопроводов к стене и перекрытию

В помещении, расположенном над котельной, звуковая энергия определяется суммой энергий воздушного шума, проходящего через междуэтажное перекрытие, и структурного (корпусного) шума. Обычно неблагоприятный шумовой режим создается структурным шумом. Поэтому для уменьшения шума в помещениях необходим комплекс мероприятий, направленный на локализацию вибраций в пределах котельной. Виброизоляция достигается установкой между фундаментами машин и полом амортизаторов. Амортизаторы могут быть выполнены из упругих материалов (резина, пробка) и стальных пружин. Амортизаторы из упругих материалов хорошо изолируют высокочастотные вибрации (рис. 6.20). Пружинные амортизаторы могут применяться для ослабления вибраций низких и высоких частот. Кроме того, они долговечны, не подвержены воздействию масел и высокой температуры. Поэтому их применение наиболее целесообразно для уменьшения вибраций от механического оборудования (насосных, вентиляционных и других установок).

Шумы передаются также вдоль трубопровода на стены и перекрытия, на которых они закреплены. Упругое закрепление трубопроводов на стенах в упругих хомутах, упругая подвеска трубопроводов и одежда труб изоляционным материалом показаны на рис. 6.21.

Изоляция трубопроводов достигается устройством в них мягких вставок длиной 70-90 см из резины и других гибких материалов.

Механическая установка на фундаменте и амортизаторах представляет собой систему с шестью степенями свободы и с таким же числом частот собственных колебаний. Однако на практике можно учитывать только вертикальные колебания, принимая

$$f_0 = f/3 \text{ или } f/4, \text{ Гц}, \quad (6.30)$$

где  $f_0$  – частота собственных колебаний установки на амортизаторах;  $f$  – частота возмущающей силы.

$$f = N/60, \text{ Гц}, \quad (6.31)$$

где  $N$  – число оборотов в минуту установки.

Величина  $f_0$  может быть рассчитана по приближенной формуле

$$f_0 = 5 / \sqrt{X_{CT}}, \text{ Гц}, \quad (6.32)$$

где  $X_{CT}$  – статическая осадка амортизаторов под действием массы установки и фундамента, см.

Круговая частота колебаний установки равна

$$\omega_0 = 2\pi f_0, \text{ Гц}. \quad (6.33)$$

Общая жесткость всех амортизаторов в вертикальном направлении должна быть не более величины  $K_z$ , определяемой по формуле

$$K_z = m\omega_0^2, \text{ Па/м}, \quad (6.34)$$

где  $m$  – масса вибрирующей установки (на ед. частоты колебаний),  $\text{Н с}^2/\text{м}$ .

Рабочая высота амортизатора (высота его деформируемой части) из упругих материалов, например резины, пробки, равна

$$H = E_\delta F_p / K_z, \text{ м}, \quad (6.35)$$

где  $F_p$  – площадь поперечного сечения всех амортизаторов,  $\text{м}^2$ , определяется по формуле

$$F_p = P / \sigma, \text{ м}^2. \quad (6.36)$$

Здесь  $P$  – нагрузка, приходящаяся на все амортизаторы (установка и фундамент), кг;  $\sigma$  – расчетное статическое напряжение в упругом материале амортизатора, Па.

При расчете пружинных амортизаторов вначале определяются их жесткость и расчетная нагрузка с учетом влияния динамических усилий, а затем, зная допускаемые напряжения на сдвиг и кручение материала амортизатора, определяются диаметр проволоки, число рабочих витков и высота пружины.

Основной показатель, характеризующий качество виброизоляции установки, – коэффициент виброизоляции  $K$ , указывающий, какая доля динамической силы установки передается амортизаторами фундаменту. Коэффициент виброизоляции может быть определен по формуле

$$K = 1/(f^2/f_0 - 1). \quad (6.37)$$

Следовательно, для хорошей виброизоляции (малые значения  $K$ ) необходимо, чтобы частота собственных колебаний установки  $f_0$  была мала по сравнению с частотой возмущающей силы  $f$ .

*Пример.* Рассчитать амортизаторы под насосную установку, имеющую скорость вращения  $n = 1410$  оборотов в минуту и  $P = 75$  кг.

Принимаем общую массу фундамента с установкой 400 кг (масса фундамента должна быть не менее чем в 3 раза больше массы установки). Выбираем амортизаторы из резины марки ИРП-1346,  $\sigma = 3 \cdot 10^5$  Па и  $E_\delta = 3,9 \cdot 10^6$  Па.

Принимаем  $f_0 = f/3$ ; следовательно,  $\omega_0 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1410 / 3 \cdot 60 = 50$  Гц.

По формуле (6.33)  $K_z = 400 \cdot 50^2 / 9,81 = 100\,000$  Па/м;

По формуле (6.35)  $F_p = 400 / 3 \cdot 10^5 = 1,33 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>;

По формуле (5.34)  $H = 3,9 \cdot 10^6 \cdot 1,33 \cdot 10^{-3} / 10^5 = 0,052$  м.

При шести амортизаторах площадь одного равна  $1,33 \cdot 10^{-3} / 6 = 2,22 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>. Если амортизатор квадратный, то его сторона будет равна 0,045 м.

При работе лифтов возникают и распространяются воздушный и структурный шумы. Мероприятия по борьбе с шумом лифтов сводятся в основном к виброизоляции установок и звукоизоляции машинных отделений. Моторы и лебедки устанавливаются на железобетонный фундамент, опирающийся на перекрытие через амортизаторы.

Большое значение в борьбе с шумом имеют планировочные решения зданий. Так, примыкание лифтовых шахт к жилым и рабочим помещениям недопустимо.

При работе вентиляционных установок и централизованных систем кондиционирования воздуха также возникает воздушный и структурный шум. Воздушный шум может передаваться через ограждение и распространяться по каналам (воздуховодам) на большом расстоянии и также вызывает повышение шума в вентилируемых помещениях. Уменьшение шума в каналах достигается устройством в них глушителей в виде облицовки внутри звукопоглощающим материалом. Каналы изолируются от ограждающих конструкций упругими прокладками. Сами установки, так же как и насосы, моторы и лебедки лифтов, устанавливаются на амортизаторы.

## 6.7. Определение общего уровня шума от нескольких источников

При объяснении основных положений и понятий строительной акустики было отмечено, что шумы воспринимаются человеком в соответствии с законом Вебера-Фехнера, т.е. логарифмически. Поэтому они не могут просто складываться или вычитаться, а должны складываться и вычитаться логарифмически.

Для сложения или вычитания многих одинаковых источников шума действительна упрощенная формула

$$L_{\text{общ}} = L_1 + 10 \lg n, \text{ дБ}, \quad (6.38)$$

$L_1$  – уровень шума одного источника;  $N$  – число источников шума;  $L_{\text{общ}}$  – суммарный уровень всех источников шума.

*Пример.* Машина с уровнем шума 60 дБ:  $L_{общ} = 60 + 10 \lg 1 = 60$  дБ.  
 2 машины:  $L_{общ} = 60 + 10 \lg 2 = 63$  дБ.  
 10 машин:  $L_{общ} = 60 + 10 \lg 10 = 70$  дБ

Таким образом, при двух одинаково громких машинах звуковая энергия удваивается, но человеческое ухо воспринимает это по-другому. Так, при сложении шума двух одинаковых источников уровень шума повышается только на 3 дБ. Даже на пороге слышимости это справедливо. Так  $L_{общ} = 0 + 10 \lg 2 = 3$  дБ. Это объясняется тем, что 0 дБ не означает, что звуковое воздействие отсутствует, а только то, что оно находится за пределом порога слышимости, т.е. не воспринимается человеком. Два таких источника уже будут слышимы.

Сложение шума различных уровней производится по формуле

$$L_{общ} = 10 \lg (10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2} + 10^{0,1L_3} + \dots + 10^{0,1L_n}) \quad (6.39)$$

где  $L_1 - L_n$  – уровни шума отдельных источников.

Эту формулу можно применять и для одинаковых источников шума.

*Пример.* Машины создают уровни шума  $L_1 = 60$  дБ и  $L_2 = 40$  дБ.

$$L_{общ} = 10 \lg (10^6 + 10^4) = 10 \lg (1010000) = 60,043 \text{ дБ.}$$

Это говорит о том, что уровнями шума источников, которые более чем на 10 дБ тише, чем наибольший из них, при определении общего уровня шума можно пренебречь.

## 7. ЗАЩИТА ОТ ШУМА В ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВЕ

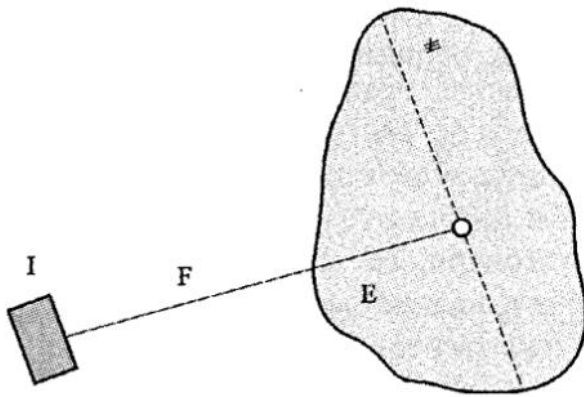
### 7.1. Внешние источники шума

Источниками наружного шума являются автомобильный транспорт, железнодорожный транспорт, водный и воздушный транспорт, которые объединяются в один вид – транспортный шум. Кроме того, на шумовой режим населенных мест может влиять также и производственный шум близко расположенных промышленных предприятий.

Для наружного шума различают три различных типа источников:

#### 1. Точечные источники шума (машины, приборы).

В случае точечного источника шума эмиссия (излучение звука) происходит из одной точки. В качестве точечного источника можно также рассматривать эмиссию шума с участка площади, наибольшая длина которого  $l$  составляет максимум  $0,7 S$  – расстояния от этой линии до места имиссии, т.е. места расположения приемника (жилое здание, больница). В большинстве случаев длина  $l$  – это диагональ (рис. 7.1).



$E$  – место эмиссии

$I$  – место имиссии

$r$  – удаление центра тяжести места эмиссии от места имиссии (т.е. приемника, например первый ряд домов)

Этот промышленный район может рассматриваться как точечный источник шума, если  $l \leq 0,7 \cdot r$ .

Если  $l > 0,7 \cdot r$ , то место эмиссии должно рассматриваться как плоскостной источник шума.

Рис. 7.1

При распространении сферических звуковых волн интенсивность звука изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния  $r^2$ . Поэтому уровень шума  $L$  на расстоянии от источника  $r_0$  при удалении от этого места на расстояние  $r$  снизится согласно уравнению:

$$L_1 = L - 20 \lg \frac{r}{r_0}. \quad (7.1)$$

#### 2. Плоскостные источники шума (предприятия и их комплексы, промышленные зоны, торговые центры, стоянки автомобилей).

Плоскостные источники – это такие, у которых наибольший размер  $l$  составляет больше, чем  $0,7$  удаления места эмиссии от места имиссии, т.е.  $l > 0,7S$ .

Уровень шума  $L_w$  от плоского источника рассчитывается по формуле

$$L_1 = L + 10 \lg (A/A_0), \text{ дБ}. \quad (7.2)$$

Здесь  $L$  – уровень шума, излучаемый в среднем с каждого квадратного метра площади в дБ/м<sup>2</sup>;  $A$  – площадь источника шума, м<sup>2</sup>;  $A_0$  – относительная величина площади в 1 м<sup>2</sup>.

Для промышленных зон можно принять  $L = 65$  дБ/м<sup>2</sup>.

Например, промзона 2400 м<sup>2</sup>.

$$L_1 = 65 + 10 \lg (2400/1) = 68,38 \text{ дБ.}$$

При удалении от промзоны с некоторым допущением можно считать, что уменьшение уровня шума будет подчиняться уравнению (7.1).

3. Линейные источники шума (автомобильные дороги, железная дорога, трамвай).

Линейными называют источники шума, излучающие его по своей длине. Уровни шума  $L$  от линейных источников рассчитываются по формуле

$$L = L_1 + 10 \lg (l/l_0), \text{ дБ.} \quad (7.3)$$

$$L_1 = L_{cp25} + \Delta L_{\text{дно}} + \Delta L_v + \Delta L_{\text{подъема}} + 17,6 \text{ дБ.} \quad (7.4)$$

$$L_{cp25} = 37,3 + 10 \lg [M (1 + 0,082 p)]. \quad (7.5)$$

$$\Delta L_v = [23 - 3,5 \cdot \sqrt{p} + 0,2 p] \cdot [\lg(v-2)]. \quad (7.6)$$

В этих формулах:  $L_1$  – средний уровень звукового давления шума, излучаемого с каждого метра длины линейного источника;  $l$  – общая длина источника шума, м;  $l_0$  – относительная длина = 1 м;  $L_{cp25}$  – усредненный уровень, дБ, на расстоянии 25 м от середины источника при нерифленом асфальте и допустимой максимальной скорости в 100 км/ч для легковых автомобилей и 80 км/ч для грузовых автомобилей при свободном распространении шума;  $M$  – плотность автомобильного потока в час (маш/ч);  $p$  – процент грузовых автомобилей от всего транспортного потока (%) (>2,8т общего веса);  $\Delta L_{\text{дно}}$  – поправочная добавка, дБ, в зависимости от поверхности дороги;  $v$  – максимальная допустимая скорость, км/ч;  $\Delta L_v$  – поправочная добавка, дБ, для различных максимальных скоростей;  $\Delta L_{\text{подъема}}$  – поправочная добавка, дБ, для подъемов.

Значения поправок, плотностей движения и процентных соотношений грузовых автомобилей приведены в табл. 7.1, 7.2 и 7.3.

Таблица 7.1

Поправка  $\Delta L_{\text{дно}}$  для различных дорожных покрытий

Поверхность дороги	$\Delta L_{\text{дно}}$ , дБ
Нерифленый литой асфальт	0
Асфальтобетон	-0,5
Бетон или рифленый/валяцованный литой асфальт	+1,0
Мостовая с гладкой поверхностью	+2,0
Мостовая с негладкой поверхностью	+4,0

Поправка  $\Delta L_{\text{подъема}}$  для подъемов

Подъемы в %	$\Delta L_{\text{Stg}}$ , дБ
$\geq 5$	0
6	0,6
7	1,2
8	1,8
9	2,4
10	3,0
Для каждого следующего процента уклона Промежуточные значения следует интерполиро- вать	0,6

Таблица 7.3

Примерные часовые значения плотности движения  $M$  и примерные процентные соотношения грузовых автомобилей  $p$  (свыше 2,8 т доп. общего веса)

Тип дороги	Днем с 6.00 до 22.00		Ночью с 22.00 до 6.00	
	$M$ (авт/час)	$P(\%)$	$M$ (авт/час)	$P(\%)$
Федеральные автобаны	$0,06 \cdot DTV$	25	$0,014 \cdot DTV$	45
Федеральные автодороги	$0,06 \cdot DTV$	20	$0,011 \cdot DTV$	20
Областные, районные дороги и между селениями	$0,06 \cdot DTV$	20	$0,008 \cdot DTV$	10
Дороги проселочные	$0,06 \cdot DTV$	10	$0,011 \cdot DTV$	3

Приведенная методика определения уровней наружного шума нормируется Инженерными нормами ФРГ DIN 4109. Согласно нашему ГОСТ 20444-85 шумовая характеристика транспортного потока оценивается эквивалентным уровнем звука  $L_{A_{\text{экв}}}$ , дБ(А), рассчитываемым по результатам измерений уровней звука на расстоянии 7,5 м от первой полосы движения по формуле

$$L_{A_{\text{экв}}} = 10 \lg \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i \cdot 10^{0,1L_i}, \quad (7.7)$$

где  $T$  – период времени усреднения уровней звука, с;  $t_i$  – временной интервал в течение которого уровень звука находится в заданных пределах, с;  $i$  – номер интервалов уровней ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

Если считать, что  $T$  составляет 100%, то  $t_i$  выражают в % от  $T$ . Величину  $L_{A_{\text{экв}}}$  определяют на основании измерений уровней звука, дБ(А) в течение определенного времени, зависящего от интенсивности транспортных потоков  $M$  (маш/ч): при  $M > 1000$  ед/ч – должно быть произведено 300 отсчетов уровней звука (продолжительность измерений не менее 10 мин, интервал между измерениями от 2 до 3 сек). При  $M = 500-1000$  ед/ч – 600 отсчетов (продолжительность измерений не менее 20 мин). При  $M < 500$  ед/ч – 900 отсчетов (продолжительность измерений не менее 30 мин).

Расчетные шумовые характеристики транспортных потоков,  $L_{A \text{ экв.}}$ , дБ(А), на расстоянии 7,5 м от оси ближайшей полосы (колеи) в час «пик» определяются по табл. 7.4, 7.5, 7.6. Шумовые характеристики источников шума внутри жилой застройки,  $L_{A \text{ экв.}}$ , дБ(А), определяют по табл. 7.7.

Уровни звука могут записываться с современных приборов – шумомеров на ЭВМ. По существу, эквивалентный уровень звукового давления данного непостоянного шума заменяется уровнем звука постоянного широкополосного неимпульсного шума, оказывающего такое же воздействие на человека, как и непостоянный шум.

Зная уровни шума, излучаемого источником, можно определить ожидаемый уровень шума, дБ(А), в расчетной точке территории застройки:

$$L_{A \text{ терп}} = L_{A \text{ экв.}} - \Delta L_{A \text{ р}} - \Delta L_{A \text{ экр}} - \Delta L_{A \text{ зел.}} \quad (7.8)$$

Из формулы видно, что величина уровня шума снижается в зависимости от расстояния от источника  $\Delta L_{A \text{ р}}$ , от снижения звука экранами на пути его распространения  $\Delta L_{A \text{ экр.}}$ , а также посадками зеленых насаждений  $\Delta L_{A \text{ зел.}}$ .

При линейных источниках звук распространяется в виде цилиндрических волн. Поэтому его затухание обратно пропорционально не квадрату расстояния, а расстоянию от источника:

$$L_1 = L_{A \text{ экв.}} - 10 \lg (r/r_0). \quad (7.9)$$

$$\text{То есть } \Delta L_{A \text{ р}} = 10 \lg (r/r_0). \quad (7.10)$$

Поправки приведены на рис.7.2. и в табл. 7.8. На рис 7.2 приведен усредненный график снижения уровня шума при удалении от источника при  $r = 7,5$  м. Данные этого графика немного отличаются от результатов, полученных по формуле (7.10), так как в действительности отдельные виды источников трудно отнести к точечным или линейным. Кроме того, учтено небольшое затухание звука в воздухе в зависимости от усредненного состояния атмосферы.

$\Delta L_{A \text{ экр}}$  определяется расчетным методом, приведенным ниже.

**Таблица 7.4**

Эквивалентные уровни звука на улицах и дорогах городов

Категории улиц и дорог	Число полос движения проезжей части в обоих направлениях	Эквивалентный уровень звука, $L_{A \text{ экв.}}$ , дБА
Скоростные дороги	6	86
Магистральные улицы и дороги:		
общественного значения:	6	84
непрерывного движения	8	85
	4	81
регулируемого движения	6	82
	4	81
районного значения	6	82
дороги грузового движения	2	79
Улицы и дороги местного значения:	4	81
жилые улицы	2	73
дороги промышленных	4	75
и коммунально-складских районов	2	79



## Шумовые характеристики потоков железнодорожных поездов

Поезда	Эквивалентный уровень звука $LA_{экр}$ , дБА, при интенсивности движения, Пар/ч											
	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	25	30
Пассажирские	66	69	71	72	73	74	75	76	78	79	80	81
Электропоезда	72	75	77	78	79	80	81	82	84	85	86	87
Грузовые	76	79	81	82	83	84	85	86	88	89	90	91

Таблица 7.6

Поправки к значениям  $LA_{экр}$ , приведенным в табл. 7.5

Поправка к эквивалентному уровню звука $LA_{экр}$ , дБА	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
Средняя скорость движения поездов, км/ч:											
Пассажирских и грузовых Электропоездов	-40	-43	-47	40	50	60	80	100	-80	-90	-100

Таблица 7.7

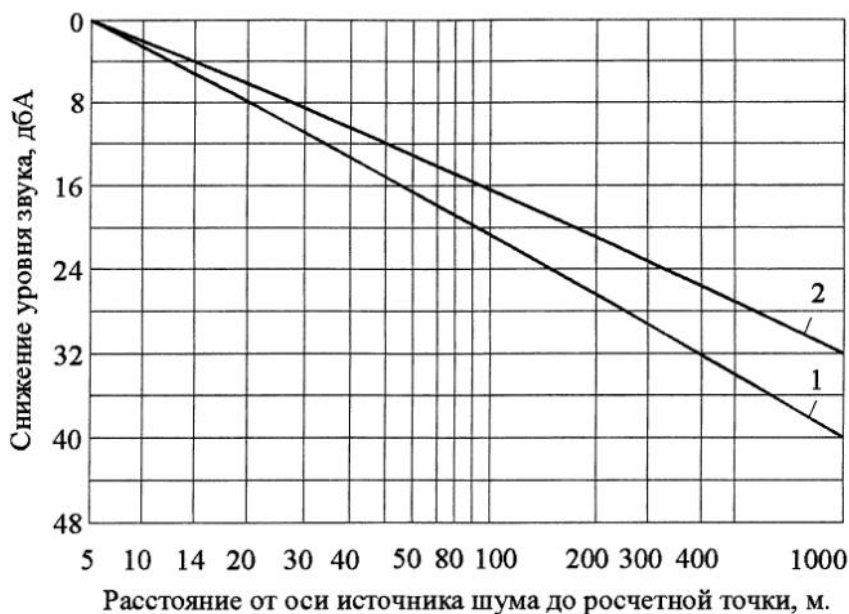
## Шумовые характеристики источников шума внутри групп жилых домов

Источники шума	Эквивалентный уровень звука $LA_{экр}$ , дБА
Разгрузка товаров и погрузка тары	70
Работа мусороуборочной машины	71
Игры детей	74
Купание детей в плескательных бассейнах	76
Спортивные игры:	
настольный теннис	58
теннис	61
хоккей	65
баскетбол	66
городки	71
волейбол	74
футбол	75

Таблица 7.8

## Ориентировочные величины снижения уровня звука полосами зеленых насаждений

Полосы зеленых насаждений	Ширина полосы, м	Снижение уровня звука $LA_{зел}$ , дБА
Однорядная при шахматной посадке деревьев внутри полосы с двухъярусной живой изгородью на переднем плане	10-15	4-5
То же	15-20	5-8
Двухрядная при расстояниях между рядами 3-5 м; ряды аналогичны однорядной посадке	21-25	8-10
Двух- или трехрядная при расстояниях между рядами 3 м; ряды аналогичны однорядной посадке	26-30	10-12



**Рис. 7.2.** График снижения уровня звука при удалении от источника шума:

1 – транспортные потоки с интенсивностью движения  $n \leq 500$  ед/ч, внутриквартальные источники шума, трансформаторные подстанции; 2 – транспортные потоки с интенсивностью движения  $n > 500$  ед/ч, железнодорожные поезда.

## 7.2. Архитектурно-планировочные методы борьбы с шумом

Проектирование планировки, застройки, озеленения и благоустройства необходимо вести, с самого начала принимая во внимание мероприятия по снижению шума. Так, при районном планировании решается вопрос размещения аэропортов, магистральных транспортных коммуникаций, источников промышленных шумов. На стадии разработки генерального плана города должно уделяться внимание сокращению числа источников шума и ограничению территории их распространения. На стадии проектирования жилых районов и микрорайонов необходимо решать планировочную и объемно-пространственную композицию застройки и благоустройства с учетом эффективного использования шумозащитных мероприятий, конструкций и сооружений.

В 80-е годы прошлого века большая работа была проведена по созданию шумовых карт по магистралям городов. В последние годы в связи с огромным ростом автомобильного движения, а также в связи с прокладкой новых магистральных автодорог эти карты утратили свое значение. Однако принцип их составления остался прежним. И необходимость в пересмотре этих карт и создания новых возрастает.

Решение проблем защиты от шума в городах и населенных пунктах производится тремя методами:

1. В источнике шума – инженерно-технические и административные методы.
2. По пути распространения шума в городской среде от источника до защищаемого объекта – градостроительные и строительно-акустические.

3. В объекте шумозащиты – конструктивно-строительные (повышение звукоизолирующих качеств ограждающих конструкций зданий и сооружений) и объемно-планировочные.

Инженерно-технические и административные методы борьбы с шумом в источнике выходят за рамки компетенции инженера-архитектора.

По пути распространения шума в городе следует учитывать следующие рекомендации.

С точки зрения защиты от шума (так же как и с экологической, функциональной и др.) при проектировании населенных мест необходимо четкое деление территории по функциональному использованию на зоны: селитебную, промышленную, коммунально-складскую и внешнего транспорта. Три последние зоны являются источниками шума. Поэтому при проектировании селитебной зоны следует обеспечивать выполнение норм допустимого шума. В пределах селитебной зоны возможно размещение промышленных предприятий, не создающих шум, превышающий нормативные уровни, и не требующих устройства подъездных железнодорожных путей. Промышленные и коммунально-складские зоны, рассчитанные на большие потоки грузов по транспортным магистралям, не должны расчленять селитебные зоны на части и вклиниваться в них.

Таблица 7.9

Минимально допустимые расстояния

Уровень звука на границе промышленного предприятия, дБА	Минимальное расстояние от границы промышленного предприятия с технологическими процессами, м												
	с 7 до 13 ч.									с 23 до 7 ч.			
	до больниц и санаториев	до жилых зданий, домов отдыха, пансионатов, детских дошкольных учреждений и школ-интернатов	до гостиниц и интернатов	до других общественных зданий с допустимыми уровнями звука в помещениях, дБА						до больниц и санаториев	до жилых зданий, домов отдыха, пансионатов, детских дошкольных учреждений и школ-интернатов	до гостиниц и интернатов	
35				40	45	50	55	60					
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-
45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	-	-
50	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	15	-
55	25	-	-	15	-	-	-	-	-	-	95	25	15
60	50	15	-	25	15	-	-	-	-	-	170	50	25
65	95	25	15	50	25	15	-	-	-	-	310	95	50
70	170	50	25	95	50	25	15	-	-	-	565	170	95
75	310	95	50	170	95	50	25	15	-	-	1030	310	170
80	5665	170	95	310	170	95	50	25	15	-	1870	5665	310
85	1030	310	170	565	310	170	95	50	25	-	5000	1030	565
90	1870	565	310	1030	565	310	170	95	50	-	9700	1870	1030

Значительное снижение шума в жилой застройке может быть обеспечено строгим соблюдением требований СНиП по планировке и застройке городов и других населенных мест, касающихся расстояний до границ промышленных предприятий, являющихся источниками внешнего шума (табл.7.9).

Новые аэропорты и аэродромы необходимо размещать за пределами городов и других населенных пунктов. Наименьшее расстояние от границ аэродрома до границ селитебной территории следует принимать по табл. 7.10. Возможность сокращения этих расстояний должна быть обеспечена проведением специальных организационно-технических мероприятий (например, сокращение ночных полетов), а также применением шумозащитных жилых зданий. Эта возможность должна быть подтверждена акустическими расчетами.

**Таблица 7.10**

Наименьшие расстояния от границ аэродромов до границ селитебных территорий

Направление оси взлетно-посадочной полосы относительно населенного пункта	Трасса полета самолетов относительно населенного пункта	Расстояние в зависимости от класса аэродрома, км				
		I и вне-классный	II	III	IV	V
Пересекает	Пересекает	30	23	17	12	8
То же	Не пересекает	16	15	15	15	7
Не пересекает	То же	12	11	11	3	2

Минимальные расстояния до границ территории морских и речных портов, до новых железнодорожных линий и станций, до автомобильных дорог при отсутствии специальных средств шумоглушения, принимаются по табл. 7.11.

Целесообразно предусматривать совмещение трасс железных и автомобильных дорог. Территории жилых районов и зон отдыха не должны пересекаться скоростными дорогами и дорогами для грузового транспорта. Если без этого обойтись нельзя, то такие дороги следует размещать в выемках, туннелях и на эстакадах. Последние должны быть оборудованы шумозащитными экранами.

При проектировании сети улиц следует предусматривать максимально возможное укрупнение междемагистральных территорий, уменьшение числа перекрестков, замену их Т-образными примыканиями, устройство плавных криволинейных сопряжений улиц. Трассировка проездов должна не допускать сквозного проезда автомобилей через территорию микрорайона. При трассировке магистралей следует использовать шумозащитные свойства рельефа местности. Шумозащитное зонирование междемагистральной селитебной территории показано на рис.7.3. Жилую застройку, детские дошкольные учреждения, школы, учреждения здравоохранения, дома-интернаты для престарелых необходимо размещать в зонах, наиболее удаленных от источников шума.

## Минимальные расстояния селитебной территории от границ источников шума

Источник шума	Минимальное расстояние, м
Территория морских и речных портов при отсутствии средств шумоглушения: - пассажирских - грузовых районов порта	100 300
Новые железнодорожные линии (новое жил. строительство). Новые жел-дор. станции: - I и II категорий - III и IV категорий - станционные пути	200 150 100
Автомобильные дороги при отсутствии специальных средств шумозащиты: - I и II категорий - III и IV категорий до границ земельных участков санаторно-курортных учреждений, больниц и домов отдыха от автомобильных дорог: - I и II категорий - III и IV категорий	200 100 500 250

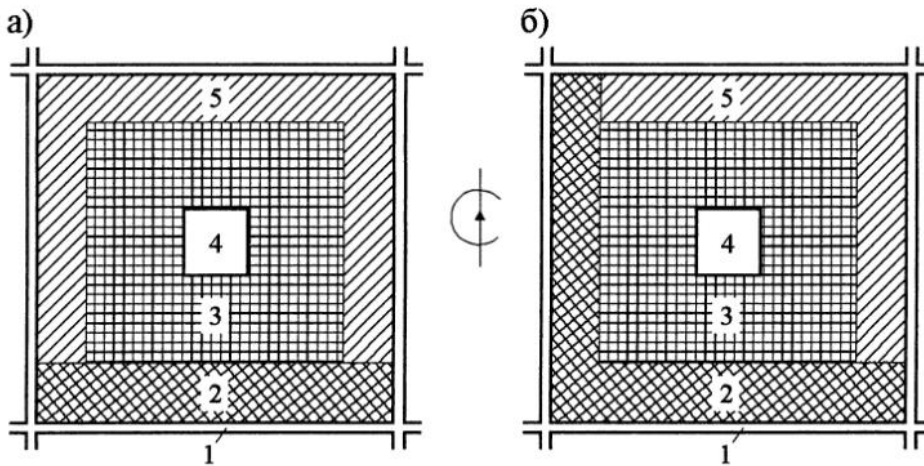
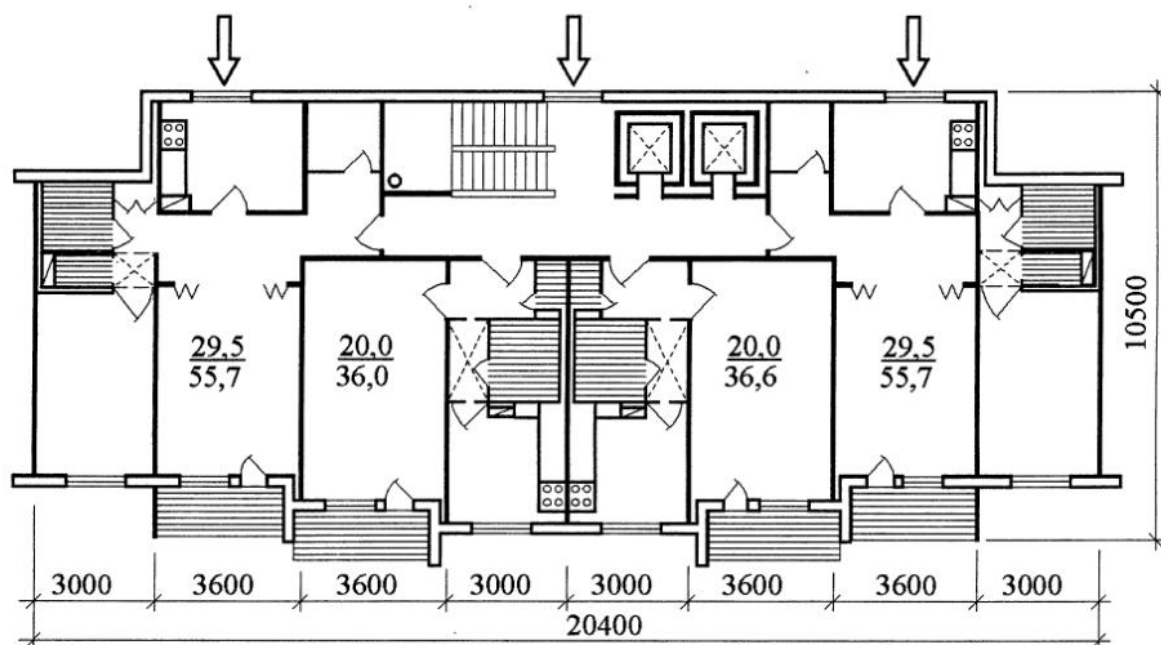


Рис. 7.3. Шумозащитное зонирование межмагистральной селитебной территории (жилого района, микрорайона, жилого комплекса) в I и II (а) и III и I (б) строительно-климатических районах:

1 – городская магистраль; 2 – зона экранирования транспортного шума зданиями нежилого назначения, шумозащитными жилыми домами с шумозащитными окнами или специальными экранами; 3 – зона жилой застройки типовыми домами массового строительства; 4 – зона школ, детских садов и яслей; 5 – зона экранирования транспортного шума шумозащитными жилыми домами со специальным архитектурно-планировочным решением

При разноэтажной застройке следует увеличивать этажность по мере продвижения в глубину межмагистральной территории. Здания торговых общественных центров и блоков обслуживания, размещаемые на границах микрорайонов вдоль транспортных магистралей, целесообразно объединять в единые протяженные шумозащитные комплексы. При необходимости разме-

щения жилой застройки на границе микрорайонов вдоль транспортных магистралей следует располагать специальные шумозащитные здания. Пример четырехквартирной секции такого дома приведен на *рис. 7.4*. Такие дома имеют ограничения при расположении относительно магистрали. Например, секция, показанная на *рис. 7.4*, по условиям инсоляции не может применяться для двусторонней застройки магистрали, проходящей в широтном направлении.



**Рис. 7.4.** Четырехквартирная секция 9-12-этажного жилого дома-экрана

Рекомендуется применять такие композиционные приемы группировки жилых зданий, которые создавали бы замкнутое пространство территории микрорайонов. Не рекомендуется раскрытие пространства микрорайона в сторону источников шума. Например, постановка жилых зданий торцами к магистральной улице значительно расширяет зону акустического дискомфорта (*рис. 7.5*). Поэтому наиболее целесообразным решением является застройка магистралей протяженными зданиями-экранами, препятствующими распространению звука вглубь застройки. Экранами могут быть также искусственные и естественные элементы рельефа местности (выемки, земляные кавальеры, насыпи, холмы и др.), а также различные сооружения (подпорные ограждающие и специальные шумозащитные стены и др.).

Уменьшение уровня шума за экранами определяется их размерами, расстоянием до экрана от источника шума и расчетной точки, положением расчетных точек по отношению к верху экрана, а также соотношением длин звуковых волн и экрана. Вследствие явления дифракции звуковые волны огибают экран, поэтому за экраном всегда будет слышен шум того или иного уровня.

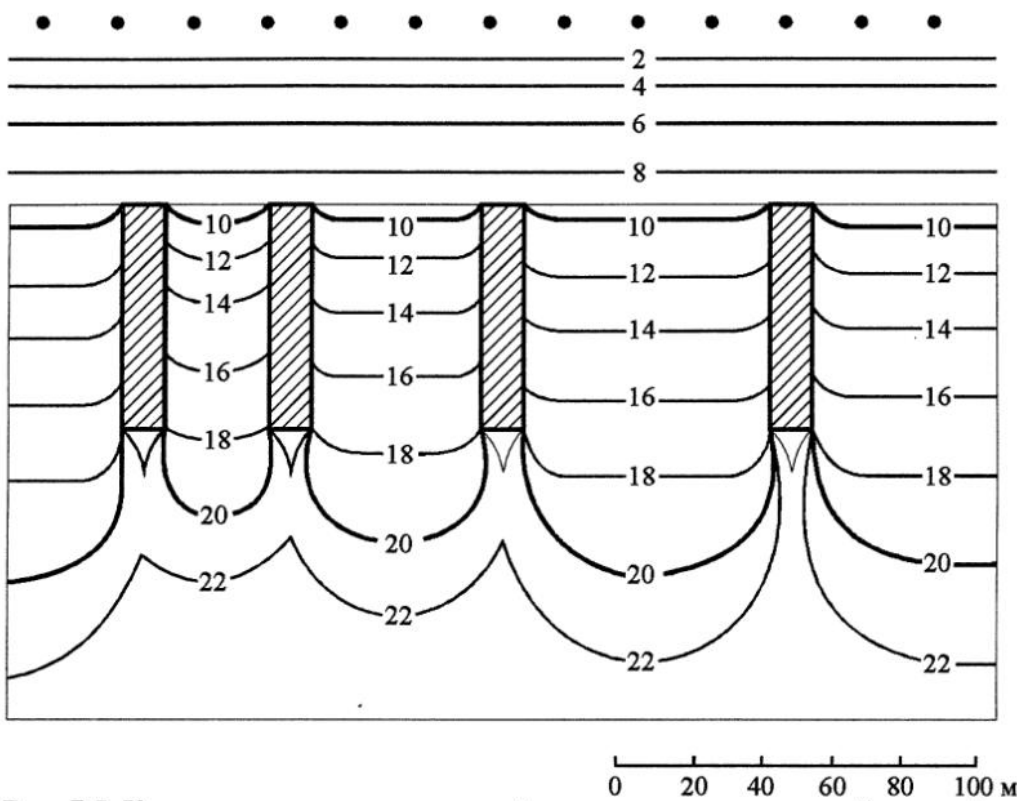


Рис. 7.5. Карта шума примагистральной территории для строчной застройки.

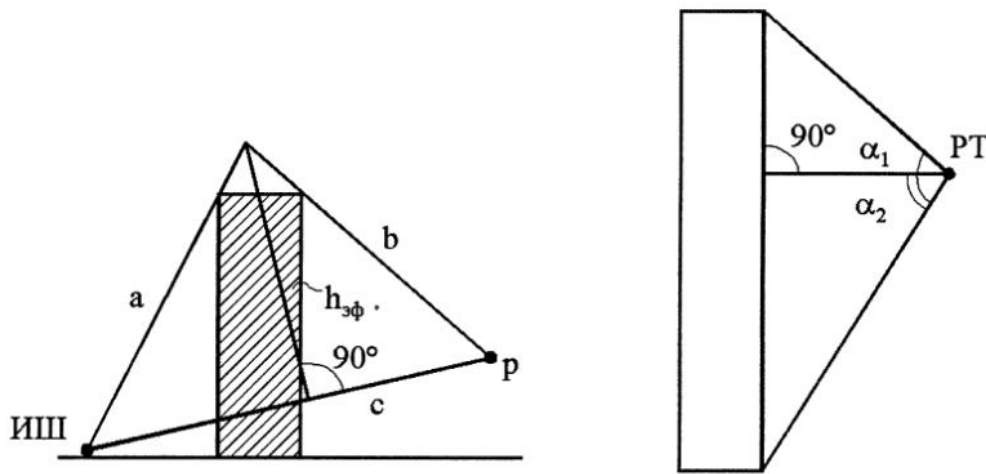


Рис. 7.6. Определение снижения уровня звука зданием

Точный расчет снижения шума экранами достаточно сложен. Поэтому на практике применяют инженерный метод расчета, который кратко может быть изложен следующим образом:

1. Вычерчивают в масштабе поперечный разрез и план места расположения источника шума, экрана и расчетной точки (рис. 7.6). При этом источник располагается на наиболее удаленной полосе движения транспорта на высоте 1 м от поверхности дорожного покрытия.
2. Определяют расстояния  $a$ ,  $v$ ,  $c$  и  $\delta = (a + v) - c$ .
3. По табл. 7.12 определяют снижение уровня шума экраном  $L'_{\text{Аэкр}}$ .
4. Определяют углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  (см. рис. 7.6) при принятой длине экрана.

5. По табл. 7.13 определяют снижение уровня шума  $L_{Aэкp1}$  и  $L_{Aэкp2}$  с коррективкой по углам  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ .
6. Определяют разность  $L_{Aэкp1}$  и  $L_{Aэкp2}$ .
7. По табл. 7.14 определяют поправку  $\Delta$  (дБА), прибавляемую к меньшей величине  $L_{Aэкp\alpha_1}$  или  $L_{Aэкp\alpha_2}$ :

$$L_{Aэкp} = L_{Aэкp\alpha_1} + \Delta$$

или

$$L_{Aэкp} = L_{Aэкp\alpha_2} + \Delta$$

(7.11)

**Таблица 7.12**

Снижение уровня звука, дБА, экраном в зависимости от  $\delta$

Разность длин путей прохождения звукового луча $\delta$ , м	Снижение уровня звука экраном $\Delta L'_{Aэкp}$ , дБА	Разность длин путей прохождения звукового луча $\delta$ , м	Снижение уровня звука экраном $\Delta L'_{Aэкp}$ , дБА
0,005	6	0,48	16
0,02	8	0,83	18
0,06	10	1,4	20
0,14	12	2,4	22
0,28	14	6,0	24

**Таблица 7.13**

Снижение уровня звука, дБА, экраном в зависимости от  $\Delta L'_{Aэкp}$  и углов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$

$\Delta L'_{Aэкp}$ , дБА	Снижение уровня звука экраном, дБ, при углах $\alpha_1$ и $\alpha_2$ , град								
	45	50	55	60	65	70	75	80	85
6	1,2	1,7	2,3	3,0	3,8	4,5	5,1	5,7	6,0
8	1,7	2,3	3,0	4,0	4,8	5,6	6,5	7,4	8,0
10	2,2	2,9	3,8	4,8	5,8	6,8	7,8	9,0	10,0
12	2,4	3,1	4,0	5,1	6,2	7,5	8,8	10,2	11,7
14	2,6	3,4	4,3	5,4	6,7	8,1	9,7	11,5	13,3
16	2,8	3,6	4,5	5,7	7,0	8,6	10,4	12,4	15,0
18	2,9	3,7	4,7	5,9	7,3	9,0	10,8	13,0	16,8
20	3,2	3,9	4,9	6,1	7,6	9,4	11,3	13,7	19,7
22	3,3	4,1	5,1	6,3	8,9	9,8	11,9	14,5	20,7
24	3,5	4,3	5,8	6,5	8,2	10,2	12,6	15,4	22,6

**Таблица 7.14**

Поправка  $\Delta$  в зависимости от разности

Разность между $\Delta L'_{Aэкp\alpha_1}$ и $\Delta L'_{Aэкp\alpha_2}$	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Поправка $\Delta$ , дБА	0	0,8	1,5	2	2,4	2,6	2,8	2,9	3	3	3	3



*Пример.* Рассчитать снижение уровня шума зданием, являющимся экраном для расчетной точки  $P$ .

Расстояния  $a$ ,  $b$  и  $c$  соответственно равны 53, 48 и 61 м.  $\delta = (53 + 48) - 61 = 40$  м. По табл. 7.12 находим  $\Delta L'_{A_{экp}} = 24$  дБА (при значениях  $\delta > 6$  принимаем максимальную величину  $\Delta L'_{A_{экp}}$ ).

В плане углы  $\alpha_1 = 45^\circ$ ,  $\alpha_2 = 65^\circ$ . По таблице 7.13 находим корректировку по углам в плане  $\Delta L_{A_{экp}} \alpha_1 = 3,5$  дБА;  $\Delta L_{A_{экp}} \alpha_2 = 8,2$  дБА. Разность этих величин равна:  $8,2 - 3,5 = 4,7$  дБА. По табл. 7.14 по разности 4,7 дБА находим поправку  $\Delta = 1,7$  дБА, которую прибавляем к меньшей из корректировочных величин  $\Delta L_{A_{экp}} \alpha_1 = 3,5$  дБА;  $\Delta L_{A_{экp}} = 1,7 + 3,5 = 5,2$  дБА.

Увеличим длину экранирующего дома так, чтобы  $\alpha_1 = \alpha_2 = 70^\circ$ . В этом случае:

$\Delta L_{A_{экp}} \alpha_1 = \Delta L_{A_{экp}} \alpha_2 = 10,2$  дБА. Разность этих величин равна 0. По табл. 7.15 находим поправку, которая в нашем случае равна 0. Таким образом, снижение уровня шума при измененных условиях составит 10,2 дБА, что примерно в два раза превышает снижение уровня шума в предыдущем случае.

Таким образом, увеличение длины здания – экрана значительно улучшает шумовой режим в экранируемой зоне.

*Пример.* Рассчитать снижение уровня шума за шумозащитной стенкой, проходящей вдоль автомагистрали.  $a = 15$  м;  $b = 50$  м;  $h_{эфф.} = 3,0$  м.  $\alpha_1 = 85^\circ$  и  $\alpha_2 = 85^\circ$ .

$a = \sqrt{15^2 + 3^2} = 15,3$  м;  $b = \sqrt{50^2 + 3^2} = 50,09$  м;  $\delta = a + b - c = 0,39$  м. По таблице 7.13 при  $\delta = 0,39$ ,  $\Delta L'_{A_{экp}} = 15$  дБА.

При  $\alpha_1 = \alpha_2 = 85^\circ$ , по табл. 7.14  $\Delta L_{A_{экp}} = 14,6$  дБА.

Если бы не было экрана, то снижение уровня шума от автодороги только за счет расстояния от нее составило бы  $\Delta L_{Ap} = 10 \lg (r/r_0) = 10 \lg (15+50)/7,5 = 9,38$  дБА.

При 6-полосном скоростном движении на автодороге эквивалентный уровень шума составляет 86 дБА. Шумозащитный экран позволяет снизить этот уровень до  $86 - 14,6 = 71,4$  дБА, что примерно соответствует шуму во внутриворотовом пространстве при разгрузке товаров, работе мусороуборочной машины или играх детей, соответственно 70, 71 и 74 дБА и соответствует определению «громко» по шкале ощущений (см. рис. 6.7).

*Пример.* Рассчитать высоту шумозащитного экрана  $h_{эфф.}$  для снижения в два раза уровня шума от дороги грузового двухполосного движения ( $L_{A_{экв.}} = 79$  дБА) на расстоянии  $b = 15$  м от экрана. Шум не должен попадать в окно второго этажа. Стена должна располагаться на расстоянии  $a = 7$  м от источника. Схема ситуации в разрезе представлена на рис. 7.7.

По этому разрезу, вычерченному в масштабе, определяем величины параметров:

$$a = \sqrt{7^2 + 3^2} = 7,61 \text{ м;}$$

$$b = \sqrt{15^2 + (5,6 - 3)^2} = 15,22 \text{ м;}$$

$$c = \sqrt{(7 + 15)^2 + 5,6^2} = 22,70 \text{ м;}$$

$$\delta = 7,61 + 15,22 - 22,70 = 0,13 \text{ м.}$$

По табл. 7.12 при  $\delta = 0,13$   $\Delta L'_{A_{экp}} = 11,75$  дБА.

По табл. 7.13 при  $\Delta L'_{A_{экp}} = 11,75$  дБА и  $\alpha_1 = \alpha_2 = 85^\circ$ ,  $L_{A_{экp}} = 11,5$  дБА.

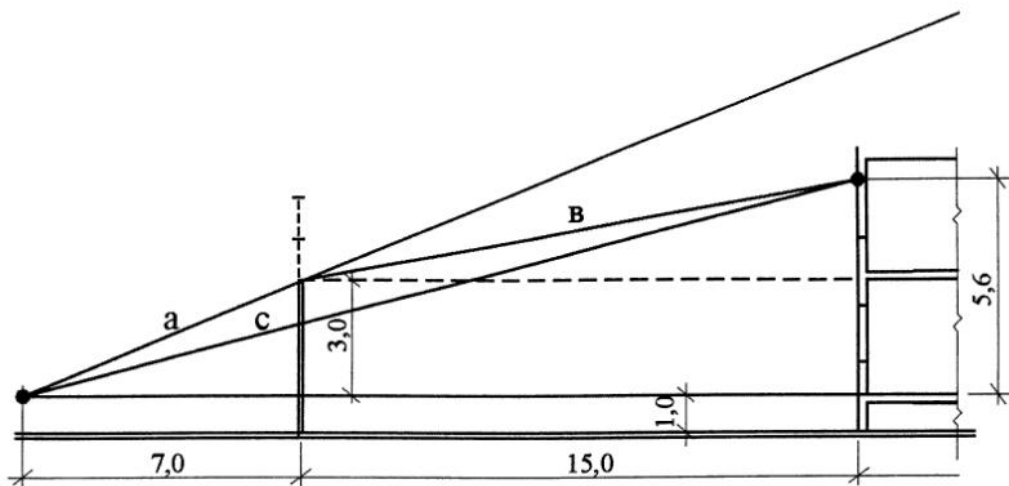


Рис. 7.7

Это означает, что в расчетной точке М воспринимаемая ухом шумовая нагрузка будет снижена более чем в 2 раза. Уровень шума в ней составит  $79 - 11,5 = 67,5$  дБА. По шкале ощущений (см. рис. 6.7) это оценивается между «умеренно громко» и «громко». При устройстве остекления в виде однокамерного стеклопакета в пластмассовых переплетах снижение уровня шума в помещении составит около 30 дБА. При нормативном уровне шума в ночное время в помещениях гостиниц, равном 30 дБА, снижение уровня шума шумозащитной стенкой высотой  $3 + 1 = 4$  м (рис. 7.6) и остеклением в виде однокамерного стеклопакета в пластмассовых переплетах составит  $11,5 + 30 = 41,5$  дБА. То есть уровень шума в помещении будет  $79 - 41,5 = 37,5$  дБА, что выше нормы.

Определим требуемую высоту шумозащитной стены.

Требуемое снижение уровня шума стеной составляет:

$$\Delta L_{\text{Аэкр}}^{\text{треб}} = 79 - 30 - 30 = 19 \text{ дБА.}$$

Расчет проводим в обратном порядке.

По табл. 7.14 при  $\Delta L'_{\text{Аэкр}} = 19$  дБА и  $\alpha_1 = \alpha_2 = 85^\circ$ ,  $\Delta L_{\text{Аэкр}} = 19,52$  дБА.

По табл. 7.13 при  $\Delta L'_{\text{Аэкр}} = 19,52$  дБА,  $\delta = 1,26$  м.

С некоторым запасом считаем, что величина  $b$  изменяется незначительно по сравнению с величиной  $a$ . Поэтому:

$$a + 15,22 - 22,70 = 1,26$$

$$a = 8,74 \text{ м.}$$

$$a = \sqrt{7^2 + h_1^2} = 8,74$$

$$h_1 = 5,23 \text{ м.}$$

То есть полная высота шумозащитной стены должна быть  $5,23 + 1 = 6,23$  м.

Это потребует серьезных материальных затрат. Поэтому в качестве альтернативы следует изучить возможность применения двухкамерных стеклопакетов в окнах, которые снижают уровень шума в помещении на 33 дБА, и устройства шумозащитной стены меньшей высоты.

Аналогичный расчет показывает, что высота стены в этом случае должна составлять 5,13 м.

## 8. АРХИТЕКТУРНАЯ АКУСТИКА

В современных театрально-концертных залах и кинотеатрах широко применяются средства электронной акустики, позволяющие создать в зале объемный звук, четкое понимание речи, богатое звучание музыкальных произведений. При этом обязательно следует принимать во внимание акустические качества помещений, которые в значительной степени влияют на качество звука. Первое, что при этом приходит на ум архитекторам, – это полностью «заглушить» зал, т. е., сделать так, чтобы отражение поверхностей зала было бы минимальным, а поглощение – максимальным. Все остальное должна обеспечить электронная акустика.

Однако лучшие образцы архитектурной акустики залов всегда основывались на естественной акустике. В Москве к лучшим в акустическом отношении залам относится Большой зал консерватории. Настоящим шедевром архитектурной (естественной) акустики является Египетский павильон Останкинского дворца-музея, в котором раньше устраивались концерты старинной музыки. Все лучшие современные концертные залы Европы, Америки и Австралии имеют прекрасную естественную акустику, которая лишь в незначительной степени дополняется средствами усиления звука.

В главе 6 уже рассматривались такие свойства ограждающих конструкций помещений, как отражение и поглощение звука. Коэффициент звукопоглощения ( $\alpha$ ) зависит от материала конструкции, частоты звуковых волн и от угла их падения на поверхность. Свойство материалов поглощать звук обусловлено тем, что при попадании звуковых волн на их поверхности воздух в их порах начинает колебаться. Из-за большого трения, обусловленного вязкостью воздуха и малым сечением пор, происходит потеря звуковой энергии, которая превращается в тепловую.

Обычные строительные материалы имеют невысокие значения  $\alpha$ ; например, на частоте 500 Гц у бетона  $\alpha = 0,01$ . Это значит, что 99% звуковой энергии отражается от поверхности бетона и только 1% поглощается. У оштукатуренной стены  $\alpha = 0,02$ , у линолеума  $\alpha = 0,03$ , у паркетного пола  $\alpha = 0,07$ . Специальные ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ (ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛИ) имеют коэффициент звукопоглощения в 10-15 раз больше.

Суммарное звукопоглощение в помещении ( $A_{общ}$ ) определяется как сумма произведений коэффициентов звукопоглощения отдельных поверхностей на их площади. Кроме того, учитывается звукопоглощение ( $A$ ) отдельными объектами (людьми, предметами обстановки и т.п.):

$$A_{общ} = \sum \alpha_i S_i + \sum A. \quad (8.1)$$

Произведение  $A = \alpha \cdot S$  называется ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ПЛОЩАДЬЮ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ поверхности. Полное поглощение звука возможно при  $\beta = 0$  (нет отражений) или когда разность волновых сопротивлений двух

сред – преграды и воздуха, равна нулю. Следовательно, полное проникновение звука из одной среды в другую при нормальном падении звука возможно лишь в том случае, если эти среды обладают одинаковыми волновыми сопротивлениями, или ИМПЕДАНСАМИ. Физически импеданс представляет собой отношение звукового давления на поверхности к нормальной составляющей скорости звука около нее.

## 8.1. Методы расчета звукового поля

Существует три метода расчета параметров звукового поля, которые основаны на волновой, геометрической и статистической акустике.

Теория волновой акустики рассматривает два режима колебаний воздушного объема: один – как собственные затухающие, другой – как вынужденные под действием какого-либо источника.

В декартовых координатах  $x$ ,  $y$ ,  $z$  волновое уравнение для трехмерного пространства имеет вид:

$$\frac{d^2 p}{dx^2} + \frac{d^2 p}{dy^2} + \frac{d^2 p}{dz^2} = \frac{1}{c^2} \frac{d^2 p}{dt^2}. \quad (8.2)$$

где  $p$  - звуковое давление в среде;  $c$  – скорость звука;  $t$  – время.

Расчет звукового давления, особенно в области средних и высоких частот, звукового поля в помещении этим методом весьма затруднителен и невозможен без использования специальных программ для ЭВМ.

В геометрической акустике при рассмотрении отражения звуковых волн от поверхностей помещения используется понятие ФРОНТ ВОЛНЫ и ЗВУКОВЫЕ ЛУЧИ (линии, перпендикулярные фронту волны во всех его точках), которые указывают направление распространения волны. Геометрическая акустика позволяет провести анализ формы помещения, например зала, на предмет выявления различных акустических дефектов. Такое построение распространения звуковых лучей называется ЛУЧЕВЫМ ЭСКИЗОМ (рис. 8.1). Среди акустических дефектов одним из важнейших является превышение предельного запаздывания первых отражений звука, которое воспринимается в помещении как эхо. Определение запаздывания первого отражения от какой-либо поверхности согласно схеме на рис.8.2 производится по формуле

$$t = (l_1 + l_2 + l_3) / 360 \leq 0,05 \text{ с}, \quad (8.3)$$

где 360 м/с – скорость звука в воздухе.

Если время запаздывания больше или равно значению 0,05 с, то прямой и отраженный звук воспринимаются отдельно. Возникает эхо.

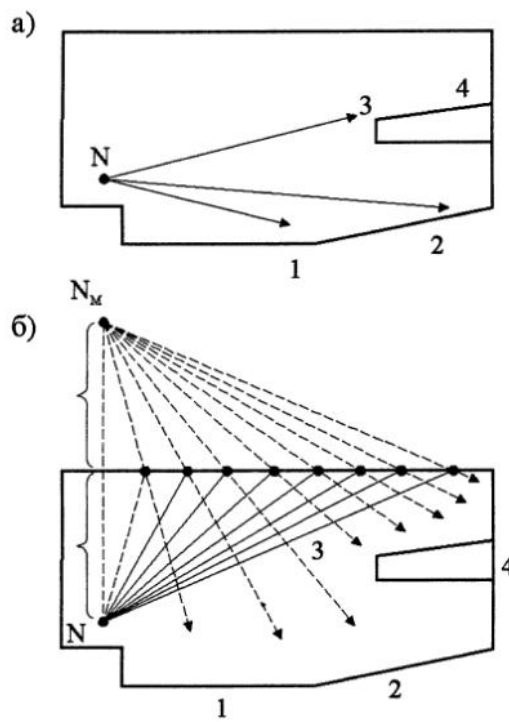


Рис. 8.1. Распространение прямых (а) и отраженных (б) звуковых лучей

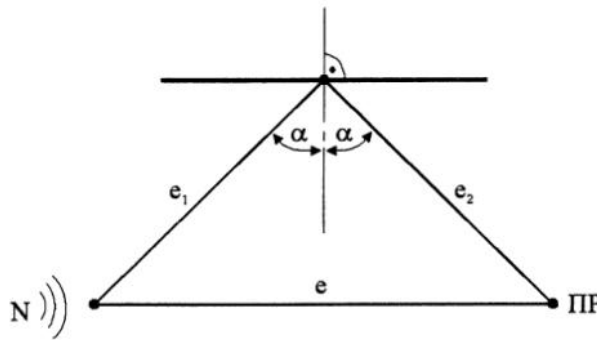
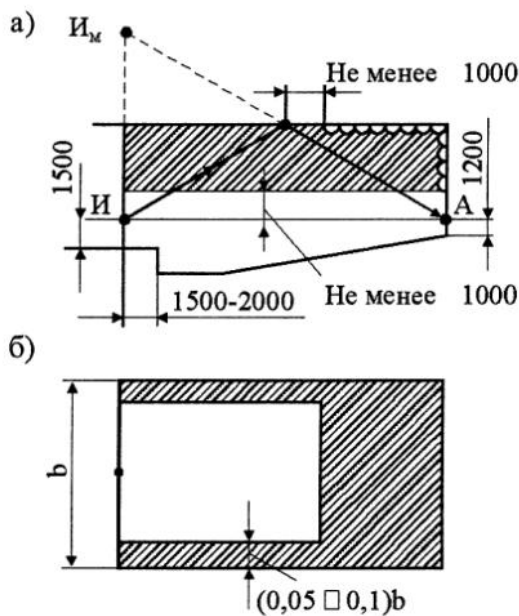


Рис. 8.2

Вопросы выбора критериев для оценки акустики залов еще являются предметом исследований. Поэтому в архитектурном проектировании для практических целей получил распространение только один критерий геометрической акустики – разность времени прихода первого отражения по сравнению с прямым звуком и недопущение предельного запаздывания. Плоскости на лучевом эскизе, отражение от которых приходит к слушателям позднее времени предельного запаздывания, должны обрабатываться звукопоглотителями. Как правило, это задние поверхности помещения – стены и потолок (рис.8.3). Промежутки времени между следующими отражениями также не должны превышать этих значений.

Допустимость применения геометрической акустики зависит от длины звуковой волны, размеров отражающей поверхности и ее расположения по отношению к источнику звука и точке приема. Отражение звуковых волн можно считать направленным, если наименьший размер отражающей поверхности не



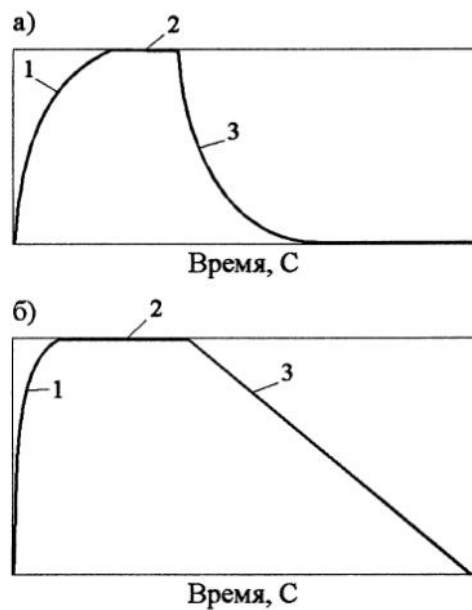
**Рис. 8.3.** Рекомендуемые зоны размещения звукопоглотителей в зале (заштрихованы):  
а – на стенах, б – на потолке

менее чем в 1,5 раза превышает длину волны. При невыполнении этого условия звуковые волны рассеиваются и построение отраженных звуковых лучей теряет смысл. Для криволинейных поверхностей наименьший радиус кривизны должен быть не менее чем в два раза больше длины волны. Кроме того, геометрическая акустика справедлива лишь в случае независимости коэффициента отражения от угла падения звукового луча.

В помещении через каждую точку объема одновременно проходит большое количество отраженных звуковых волн, распространяющихся по всевозможным направлениям. Статистическая акустика предполагает, что направления, амплитуды и фазы налагающихся друг на друга колебаний (волн) распределены хаотически, что дает возможность считать, что плотность энергии в каждой точке есть сумма плотностей энергии каждой из этих волн, т.е. применять метод энергетического суммирования.

Таким образом, статистическая теория акустики основана на предположении, что в помещении под действием источника звука возникает звуковое поле, близкое к ДИФФУЗНОМУ, характеризуемое тем, что во всех точках поля усредненные во времени уровень звукового давления и поток звуковой энергии по любому из направлений постоянны. Это звуковое поле ослабляется звукопоглощением, которое определяется величиной СРЕДНЕГО КОЭФФИЦИЕНТА ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ  $\alpha_{ср} = A_{общ.} / S_{общ.}$ , где  $S_{общ.}$  – суммарная площадь ограждающих поверхностей.

На рис. 8.4 представлена кривая нарастания и затухания средней плотности звуковой энергии в помещении. Процесс затухания звука после выключения источника называется РЕВЕРБЕРАЦИЕЙ. Время, в течение которого происходит затухание звука, называется ВРЕМЕНЕМ РЕВЕРБЕРАЦИИ. Этот процесс происходит вследствие многократных отражений звуковых волн от ограждающих поверхностей. Затухание принято от максимального до в  $10^6$  раз меньшего



**Рис. 8.4.** Нарастание звука и реверберация в закрытом помещении:

а – изменение плотности звуковой энергии; б – изменение уровня плотности звуковой энергии;  
 1 – процесс нарастания; 2 – стационарное состояние; 3 – реверберация

(или уменьшение уровня звукового давления на 60 дБ). Время реверберации определяется по формуле

$$T = 0,163 \frac{V}{A_{\text{общ}}} . \quad (8.4)$$

Эта формула выводится из дифференциального уравнения, описывающего режим динамического равновесия, при величине мощности, излучаемой источником, равной нулю. Вывод формулы приведен в книге С.Д.Ковригина (см. список литературы). Время реверберации характеризует качество звучания музыки и разборчивость речи в помещении. Поэтому оно принято в качестве еще одного критерия акустики помещений при практических расчетах и проектировании.

Чем больше помещение, тем больше и средняя длина пробега звуковой волны:

$$L_{\text{ср}} = 4V / S_{\text{общ}} . \quad (8.5)$$

Следовательно, число отражений будет меньше и процесс затухания звука будет происходить медленнее. Особенно велико время реверберации в помещениях большого объема с ограждающими поверхностями, имеющими невысокие коэффициенты звукопоглощения. Такие помещения будут гулкими. При уменьшении объема помещений увеличивается число отражений от поверхностей, и, если они будут иметь большие коэффициенты звукопоглощения, затухание звука будет происходить быстро (время реверберации мало) и помещения будут глухими.

Формула (8.4) используется при значениях  $\alpha_{\text{ср}} < 0,2$ . При  $\alpha_{\text{ср}} > 0,2$  расчеты следует производить по формуле:

$$T = 0,163 \frac{V}{S_{\text{общ}} \varphi(\alpha_{\text{ср}})} . \quad (8.6)$$

## 8.2. Расчет времени реверберации

Для определения времени реверберации в помещении необходимо определить его объем  $V$ , м<sup>3</sup>, суммарную площадь ограничивающих помещения поверхностей  $S_{общ.}$ , м<sup>2</sup>, эквивалентную площадь звукопоглощения  $A_{общ.}$ , м<sup>2</sup>. Эта величина определяется обычно при 70% заполнении зала для трех частот: 125, 500 и 2000 Гц.

Определяют  $A_{общ.}$  по формуле

$$A_{общ.} = \sum \alpha_i S_i + \sum A + \alpha_{доб} \cdot S_{общ.} \quad (8.7)$$

Здесь  $\sum \alpha_i S_i$  - сумма произведений коэффициентов звукопоглощения  $\alpha_i$  отдельных поверхностей на их площади, м<sup>2</sup> (значения  $\alpha$  даны в табл. прил. 8.1);  $\sum A$  - сумма эквивалентных площадей звукопоглощения зрителями и креслами, м<sup>2</sup> (табл. прил. 8.2);  $\alpha_{доб}$  - средний коэффициент добавочного звукопоглощения, учитывающий звукопоглотители, фактически существующие в залах (осветительная арматура, воздушные полости, соединенные с основным объемом зала, щели и решетки вентиляции и др.).

Средний коэффициент добавочного звукопоглощения в среднем может быть принят равным 0,08- 0,09 на частоте 125 Гц и 0,04-0,05 на частотах 500-2000 Гц. Для залов, в которых указанные условия сильно выражены, следует эти значения увеличить примерно на 30%, а в залах, где эти условия выражены слабо, примерно на 30% уменьшить.

После нахождения  $A_{общ.}$  определяют  $\alpha_{ср} = A_{общ.} / S_{общ.}$ . Если  $\alpha_{ср} < 0,2$ , то расчет времени реверберации следует производить по формуле (8.4). Если  $\alpha_{ср} > 0,2$ , то расчет следует вести по формуле (8,6), где  $-\ln(1 - \alpha_{ср}) = \varphi(\alpha_{ср})$  - функция среднего коэффициента звукопоглощения, значения которой приведены в табл. 8.1.

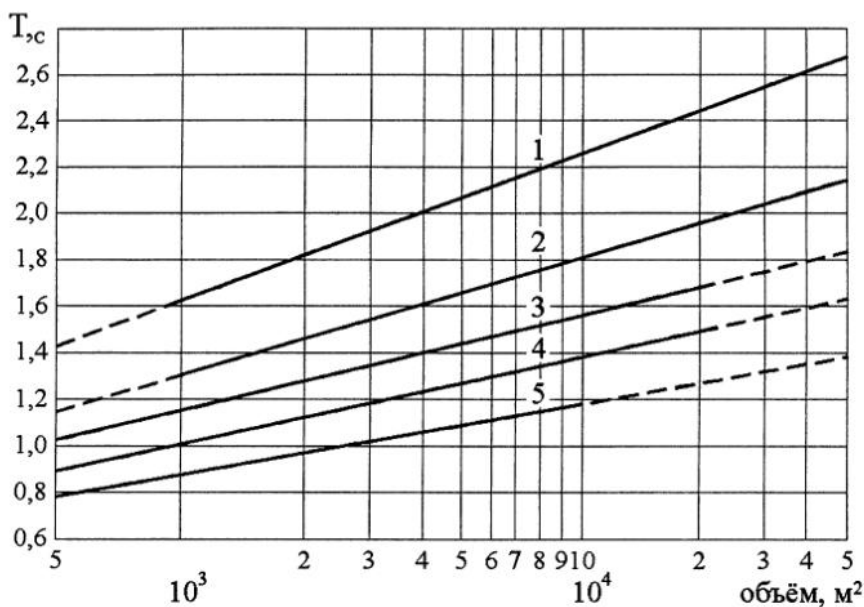
Таблица 8.1

Значения функции  $\varphi(\alpha_{ср}) = [-\ln(1 - \alpha_{ср})]$  в зависимости от  $\alpha_{ср}$

Десятые доли $\alpha_{ср}$	Сотые доли $\alpha_{ср}$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,1	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21
0,2	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34
0,3	0,36	0,37	0,39	0,40	0,42	0,43	0,45	0,46	0,48	0,49
0,4	0,51	0,53	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64	0,65	0,67
0,5	0,69	0,71	0,73	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84	0,87	0,89
0,6	0,92	0,94	0,97	0,99	1,02	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17
0,7	1,20	1,24	1,27	1,31	1,35	1,39	1,43	1,47	1,51	1,56
0,8	1,61	1,66	1,72	1,77	1,83	1,90	1,97	2,04	2,12	2,21

Пример. Для  $\alpha_{ср} = 0,39$  находим из таблицы  $\varphi(\alpha_{ср}) = 0,49$





**Рис. 8.5.** Зависимость оптимального времени реверберации на средних частотах (500-1000 Гц) для залов различного назначения от их объема:

1 – залы для ораторий и органной музыки; 2 – залы для исполнения симфонической музыки; 3 – залы для исполнения камерной музыки, залы оперных театров; 4 – залы многоцелевого назначения, залы музыкально-драматических театров, спортивные залы; 5 – лекционные залы, залы заседаний, залы драматических театров, кинозалы

Полученное время реверберации сравнивается с рекомендуемым (оптимальным) временем для данного типа зала и его объема (рис.8.5).

Время реверберации является одним из существенных критериев акустических качеств залов. Ценным в этом критерии является то, что физическое содержание этого критерия хорошо связано с субъективным ощущением гулкости помещения.

Экспериментальное определение времени реверберации в существующих залах производится с помощью стартового пистолета, являющегося источником звукового сигнала, и с помощью секундомера, являющегося измерительным прибором.

Простота экспериментального и аналитического определения времени реверберации в уже построенных или проектируемых залах также является немаловажным фактором того, что этот критерий принят архитекторами для проектирования естественной акустики залов.

### 8.3. Влияние формы залов и их отдельных поверхностей на их акустические качества

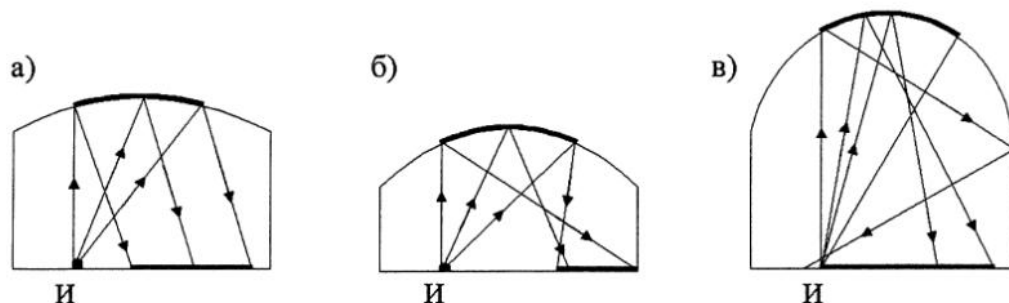


Рис. 8.6. Влияние радиуса кривизны  $r$  на характер отражения при различной высоте  $h$ :  
а – при  $h = r/2$ ; б – при  $h = r$ ; в – при  $h = 2r$

Оценка формы и размеров залов и их отдельных поверхностей с точки зрения акустики на стадии проектирования производится на основе геометрических построений. При этом очень важно определить применимость геометрических отражений для такой оценки. Применять метод геометрических отражений можно в том случае, когда длина звуковой волны, размеры отражающих поверхностей и их расположение относительно источников звука и зрителей имеют определенные параметры и их соотношения.

Например, в тех случаях, когда лучевая плоскость параллельна одной из плоскостей проекций, углы падения и отражения проектируются на эту плоскость без искажения и построение отраженного луча выполняется просто (см. п. 8.2). Если же лучевая плоскость не параллельна плоскости проекций, но ей параллельна нормаль в точке отражения, то проекции углов падения и отражения, как и в предыдущем случае, остаются равными и построение выполняется обычными приемами начертательной геометрии. Эти условия соблюдаются при условии, что наименьшая сторона отражателя не менее чем в 1,5 раза превышает длину волны. При равенстве длин волн и размеров отражателя и дальнейшем увеличении длин волн звуковая энергия при отражении рассеивается и построение отраженных звуковых лучей теряет смысл.

Лучевой эскиз зала строится на стадии проектирования, как уже было указано, для определения мест, в которых отраженный звук создает эхо. Это соответствует времени предельного запаздывания 0,05 с. За это время звук проходит расстояние 17 м. Поэтому эхо возможно только в достаточно больших помещениях. Однако и в небольших помещениях возможно так называемое «порхающее эхо». Это особенно заметно в только что отремонтированных пустых комнатах, где звуки сопровождаются шелестящим эхо. Оно происходит за счет многократных отражений от противоположных параллельных стен с малым звукопоглощением. Для предупреждения «порхающего эха» необходимо увеличить звукопоглощение этих стен или хотя бы одной из них. Можно также отказаться от параллельных стен.

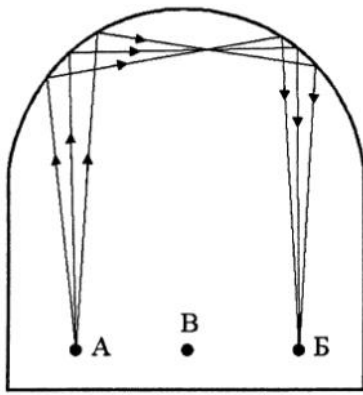


Рис. 8.7. Схема двойного фокусирования

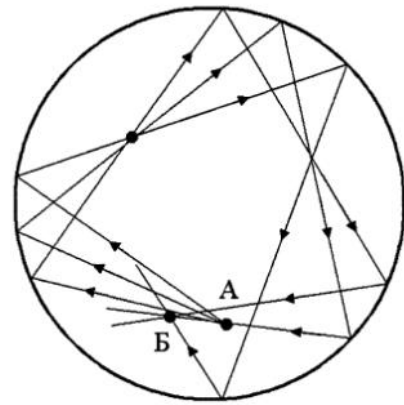


Рис. 8.8. Распространение звука в круглом зале

Акустические дефекты могут наблюдаться в помещениях с вогнутыми или сводчатыми поверхностями. Эти поверхности могут быть концентраторами звука. На рис. 8.6 показаны схемы помещений при различном соотношении радиуса кривизны цилиндрического потолка и высоты помещения. Наибольшая концентрация звука имеет место, когда радиус кривизны близок к высоте помещения. Поэтому радиус кривизны должен быть значительно большим или меньшим высоты. Если радиус кривизны меньше длины волны на низких частотах, то концентрация звука будет происходить на средних и высоких частотах. Это приводит к искажению тембра звука.

На практике в некоторых архитектурных сооружениях встречаются случаи двойного фокусирования звука. Это имеет место, например, в часовне, построенной на месте «Битвы народов» под Аустерлицем (теперь г.Славков, Чехия). Человек, говорящий тихим голосом в точке А недалеко от стены, не слышен в точке В, но хорошо воспринимается слушателем в точке Б (рис. 8.7). Такой эффект можно наблюдать также на некоторых станциях метро.

На рис. 8.8 показано распространение звуковых лучей из точки А в круглом зале в плане. Несмотря на малые размеры зала (диаметр около 10 м), в нем наблюдается несколько фокусов, приводящих не только к неравномерному распределению звуковой энергии, но и даже к появлению в точке Б сильного эха. Акустическое качество залов с фокусированием всегда является неудовлетворительным из-за образования эха, неравномерного распределения отраженной звуковой энергии и из-за нарушения необходимого соотношения между прямой и отраженной звуковой энергией.

Лучевой эскиз зала позволяет проанализировать профиль отдельных поверхностей. Например, на рис. 8.9 показано рассеянное отражение звука от сложного профиля поверхности потолка или стены, что обеспечивает равномерное распределение отраженной звуковой энергии по помещению. Наличие ребер или пилястр (рис. 8.10) приводит к образованию зон, лишенных отражений. Такой акустический дефект имеет место в Большом зале Театра Российской армии в Москве. Он исправляется электроакустическими методами.

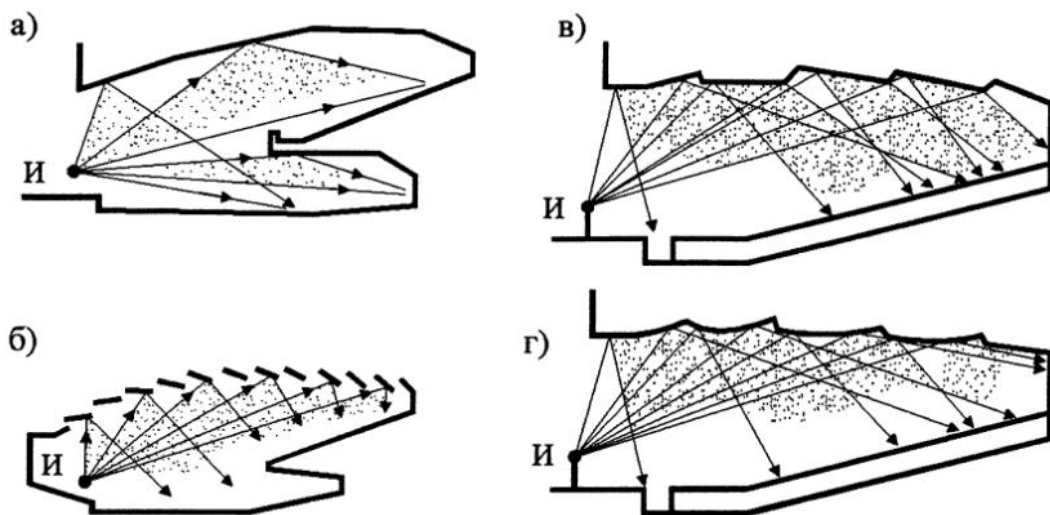


Рис. 8.9. Форма и профиль потолка, обеспечивающие необходимое отражение звука.

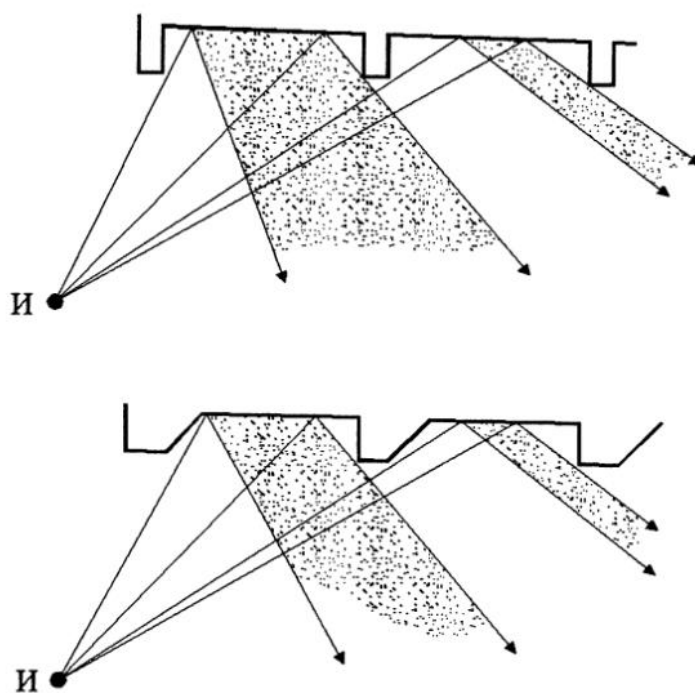


Рис. 8.10. Отражение звука от поверхности с ребрами или пилоэстрами

#### 8.4. Звукопоглощающие материалы и конструкции

Применяемые в практике звукопоглощающие отделочные материалы и конструкции по-разному поглощают звуки разной частоты. Звукопоглотители могут быть подразделены на четыре группы:

- пористые материалы;
- резонирующие панели;
- конструкции с перфорированным покрытием пористого материала;
- штучные поглотители.

Звукопоглотители могут быть ШИРОКОПОЛОСНЫЕ (интенсивное поглощение звука в широком диапазоне частот) и УЗКОПОЛОСНЫЕ (интенсивное звукопоглощение в узком диапазоне частот).

Звукопоглощение пористых материалов обусловлено вязким трением при движении воздуха в узких каналах и порах, внутренним трением при деформациях скелета материала, а также теплообменом между воздухом в порах и скелетом. Пористые материалы, как правило, поставляются в виде плит, которые крепят непосредственно к поверхности стен или потолка, или на отnose.

Основой зернистого пористого материала может служить минеральная крошка, гравий, пемза, каолин или шлак. В качестве вяжущего используют цемент или жидкое стекло. Такие материалы имеют достаточную механическую прочность и могут использоваться для непосредственной отделки стен.

Наибольшей степенью изоляции воздушного и ударного звука обладают пористо-волокнистые материалы со сквозной пористостью – маты и плиты из минерального и стеклянного волокна (диаметр волокна 5-7 мкм). Меньшей степенью – пористо-ячеистые материалы с замкнутыми порами: пенополивинилхлорид (ПВХЭ), пенополиуретан, пенополистирол и т.п.

Пористо-волокнистые материалы применяются в составе облицовки ограждающих конструкций или специальных акустических конструкций, например акустических подвесных потолков, где они весьма эффективны.

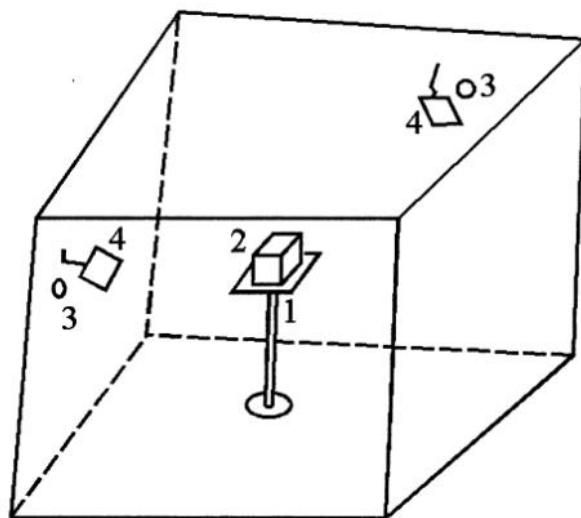
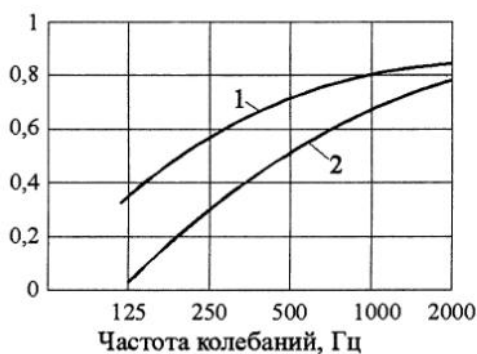


Рис. 8.11. Реверберационная акустическая камера. Стенки камеры не параллельны друг другу.  
1 – подставка, 2 – образец, 3 – микрофон, 4 – рассеиватель

Эффективность применения пористых звукопоглощающих материалов зависит от их физико-механических характеристик (динамического модуля упругости  $E_0$ , динамической жесткости  $S'$ , Н/м<sup>3</sup>). Эти характеристики обуславливают коэффициенты звукопоглощения этих материалов  $\alpha$ , которые являются важнейшим показателем звукоизолирующих качеств материалов. Кроме этого, важнейшим показателем является сопротивление материала продуванию потоком воздуха.

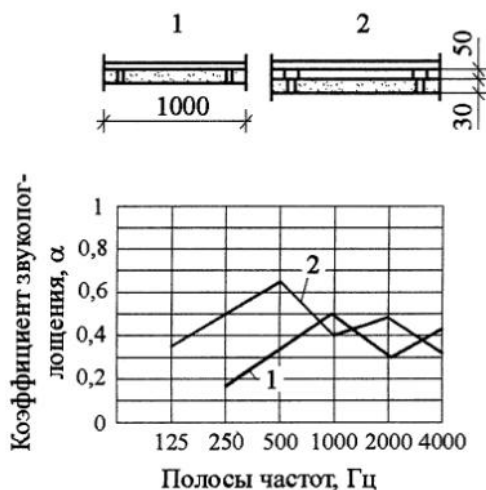
Коэффициент звукопоглощения (КЗП) зависит не только от свойств материала, но и от угла падения звуковой волны на поверхность. Поэтому в практике обычно используется значение диффузного коэффициента звукопоглощения, усредненного по различным углам падения звуковых волн. Диффузный КЗП измеряется в реверберационной акустической камере (рис. 8.11). Плоскости стенок камеры гладкие и не параллельные друг другу. Кроме того, в камере размещены специальные рассеиватели звука. Объем камеры должен составлять более  $180 \text{ м}^3$  (на практике около  $200 \text{ м}^3$ ). В камеру посредством встроенных динамиков подается звуковой сигнал определенной частоты. КЗП определяется по отношению времени реверберации в пустой камере и в камере с образцом, т.е. по времени, в течение которого уровень звука в камере понизится на 60 дБ. Образец в виде кубика из исследуемого материала стандартных (или фиксированных) размеров устанавливается примерно в центре камеры. Значения КЗП для разных частот звука приведены в табл. 8.1. При этом в таблице приведены значения КЗП поверхностей из этих материалов, так что эти значения можно сразу использовать для расчета акустических параметров помещений.

Как видно из таблицы, для пористых материалов, располагаемых прямо на стене или потолке, характерно увеличение звукопоглощения с повышением частоты звука (рис. 8.12). При этом с увеличением толщины материала величина КЗП на низких частотах увеличивается. Эти материалы используют для улучшения акустических качеств в кинотеатрах, театрах, концертных залах, студиях, аудиториях. Кроме того, их можно использовать для снижения шума в таких общественных зданиях, как детские сады, ясли, рестораны и т.п. К пористым материалам относят также драпировки и ковры, применяемые для повышения общего звукопоглощения в залах на средних и высоких частотах.



Частотная характеристика пористого поглотителя разной толщины:

1 – слой поглотителя толщиной 100 мм; 2 – то же, 10 мм

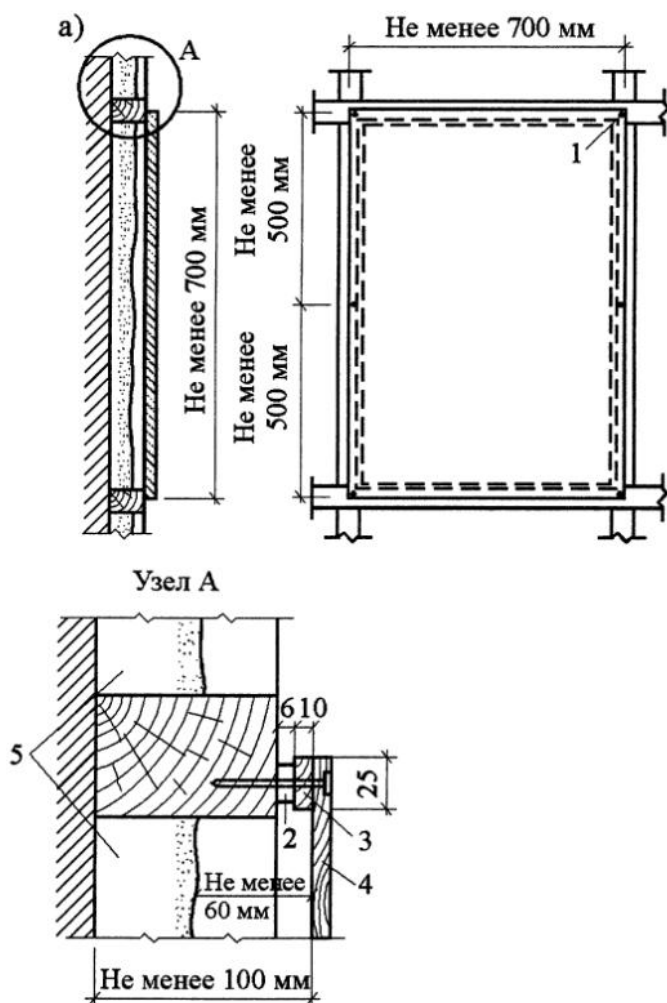


Частотная характеристика пористого поглотителя

1 – при расположении поглотителя непосредственно на стене или потолке; 2 – при расположении его на отnose 50 мм от ограждений

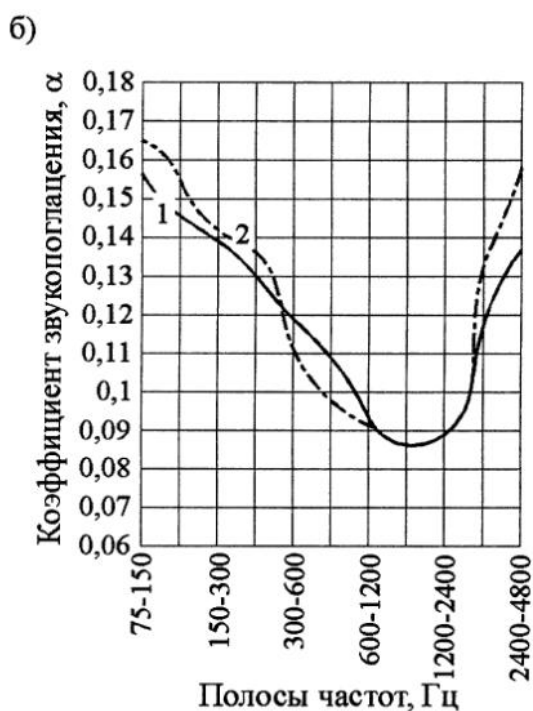
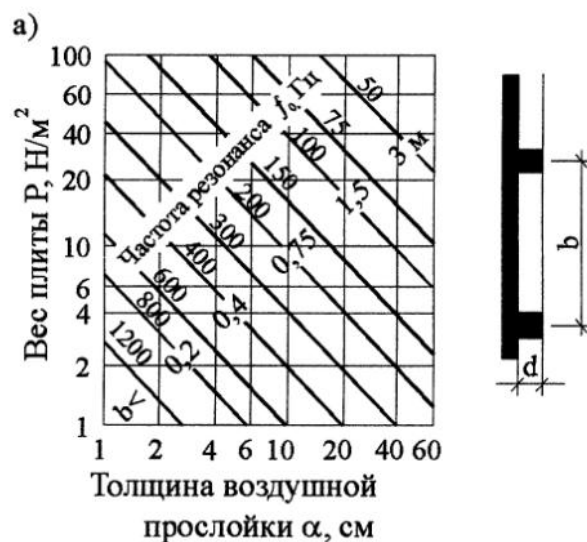
Рис. 8.12

Для увеличения звукопоглощения в области низких частот применяются РЕЗОНИРУЮЩИЕ (колеблющиеся) ПАНЕЛИ, выполненные из достаточно упругих тонких пластин (например, из фанеры), шарнирно закрепленных на раме (рис. 8.13). Между пластиной и поверхностью стены или потолка имеется воздушный промежуток, оказывающий пружинящее (демпфирующее) действие на колебания панели. На поверхность наклеивается пористый звукопоглощающий материал, в поры которого под давлением поступает воздух воздушной прослойки. Под действием звуковых волн панели начинают колебаться, причем максимальные амплитуды колебаний будут при совпадении собственных частот колебаний конструкций и вынуждающих частот (явление резонанса). Гибкий лист из плотного материала действует как масса, а воздушная прослойка за ним – как пружина. Колебания воздуха в воздушном промежутке, а следовательно, и звуковая энергия еще более гасятся за счет трения в порах наклеенного в воздушной прослойке пористого материала и превращения звуковой энергии в тепловую.



**Рис. 8.13.** Резонирующая панель:

1 – шарнирные сопряжения листа с каркасом; 2 – шайба; 3 – обвязка (25x10 мм);  
4 – фанера толщиной не более 10 мм; 5 – звукопоглощающий мат толщиной 50 мм



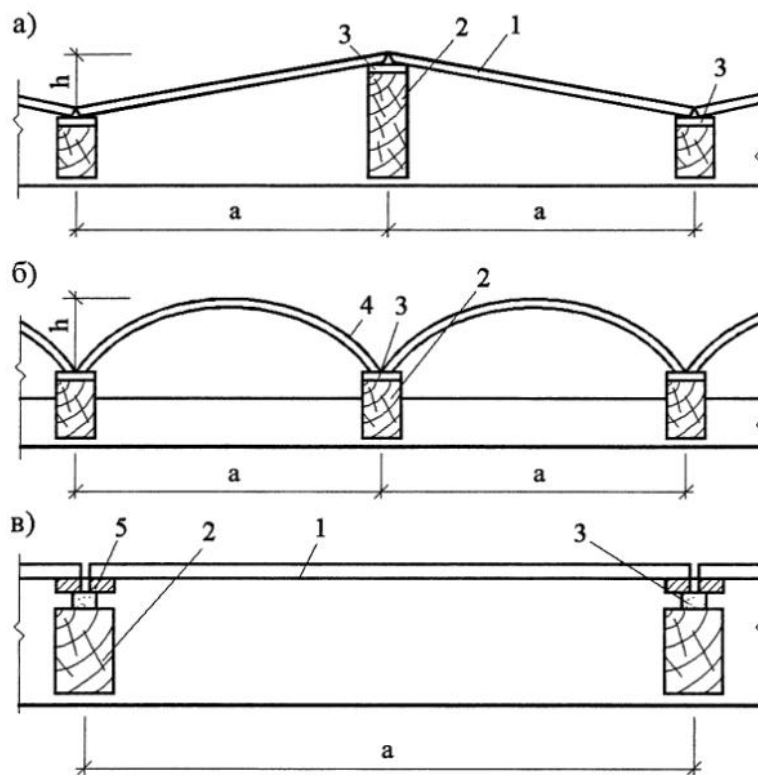
**Рис. 8.14:**

а) зависимость собственной частоты колебаний деревянных и других панелей от их веса и размеров;

б) частотная характеристика звукопоглощения деревянных резонирующих панелей: 1 – щиты расположены непосредственно на полу камеры; 2 – щиты расположены при отnose от пола камеры на расстояние 35 мм

На *рис. 8.14* приведена частотная характеристика резонирующей панели. В рассматриваемом звуковом диапазоне максимальное звукопоглощение на частоте 150-300 Гц. Значение резонансной частоты панелей зависит от собственной жесткости панели и от ее массы. Жесткость зависит от способа сопряжения с поверхностью или рамой. Зависимость собственной частоты колебаний деревянных и других панелей от их веса и размеров приведена на *рис. 8.14*. На *рис. 8.15* приведены архитектурные типы звукопоглощающих деревянных панелей.





**Рис. 8.15.** Архитектурные типы звукопоглощающих деревянных панелей (размеры  $a$  и  $h$  выбираются в соответствии с акустическими требованиями и резонансной частотой колебания): а – деревянная резонирующая панель звукорассеивающего профиля; б – полуцилиндрическая деревянная резонирующая панель звукорассеивающего профиля; в – плоская деревянная резонирующая панель; 1 – фанера толщиной 10 мм; 2 – деревянный каркас; 3 – упругая демпфирующая прокладка; 4 – фанера толщиной 4 мм; 5 – деревянная обвязка, приклеенная к листу фанеры

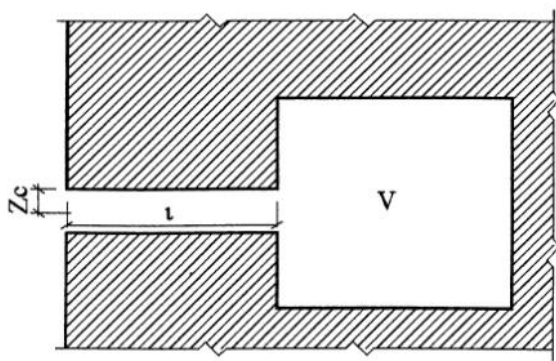
Конструкции с перфорированным покрытием позволяют получать достаточно большое звукопоглощение в любой области частот. Такие конструкции основаны на использовании резонатора Гельмгольца (рис. 8.16). Содержащийся в резонаторе воздух ведет себя как упругое сопротивление на частотах звуковых колебаний, длина волны которых велика по сравнению с размерами резонатора.

«Голосники» в соборах Пскова и Новгорода (глиняные сосуды, замурованные в стенах) являются такими резонаторами, увеличивают время реверберации в церкви и усиливают и улучшают звучание хора.

Частота колебаний, усиливаемых резонатором, зависит от геометрических параметров резонатора и определяется по формуле

$$f_j = \frac{C}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{l_k V_p}}, \quad (8.8)$$

где  $C = 340$  м/с;  $S$  – площадь горловины, м<sup>2</sup>;  $V_p$  – объем полости, м<sup>3</sup>;  $l_k$  – эквивалентная длина горловины  $l_k = l + 1,57 r_0$ .



Детали резонаторов

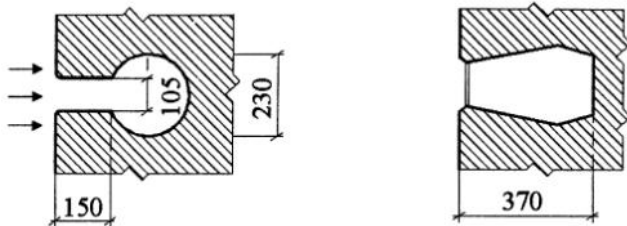


Рис. 8.16. Схема резонатора Гельмгольца

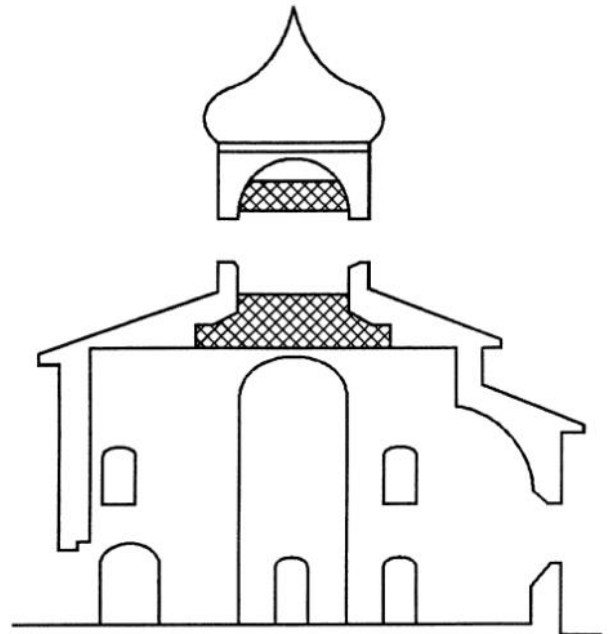


Рис. 8.17. Резонаторы (голосники) для усиления отзвука хора и увеличения времени реверберации, применявшиеся в древнерусских соборах и церквях Новгорода и Пскова (заштрихованы зоны обычного расположения резонаторов)

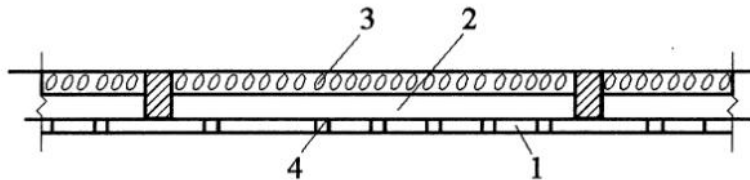


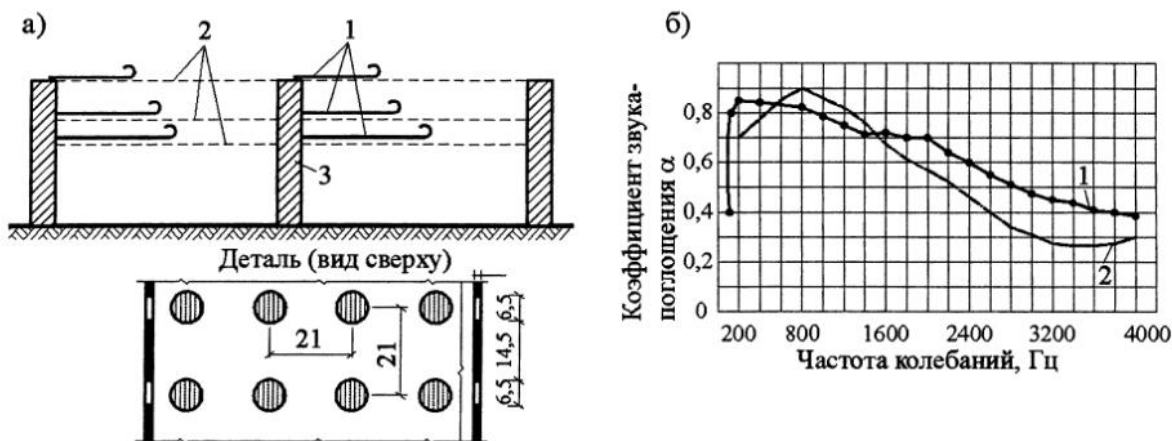
Рис. 8.18. Однослойный звукопоглотитель:

- 1 – перфорированная панель; 2 – воздушная прослойка; 3 – звукопоглощающий материал; 4 – бязь или серпянка

Место размещения голосников и характерные их размеры приведены на рис. 8.17.

Если поместить в горле резонатора слой пористого материала (например, несколько слоев серпянки или бязи), то они превращаются в активные поглотители звуковой энергии. При этом максимальная частота звукопоглощения также определяется по формуле (8.8).

Пример однослойного звукопоглотителя с перфорированным облицовочным слоем приведен на рис. 8.18. Такие системы увеличивают звукопоглощение на низких частотах во много раз. Для получения широкополосного поглотителя, т.е. практически для всех расчетных частот, применяются многослойные резонансные поглотители из нескольких слоев с перфорированным материалом в каждом слое с перфорацией различного диаметра. Схема такого поглотителя приведена на рис. 8.19.



**Рис. 8.19.** Частотная характеристика звукопоглощения многослойных конструкций с перфорированными листами:

а – конструктивная схема: 1 – наклеенная на лист редкая ткань (серпянка, мешковина и др.); 2 – перфорированный лист оцинкованного железа; 3 – каркас; б – частотная характеристика многослойных конструкций с перфорированным слоем: 1 – расчетная характеристика звукопоглощения; 2 – характеристика звукопоглощения, измеренная в лаборатории

Звукопоглотители должны одновременно служить архитектурным средством отделки интерьера, поэтому при проектировании следует учитывать также и другие свойства звукопоглощающих материалов, такие как огнестойкость, прочность, долговечность, гигиенические особенности, световые и цветовые характеристики, стоимость.

## 8.5. Проектирование залов с естественной акустикой

К залам с естественной акустикой относятся лекционные, театральные и концертные залы, а также средние по объему залы многоцелевого назначения. В настоящее время практически все залы оборудованы средствами звукоусиления, однако для перечисленных видов ставятся требования обеспечения оптимальных акустических условий и без искусственного усиления звука. Естественная акустика открытых амфитеатров в Древней Греции и до настоящего времени вызывает восхищение туристов, когда они слышат гида на расстоянии 70 м. Крутой подъем амфитеатра обеспечивал не только хорошую видимость происходившего на сцене, но и хорошую слышимость прямого звука. Каменные поверхности оркестры, сцены и проскенума или скенея (сооружений позади сцены) позволяли направить к слушателям звуковые отражения, усиливающие прямой звук. Усиление звука достигалось также потоками нагретого воздуха, поднимавшимися от сцены по рядам амфитеатра (рис. 8.20). Хорошую акустику амфитеатров Древней Греции часто связывают с таинственно звучащими вазами (амфорами), которые стояли по сторонам сцены и служили ее украшением. Витрувий в своем трактате утверждал, что эти амфоры с узким горлом усиливали звук. Причем каждый сосуд был настроен на разную частоту звука.

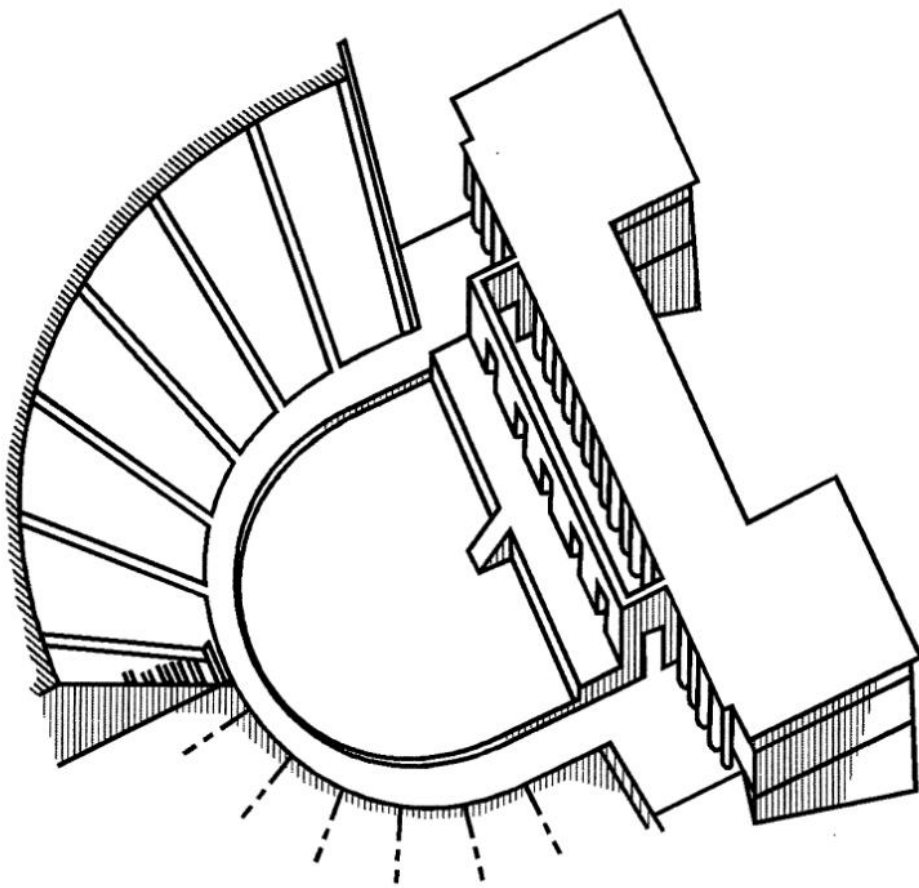


Рис. 8.20. Театр Диониса в Афинах (реконструкция)

Эти вазы являются резонаторами Гельмгольца, аналогичными голосникам в старых русских, французских и скандинавских церквах. Эти вазы могли давать послезвучание на частоте резонанса и, таким образом, могли служить в качестве системы некоторого местного усиления звука.

Акустика открытых театров Древней Греции нашла свое развитие в римских театрах. В них сцена дополнялась проскенумом с козырьками и боковыми поверхностями, благодаря которым структура отражений звука значительно обогащалась. Появившиеся в Древнем Риме тентовые покрытия амфитеатров превращали их в закрытые залы, в которых тент на потолке также участвовал в структуре отражений звука.

Хорошая акустика оперных и концертных залов, с одной стороны, опиралась на опыт древних архитекторов. С другой - она являлась результатом совпадения функциональных и эстетических требований с акустическими. Сравнительно небольшая ширина при прямоугольном плане и большой высоте формировала звуковое поле с использованием важных боковых ранних отражений. Благодаря богатому членению внутренних поверхностей и отсутствию звукопоглотителей в классических залах, как правило, наблюдались значительное время реверберации и высокая степень диффузности звукового поля.

Теоретические основы акустики были разработаны лордом Рэлеем и изложены в его книге «Теория звука», вышедшей в 1877 г. Более поздние работы Сэбина положили начало практическому проектированию акустики залов. Он

ввел понятие о времени реверберации, которое долгое время оставалось единственным критерием. Однако со временем выяснилось, что этого критерия недостаточно. Так в практике проектирования появились лучевые эскизы, анализ времени запаздывания первых отражений. В лекционных аудиториях и залах драматических театров большое значение имеет разборчивость речи. Критерием для оценки слышимости речи является АРТИКУЛЯЦИЯ, которая оценивается в процентах правильно понятых слогов или слов по отношению ко всем произнесенным. Этот критерий, в отличие от времени реверберации и предельного запаздывания звукового сигнала, является субъективным. В уже существующих залах для определения артикуляции пользуются экспериментальным методом. Диктор медленно читает таблицы односложных, не имеющих общего смысла, слов или слогов (слоговая разборчивость) или фраз (разборчивость фраз), и слушатели в зале их записывают. Разборчивость речи считается:

- 85-96% - отличная;
- 75-85% - хорошая;
- 65-75% - удовлетворительная;
- 65% - неудовлетворительная.

Неудовлетворительной разборчивости речи, т.е. 60-65% слоговой артикуляции, соответствует примерно 80% разборчивости фраз, а 90% разборчивости фраз соответствует 65-70% слоговой артикуляции.

В проектируемых залах процент артикуляции (ПА) приближенно можно рассчитать по формуле

$$ПА = 96K_1K_2K_3K_4, (\%). \quad (8.9)$$

Здесь  $K_1$  зависит от времени реверберации в зале. Его значения, полученные экспериментальным путем при  $T = 0,5-0,8$  с принимаются за единицу. При увеличении времени реверберации артикуляция падает примерно на 10% на каждую секунду. Так, при времени реверберации, равном 4 с,  $K_1 = 0,65$ , и, следовательно, разборчивость речи будет неудовлетворительной, так как ПА = 0,62 даже при всех остальных коэффициентах, равных 1.

$K_2$  зависит от уровня звука. Наибольшая разборчивость – при 70-80 дБ. При 60 и 100 дБ  $K_2 = 0,95$ ; при 50 дБ – 0,9; при 40 дБ – 0,8-0,85 и при 30 дБ – 0,65.

$K_3$  зависит от уровня мешающего звука в зале и отношения этого уровня к уровню звука речи. При равенстве уровня мешающего шума и уровня речи  $K_3 = 0,6-0,7$ , т.е. артикуляция будет неудовлетворительной даже при всех остальных значениях  $K = 1$ . При отношении, равном 0,7- $K_3 = 0,8$ ; 0,6- $K_3 = 0,85$ ; 0,4- $K_3 = 0,9$ ; 0,3- $K_3 = 0,92$ ; при 0,2- $K_3 = 0,95$ ; при 0,1- $K_3 = 0,98$ .

$K_4$  зависит от формы и размеров зала. Для больших залов  $K_4 = 0,9-0,95$ ; для прямоугольных сравнительно небольших залов  $K_4 = 1$ .

Перечисленные три критерия (время реверберации, предельное запаздывание и процент артикуляции) являются основой проектирования естественной акустики залов.

Акустическое проектирование зала начинают с выбора его формы в плане и разрезе. Форму зала в плане выбирают таким образом, чтобы она соответствовала условиям беспрепятственной и наилучшей видимости объектов наблюдения (источников звука) с учетом эволюции формы залов в плане, оптимальных углов зрения и кратчайшего расстояния до источника звука (рис. 8.21 и рис. 8.22). Площадь зала подбирают по заданному количеству зрительских мест, которые располагают из расчета 90 см между рядами при глубине и ширине кресла 50 см. По количеству зрительных мест по теории людских потоков рассчитывают ширину проходов, ведущих к эвакуационным выходам из зала, количество которых и площадь накопительных площадок перед ними также определяют расчетом из условия комфортного движения людского потока.

Форму зала в разрезе выбирают таким образом, чтобы кривая подъема зрительных мест была не менее пологой, чем кривая беспрепятственной видимости объектов на сцене. Это обеспечивает беспрепятственный доступ прямого звука со сцены до слушателя. Форма потолка должна быть такой, чтобы первые отражения поступали к слушателям не менее чем от трех плоскостей потолка, усиливая и обогащая прямой звук. Для этой цели могут применяться также специальные отражатели звука, так называемые акустические облака. Верхняя часть стен должна быть расчленена пилястрами, элементами декоративной пластики, повышающими диффузность звукового поля в зале. Этой же цели служат выпуклые стеновые панели и декоративные элементы. Следует избегать вогнутых элементов для предотвращения возможности концентрации звуковой энергии.

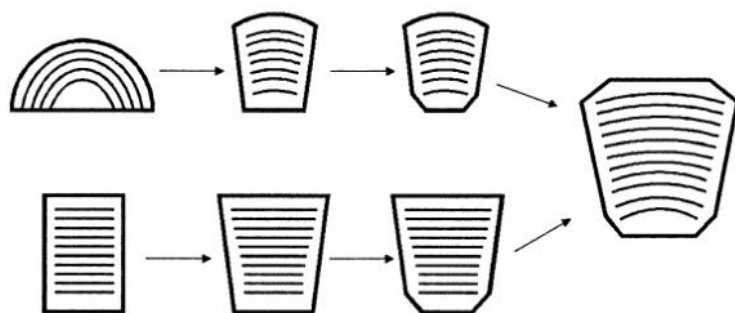


Рис. 8.21. Последовательное развитие форм плана зрительного зала

Для выравнивания плотности звуковой энергии необходимо предусмотреть такую форму потолка и стен, чтобы основная часть отраженных звуковых лучей была направлена примерно во вторую половину зала, туда, куда прямой звук попадает уже ослабленным.

На рис. 8.9 в показана такая форма потолка. При этом разница в плотности звуковой энергии в этих зонах уменьшается тем больше, чем выше интенсивность отраженных звуковых волн. Для этого необходимо потолок зала (или участки потолка, эффективно отражающие звук) обрабатывать материалами с малым звукопоглощением. На рис. 8.23 показана форма потолка, при которой в зале имеются зоны, лишенные геометрических отражений. Недопустимы также прямоугольные поперечные ребра на потолке и пилястры в нижних частях стен (см. рис. 8.10).



В залах вместимостью более 600 зрителей целесообразно устройство балконов. Этим достигается уменьшение объема зала, его длины. Наряду с расчленением стен это способствует улучшению акустических качеств зала. При этом на лучевой схеме необходимо проследить, попадут ли отраженные лучи в подбалконное пространство. Для этого отношение выноса балкона к средней высоте подбалконного пространства не должно превышать 1,5. Потолок балкона необходимо предусматривать наклонным с подъемом в сторону сцены. Однако наклон не должен быть большим, иначе отраженные от него звуковые лучи могут направляться в центр зала, где предельное запаздывание отраженного звукового сигнала будет нарушено и будет хорошо различимое эхо.

Создание хорошей естественной акустики залов связано с выполнением двух взаимно противоречащих требований:

1. Обеспечение достаточной диффузности звукового поля.
2. Обеспечение надлежащей направленности и интенсивности первых звуковых отражений.

Эти требования должны быть по возможности учтены и совмещены в одном проекте.

Большие гладкие поверхности не способствуют достижению хорошей диффузности звукового поля. Особенно неудачны гладкие параллельные стены, создающие «порхающее эхо». Это явление можно избежать отклонением от параллельности двух стен на  $2,5-3^\circ$  или одной из них на  $5-6^\circ$ . Для повышения диффузности надо сильно расчленять поверхности, не дающие в зал направленных ранних отражений. Как правило, это верхние части стен.

Для исправления возможных акустических дефектов и для достижения необходимого времени реверберации используются звукопоглотители и звукопоглощающие материалы, размещаемые на поверхностях, от которых к зрителям не попадают первые отражения.

Звукопоглотителями должны обрабатываться также поверхности, от которых приходят к слушателям отражения с запаздыванием отраженного сигнала, превышающим предельное (0,05 с). На *рис. 8.3* показаны участки внутренних поверхностей зала (на стенах и потолке), где возможно размещение звукопоглотителей, и способ определения граничной точки этого размещения.

Следует отметить, что хорошие акустические качества залов могут быть достигнуты только при их хорошей изоляции от шума как внутри, так и вне здания. Для уменьшения шума в самом здании необходима соответствующая планировка, предусматривающая отделение шумных помещений от зала. Полы в помещениях рядом с залом и в самом зале должны быть малошумными. Двери, ведущие в зал, должны иметь повышенную звукоизоляцию.

Измерения показывают, что собственный уровень шума зрителей в зале не превышает 40-50 дБА. Уровень мешающих шумов должен быть не менее чем на 10 дБ ниже. Поэтому для залов допустимыми можно считать уровни шумовых помех 35-40 дБА. Большое внимание должно уделяться устранению шума инженерного оборудования, особенно вентиляционных установок. Агрегаты



приточно-вытяжной вентиляции нельзя устанавливать над залом. Все вибрирующее оборудование должно иметь фундаменты с амортизаторами, чтобы предотвратить передачу вибраций по ограждающим конструкциям. Нельзя располагать концертные залы вблизи железнодорожных линий или линий метро мелкого заложения, трамвайных линий и т.п.

## ПРИМЕРЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ АКУСТИКИ ЗАЛОВ

### ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАЛЫ

Основной критерий – разборчивость речи (артикуляция). Она связана с временем запаздывания первых отражений. Для хорошей разборчивости речи необходимо  $t \leq 0.03\text{с}$ . При этом  $l_1 + l_2 - l = 0.03\text{с} \cdot 340\text{м/с} = 10\text{м}$ .

Время реверберации согласно рис. 8.5 должно быть небольшим, значительно меньше, чем для залов другого назначения.

*Пример.* Определить максимально допустимые размеры лекционного зала прямоугольной формы при соотношении высоты, ширины и длины 1:2:3. Определить время реверберации и сравнить с рекомендуемым.

Построим лучевую схему первых отражений от потолка зала, приняв его высоту 10 м (рис. 8.24). Результаты представлены в табличной форме (табл. 8.2). Как видно из таблицы, в точках А и Б запаздывание отраженного луча по сравнению с прямым превышает 10 м. Это означает, что высота аудитории завышена.

Уменьшаем высоту до 7,5 м. В этом случае во всех точках время запаздывания является допустимым. Принимаем высоту потолка 7,5 м, ширину 15 м и длину зала 22 м (при соотношении 1:2:3). Удаление слушателя от оратора составляет около 20 м, что является предельно допустимой величиной для лекционных залов.

Аналогично можно оценить характер запаздывания первых отражений от боковых стен.

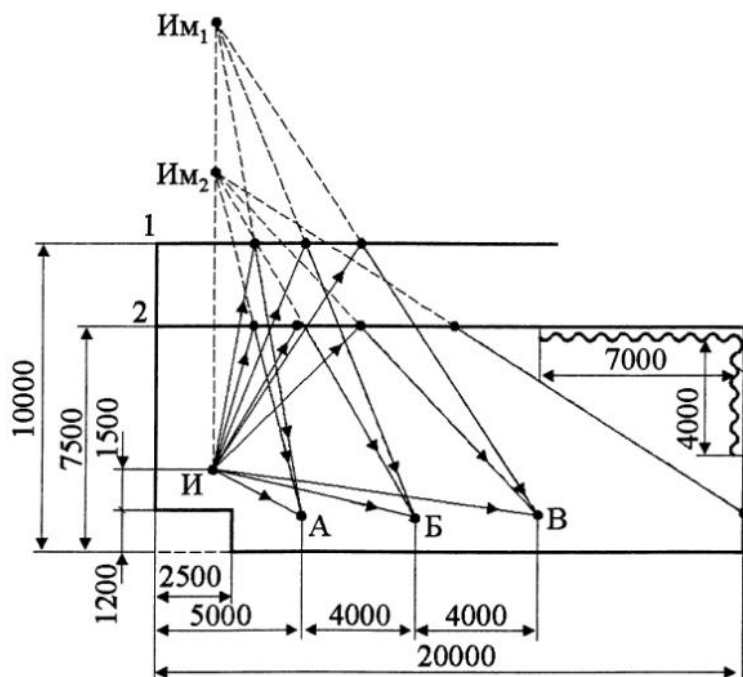


Рис. 8.24. Распределение первых отражений звука в аудитории

Объем зала  $V = 7,5 \cdot 15 \cdot 22,0 = 2475 \text{ м}^3$ . Необходимое время реверберации (см. рис. 8.5)  $T_{\text{треб.}} = 1\text{с}$  на частоте 500-2000 Гц. На частоте 125 Гц  $T_{\text{треб.}} = 1\text{с} \cdot 1,4 = 1,4\text{с}$ .

Определяем фактическое время реверберации в зале, сводя расчеты в табл. 8.3.

**Таблица 8.2**

Запаздывание первых отражений от потолка

Точки	Длина луча до встречи с потолком, м	Длина отраженного луча, м	Длина прямого луча, м	Запаздывание отраженного луча по сравнению с прямым, м
<i>При высоте зала 10 м</i>				
А	7,5	9	3,3	16,5-3,3=13,2
Б	8	9,6	7,2	10,4
В	8,8	10,6	11	8,4
<i>При высоте зала 7,5 м</i>				
А	5	6,6	3,3	8,3
Б	5,7	7,6	7,2	6,1
В	6,8	8,8	11	4,6

**Таблица 8.3**

Определение эквивалентной площади звукопоглощения поверхностей зала

Поверхности, материалы	Площадь, м <sup>2</sup>	Значения $\alpha$ и $\alpha S$ , м <sup>2</sup> , на частотах, Гц					
		125		500		2000	
		$\alpha$	$\alpha S$	$\alpha$	$\alpha S$	$\alpha$	$\alpha S$
Потолок – бетон окрашенный	300	0,01	3,3	0,01	3,3	0,02	6,6
Стены с отметки 2 м. – штукатурка по кирпичу	350	0,01	3,5	0,02	7	0,03	7,5
Стены до отметки 2 м – деревянная панель толщиной 5-10 мм с воздушным промежутком 50 мм	148	0,25	37	0,06	8,9	0,04	5,9
Пол – паркет по асфальту	300	0,04	12	0,07	21	0,06	18
Деревянная эстрада	45	0,1	4,5	0,1	4,5	0,08	3,6
Остекление	50	0,35	17,5	0,18	9	0,07	3,5
Добавочное звукопоглощение	1200	0,06	72	0,04	48	0,04	48

Определение эквивалентной площади звукопоглощения

Слушатели, кресла	Число $n$	Значения $A$ , м <sup>2</sup> , и $A_n$ , м <sup>2</sup> , на частотах, Гц					
		125		500		2000	
		$A$	$A_n$	$A$	$A_n$	$A$	$A_n$
Сидящие слушатели (70% заполнения)	154 чел.	0,2	20,8	0,3	46,2	0,35	53,9
Свободные стулья (деревянные жесткие)	66 шт.	0,02	13,2	0,03	19,8	0,04	26,4
Всего			194 м <sup>2</sup>		168 м <sup>2</sup>		173 м <sup>2</sup>

При удельной площади  $1,5\text{ м}^2/\text{чел}$  в зале разместятся  $15 \times 22/1,5 = 220$  слушателей. При определении звукопоглощения полом взята вся его площадь (а не площадь, свободная от столов, стульев, сидящих людей). Большое звукопоглощение компенсируется неучтенным поглощением звука столами. Приняты также несколько меньшие коэффициенты добавочного звукопоглощения.

Общая эквивалентная площадь звукопоглощения определяется расчетом в табличной форме.

Определим средний коэффициент звукопоглощения по формуле  $\alpha_{\text{ср}} = A_{\text{общ}}/S_{\text{общ}}$  на частотах: 125 Гц -  $\alpha_{\text{ср}} = 194/1200 \approx 0,16$ ; 500 Гц -  $\alpha_{\text{ср}} = 168/1200 \approx 0,14$ ; 2000 Гц -  $\alpha_{\text{ср}} = 173/1200 \approx 0,14$ .

Так как  $\alpha_{\text{ср}} < 0,2$ , время реверберации определяем по формуле на частотах:

125 Гц -  $T = 0,163V/A_{\text{общ}} = 0,163(2475/194) \approx 2,1$  с.; 500 Гц -  $T = 0,163(2475/168) \approx 2,4$  с.; 2000 Гц -  $T = 0,163(2475/173) \approx 2,35$  с.

Фактическое время реверберации выше рекомендуемого, поэтому необходимо увеличить звукопоглощение в зале.

Зная  $T_{\text{тр}}$ , определяем  $\varphi(\alpha_{\text{ср}}^{\text{мп}})$  по формуле  $\varphi(\alpha_{\text{ср}}^{\text{мп}}) = \frac{0,163V}{T_{\text{тр}}S_{\text{общ}}}$ , а затем  $\alpha_{\text{ср}}^{\text{мп}}$ .

Для частоты 125 Гц  $\varphi(\alpha_{\text{ср}}^{\text{мп}}) = \frac{0,163 \cdot 2475}{1,40 \cdot 1200} = 0,23$ .

По  $\varphi(\alpha_{\text{ср}}^{\text{мп}})$  находим  $\alpha_{\text{ср}}^{\text{мп}}$ , равное 0,25. На частотах 500 и 2000 Гц  $\varphi(\alpha_{\text{ср}}^{\text{мп}}) = \frac{0,163 \cdot 2475}{1,0 \cdot 1200} = 0,34$ ;  $\alpha_{\text{ср}}^{\text{мп}} = 0,29$ .

Находим  $A_{\text{общ}} = \alpha_{\text{ср}}^{\text{мп}} S_{\text{общ}}$ : на частоте 125 Гц  $A_{\text{общ}} = 0,25 \cdot 1200 = 300\text{ м}^2$ ; на частотах 500 и 2000 Гц  $A_{\text{общ}} = 0,29 \cdot 1200 = 348\text{ м}^2$ .

Определяем, на сколько требуется изменить общую эквивалентную площадь звукопоглощения ( $A_{\text{общ}} - A_{\text{общ}}^{\text{мп}}$ ) на частотах: 125 Гц -  $300 - 194 = 106\text{ м}^2$ ;

500 Гц -  $348 - 168 = 180\text{ м}^2$ ; 2000 Гц -  $348 - 173 = 175\text{ м}^2$ .

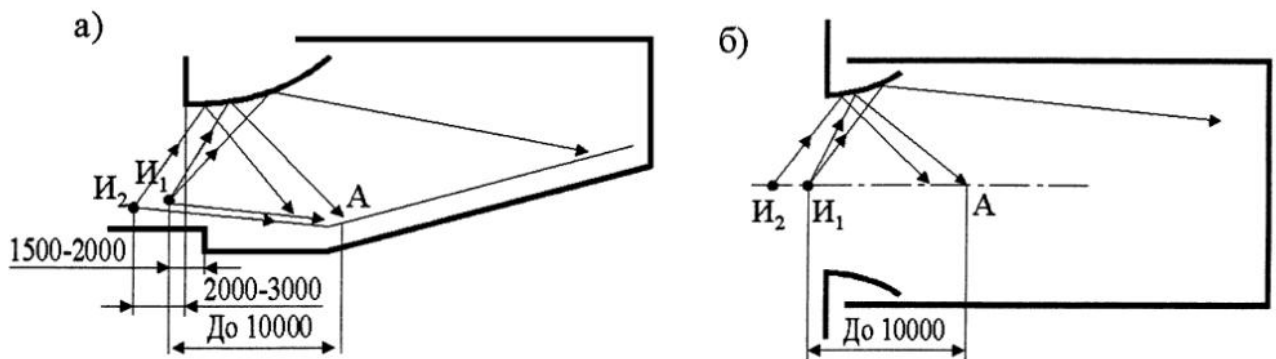


Рис. 8.25. Устройство отражателей звука над эстрадой (а) и у эстрады на боковых стенах (б)

Если в соответствии с *рис. 8.24* определить рекомендуемые зоны размещения звукопоглотителей, то окажется, что на боковых и задней стенах возможная площадь составит  $4 \cdot 20 \cdot 2 + 4 \cdot 7,5 = 190 \text{ м}^2$ , а на потолке –  $1 \cdot 20 \cdot 2 + 2 \cdot (15 - 2) \cdot 7,0 = 131 \text{ м}^2$  (при ширине полос на потолке вдоль стен по 1 м); общая площадь  $190 + 131 = 321 \text{ м}^2$ . Если разделить  $(A_{\text{общ}} - A_{\text{общ}}^{\text{мп}})$  на данную площадь, получим требуемый коэффициент звукопоглощения облицованной поверхности. На частотах 500 и 2000 Гц он составит около 0,6. Таким образом, для уменьшения времени реверберации требуется большая площадь эффективного звукопоглотителя.

Необходимо отметить, что значительные трудности с уменьшением времени реверберации происходят из-за чрезмерно большого объема залов. В нашем случае удельный объем составляет  $2475/220 = 11,2 \frac{\text{м}^3}{\text{чел}}$ . Такой объем недопустимо высок для залов, предназначенных для речи. Удельный объем должен быть в пределах 4-5  $\text{м}^3$  на одного человека. Поэтому желательно уменьшение высоты зала, что не только сократит время реверберации, но и улучшит распределение ранних отражений по залу. Желательно также некоторое уменьшение удельной площади, что повысит количество слушателей и увеличит звукопоглощение, вносимое людьми.

В больших аудиториях и конференц-залах места для слушателей целесообразно располагать в виде амфитеатра, что улучшает видимость, сокращает расстояние и улучшает разборчивость речи.

При неудачной в акустическом отношении форме зала акустические качества можно исправить устройством специальных отражателей звука, располагаемых над эстрадой или на участках боковых стен, примыкающих к эстраде (*рис. 8.25*). Такие отражатели должны направлять звуковую энергию по всему залу. Это обеспечивает их криволинейная форма. Проверка времени запаздывания отраженного сигнала особенно важна для мест, расположенных на расстоянии до 10 м. от источника. При большем расстоянии запаздывание уменьшается.

При определении размеров отражателя необходимо учитывать, что он будет хорошо отражать звук с длиной волны меньше минимального размера отражателя примерно в 1,5 раза.

*Пример.* Требуется определить размер отражателя при наименьшей частоте звука  $f = 100 \text{ Гц}$ . ( $\text{Гц} = 1/\text{с}$ ).

$$\text{Длина волны } \lambda = \frac{c}{f} = 340 \frac{\text{м}}{\text{с}} : 100 \frac{1}{\text{с}} = 3,4 \text{ м}.$$

Размер отражателя должен быть не менее  $1,5 \times 3,4 = 5,0 \text{ м}$

В табл. 8.6 приведены рекомендуемые значения удельного объема залов ( $\frac{\text{м}^3}{\text{чел}}$ ) различного назначения, при которых легко достичь требуемого времени реверберации в зале.

В учебном пособии С.Д. Ковригина приведен подробный анализ акустических качеств известных залов различного назначения, приведены примеры акустических расчетов, которые могут быть хорошим вспомогательным материалом при проектировании акустики залов.

При акустическом проектировании залы многоцелевого назначения представляют собой особый случай. К ним относятся залы на 300-1200 мест объемом 1500-6000  $\text{м}^3$ .

Их проектируют и строят в большом количестве при строительстве клубов, вузов, общественных зданий. Они предназначены для речевых и музыкальных программ, демонстрации кинофильмов. При этом акустические требования часто являются противоречивыми (например, для речи время реверберации должно быть невелико, а запаздывание первых отражений также должно быть небольшим. Для хорошего звучания музыки, наоборот, требуется значительно большее время реверберации и очень важна большая диффузность звукового поля).

**Таблица 8.6**

Примерное значение удельного объема залов различного назначения (по данным [8.1]).

Назначение зала	Удельный объем, $\frac{м^3}{чел}$
Лекционные аудитории Конференц-залы	4-5
Залы драм. театров	5-6
Залы театров оперы и балета	6-8
Концертные залы	7-9
Залы многоцелевого назначения средней вместимости	4-6

В крупных залах многоцелевого назначения (более 1200 мест) акустика обычно решается путем использования электроакустических систем, оперативно изменяющих, например, время реверберации. В залах средней вместимости приходится находить компромисс между акустическими требованиями, предъявляемыми при различном использовании залов так как здесь ставится условие хорошей слышимости музыки и речи со звукоусилением и без него.

Основные рекомендации по проектированию таких залов:

- удельный объем зала  $4-6 \frac{м^3}{чел}$ ;
- при наличии сценической коробки общий объем зала определяется без учета объема сцены;
- отношение длины зала к его средней ширине не менее 1 и не более 2;
- длина зала (от занавеса до задней стены) не более 26 м;
- отношение средней ширины зала к его средней высоте не менее 1 и не более 2;
- в залах вместимостью более 600 чел целесообразно устройство одного или нескольких балконов;
- время запаздывания первых отражений по отношению к прямому звуку должно быть в пределах 0,02-0,03 с;
- рекомендуется оборудование зала мягкими или полумягкими креслами, что делает время реверберации менее зависящим от степени заполнения зала зрителями.

## 8.6. Залы, акустика которых полностью основана на электроакустических системах

К залам такого типа относятся большие залы многоцелевого назначения и залы современных кинотеатров.

В больших залах очень трудно, и иногда невозможно, создать естественные акустические условия. В таких залах специальные электроакустические системы помимо усиления звука могут выполнять еще и функции изменения времени реверберации. Такие системы называются АМБИОФОНИЧЕСКИМИ.

Вследствие разнообразия форм, высот и объемов залов решение задач звукоусиления требует индивидуального подхода: обоснованного выбора электроакустической аппаратуры, мест размещения микрофонов и громкоговорителей, коррекции частотной характеристики усиления и т.п. Одновременно рассматривается объемно-планировочное решение зала и размещение в нем звукопоглотителей.

В залах используется два вида систем звукоусиления: СОСРЕДОТОЧЕННАЯ И РАСПРЕДЕЛЕННАЯ.

При сосредоточенной системе громкоговорители и микрофоны расположены в одной части зала (рис. 8.26). Здесь необходимо учитывать основные принципы проектирования естественной акустики залов.

Распределенная система звукоусиления может быть двух видов:

1. Громкоговорители расположены равномерно на поверхностях зала.
2. Маломощные громкоговорители вмонтированы в спинки кресел. Такая система применяется в залах большой вместимости.

Простейшая схема создания искусственной реверберации с использованием эхо-камеры показана на рис. 8.27.

В современных системах эхокамеры заменены многоканальными электронными стереофоническими системами.

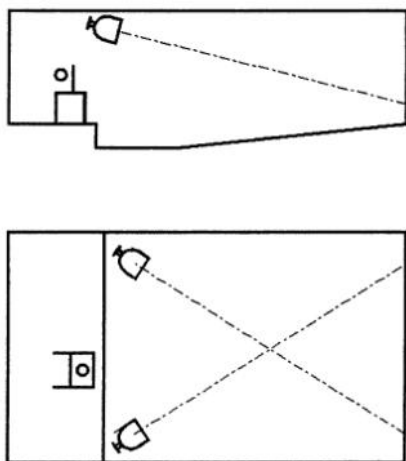
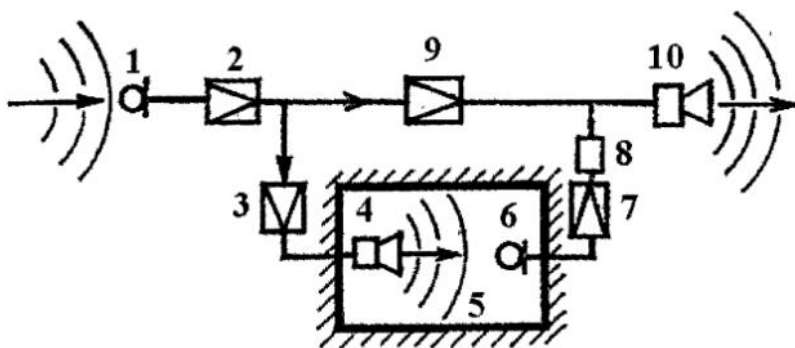


Рис. 8.26. Озвучение небольшого зала двумя громкоговорителями



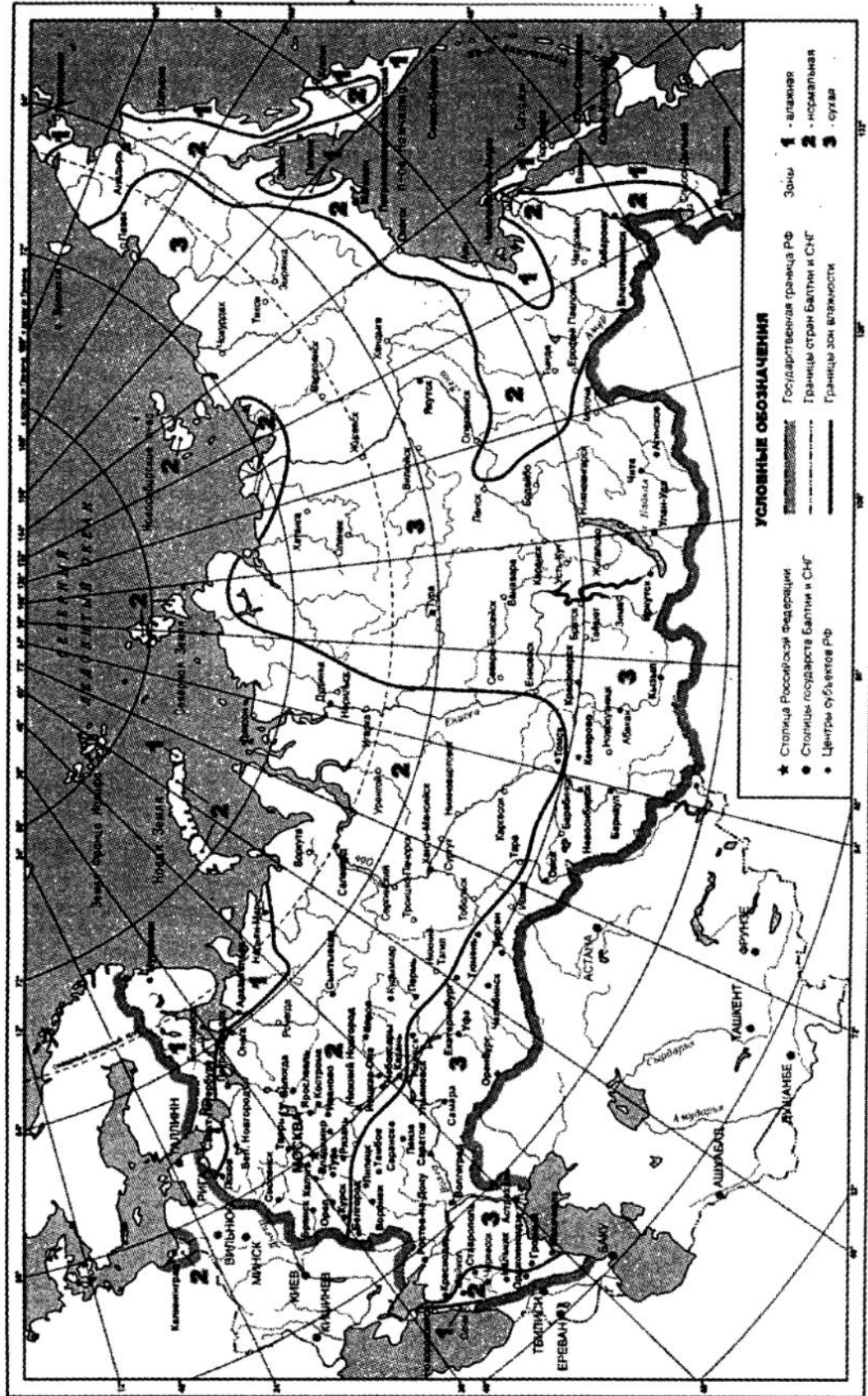
**Рис. 8.27.** Система искусственной реверберации с использованием эхо-камеры.  
1 и 6 – микрофоны; 2 и 7 – микрофонные усилители; 3 и 9 – усилители; 4 и 10 – громкоговорители; 5 – эхо-камера; 8 – регулятор уровня

Для того чтобы в таких залах естественная акустика не мешала искусственной, их делают полностью «заглушенными», т.е. такими, в которых время реверберации практически равно нулю. Эти же требования предъявляются и к залам кинотеатров с акустическими системами типа ДОЛБИ СЕРАУНД, где стереофонический звук, приходящий к зрителям с нужной стороны, полностью обеспечивается электроакустикой. На него не должны накладываться никакие посторонние звуки, обусловленные отражениями от поверхностей зала. Поэтому обычно все поверхности таких залов обрабатываются звукопоглотителями. Их форма не может влиять на звуковое поле, и это дает дополнительные возможности для проектирования архитектуры интерьеров таких залов.

### Список литературы к разделу «Архитектурно-строительная акустика»

1. Звукоизоляция и звукопоглощение. Г.Л. Осипов, В.Н. Бобылёв, Л.А. Борисов И.Л. Шубин и др. М.: АСТ Астрель, 2004.
2. Изоляция. Материалы и технологии. Серия «Застройщик». ООО «Стройинформ». М., 2005.
3. Архитектурная физика./ Под ред. Н.В. Оболенского. М.: Стройиздат, 1997.
4. Овсянников С.Н. Распространение звуковой вибрации в гражданских зданиях. Томск. Изд. Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2000.
5. Ковригин С.Д. Архитектурно-строительная акустика. М.: Высшая школа, 1980.
6. Градостроительные меры борьбы с шумом. / Осипов Г.Л., Прутков Б.Г., Шишкин И.А., Карагодина И.Л. М.: Стройиздат, 1975.
7. Лабораторный практикум по строительной физике. В.А. Объедков, А.К. Соловьев и др. М.: Высшая школа, 1979.
8. СНиП 23-3-2003. «Защита от шума и акустика». М., 2004.
9. СП 23-103-2003. «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий». М., 2004.

Приложение В (обязательное)  
Карта зон влажности





Влажностный режим помещений зданий

Режим	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	» 60 » 75	» 50 » 60
Мокрый	-	Св. 75	Св. 60

Таблица 2

Условия эксплуатации ограждающих конструкций

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

СП 23-101-2000

НОРМИРУЕМЫЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Таблица Е.1

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетное массовое отношение влаги в материале (при условиях эксплуатации по приложению 2 СНиП II-3) $w, \%$	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по приложению 2 СНиП II-3)					
		Плотность $\rho_0, \text{кг/м}^3$	Удельная теплоемкость $c_0, \text{кДж/(кг}\cdot\text{°C)}$	Коэффициент теплопроводности $\lambda_0, \text{Вт/(м}\cdot\text{°C)}$		Теплопроводности $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{°C)}$		Теплоусвоения (при периоде 24 ч) $s, \text{Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$		Паропроницаемости $\mu, \text{мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$	
						А	Б	А	Б	А	Б
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>I Теплоизоляционные материалы (ГОСТ 16381)</b>											
<i>А Полимерные</i>											
1	Экструдированный Пенополистирол Фирмы БАСФ ТУ 2244-001-47547616-00 Стиродур 2500С	25	1,34	0,029	2	10	0,031	0,031	0,28	0,31	0,013
2	То же, 5000С	45	1,34	0,030	2	10	0,031	0,031	0,38	0,42	0,05
3	Пенополистирол фирмы БАСФ Стиропор PS15	15	1,34	0,039	2	10	0,040	0,044	0,25	0,29	0,035

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	Пенополистирол (ГОСТ 15588)	40	1,34	0,038	2	10	0,041	0,05	0,41	0,49	0,05
5	Пенопласт ПХВ-1 и ПВ1	125	1,26	0,052	2	10	0,06	0,064	0,86	0,99	0,23
6	Пенополиуретан	80	1,47	0,041	2	5	0,05	0,05	0,67	0,7	0,05
7	Перлитопластбетон	200	1,05	0,041	2	3	0,052	0,06	0,93	1,01	0,008
8	То же	100	1,05	0,035	2	3	0,041	0,05	0,58	0,66	0,008
9	Экструзионный пенополистирол «Пеноплекс» (ТУ 5767-002-46261013), тип 35	35	1,65	0,028	2	3	0,029	0,030	0,36	0,37	0,018
<i>Б Минераловатные (ГОСТ 4640), стекловолокнистые, пеностекло, газостекло</i>											
10	Маты минераловатные прошивные (ГОСТ 21880) и на синтетическом связующем (ГОСТ 9573)	125	0,84	0,056	2	5	0,064	0,07	0,73	0,82	0,30
11	Плиты мягкие, полужесткие и жесткие минераловатные на синтетическом и битумном связующих (ГОСТ 9573, ГОСТ 10140, ГОСТ 22950)	50	0,84	0,048	2	5	0,052	0,06	0,42	0,48	0,6
12	Плиты минераловатные повышенной жесткости на органофосфатном связующем	200	0,84	0,064	1	2	0,07	0,076	0,94	1,01	0,45
13	Плиты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем (ГОСТ 10499)	50	0,84	0,056	2	5	0,06	0,064	0,44	0,5	0,6
14	Пеностекло или газостекло	300	0,84	0,09	1	2	0,11	0,12	1,46	1,56	0,02
15	То же	200	0,84	0,07	1	2	0,08	0,09	1,01	1,1	0,03
<i>В Плиты из природных органических и неорганических материалов</i>											
16	Плиты древесноволокнистые и древесно-стружечные (ГОСТ 4598, ГОСТ 8904, ГОСТ 10632)	600	2,3	0,11	10	12	0,13	0,16	3,93	4,43	0,13
17	То же	400	2,3	0,08	10	12	0,11	0,13	2,95	3,26	0,19
18	»	200	2,3	0,06	10	12	0,07	0,08	1,67	1,81	0,24
19	Плиты фибролитовые и арболит (ГОСТ 19222) на портландцементе	800	2,3	0,16	10	15	0,24	0,3	6,17	7,16	0,11
20	То же	300	2,3	0,07	10	15	0,11	0,14	2,56	2,99	0,30
21	Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка) (ГОСТ 6266)	800	0,84	0,15	4	6	0,19	0,21	3,34	3,66	0,075

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Г Засыпки</i>											
22	Гравий керамзитовый (ГОСТ 9757)	400	0,84	0,12	2	3	0,13	0,14	1,87	1,99	0,24
23	То же	300	0,84	0,108	2	3	0,12	0,13	1,56	1,66	0,25
24	Вермикулит вспученный (ГОСТ 12865)	200	0,84	0,076	1	3	0,09	0,11	1,08	1,24	0,23
25	То же	100	0,84	0,064	1	3	0,076	0,08	0,7	0,75	0,3
<i>Д Теплые растворы(ГОСТ 28013 )</i>											
26	Цементно-перлитовый	1000	0,84	0,21	7	12	0,26	0,3	4,64	5,42	0,15
27	То же	800	0,84	0,16	7	12	0,21	0,26	3,73	4,51	0,16
28	Гипсоперлитовый	600	0,84	0,14	10	15	0,19	0,23	3,24	3,84	0,17
<b>II Конструкционно- теплоизоляционные материалы</b>											
<i>А Бетон на искусственных пористых заполнителях(ГОСТ 25820,ГОСТ 9757)</i>											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
29	Керамзитобетон на керамзитовом песке и керамзитопенобетон	1600	0,84	0,58	5	10	0,67	0,79	9,06	10,77	0,09
30	То же	1400	0,84	0,47	5	10	0,56	0,65	7,75	9,14	0,098
31	То же	1200	0,84	0,36	5	10	0,44	0,52	6,36	7,57	0,11
32	То же	600	0,84	0,16	5	10	0,2	0,26	3,03	3,78	0,26
33	Керамзитобетон на перлитовом песке	1000	0,84	0,28	9	13	0,35	0,41	5,57	6,43	0,15
34	То же	800	0,84	0,22	9	13	0,29	0,35	4,54	5,32	0,17
35	Вермикулитобетон	800	0,84	0,21	8	13	0,23	0,26	3,97	4,58	0,12
36	То же	600	0,84	0,14	8	13	0,16	0,17	2,87	3,21	0,15
37	Полистиролбетон (ТУ 5741-159-002 84807, ТУ 5760-160-0284807)	600	1,06	0,145	4	8	0,175	0,20	3,07	3,49	0,068
<i>Б Бетоны ячеистые (ГОСТ 25485,ГОСТ 5742)</i>											
38	Газо- и пенобетон, газо- и пеносиликат	1000	0,84	0,29	10	15	0,41	0,47	6,13	7,09	0,11
39	То же	800	0,84	0,21	10	15	0,33	0,37	4,92	5,63	0,14
40	»	600	0,84	0,14	8	12	0,22	0,26	3,36	3,91	0,17
41	»	400	0,84	0,11	8	12	0,14	0,15	2,19	2,42	0,23
<i>В Кирпичная кладка из сплошного кирпича</i>											
42	Глиняного обыкновенного (ГОСТ 530) на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,56	1	2	0,7	0,81	9,2	10,12	0,11
43	Глиняного обыкновенного на цементно-шлаковом растворе	1700	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,76	8,64	9,7	0,12
44	Силикатного (ГОСТ 379) на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,7	2	4	0,76	0,87	9,77	10,9	0,11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Г Кирпичная кладка из пустотного кирпича</i>											
45	Керамического пустотного плотностью плотностью 1400 кг/м <sup>3</sup> (брутто) на цементно-песчаном растворе	1600	0,88	0,47	1	2	0,58	0,64	7,91	8,48	0,14
46	Керамического пустотного плотностью плотностью 1300 кг/м <sup>3</sup> (брутто) на цементно-песчаном растворе	1400	0,88	0,41	1	2	0,52	0,58	7,01	7,56	0,16
<i>Д Дерево и изделия из него</i>											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
47	Сосна и ель поперек волокон (ГОСТ 8486, ГОСТ 9463)	500	2,3	0,09	15	20	0,14	0,18	3,87	4,54	0,06
48	Сосна и ель вдоль волокон	500	2,3	0,18	15	20	0,29	0,35	5,56	6,33	0,32
49	Фанера клееная (ГОСТ 8673)	600	2,3	0,12	10	13	0,15	0,18	4,22	4,73	0,02
<b>III Конструкционные материалы</b>											
<i>А Бетоны (ГОСТ 7473,ГОСТ 25192) и растворы(ГОСТ 28013)</i>											
50	Железобетон (ГОСТ 26633)	2500	0,84	1,69	2	3	1,92	2,04	17,98	18,95	0,03
51	Бетон на гравии или щебне из природного камня (ГОСТ 26633)	2400	0,84	1,51	2	3	1,74	1,86	16,77	17,88	0,03
52	Раствор цементно-песчаный	1800	0,84	0,58	2	4	0,76	0,93	9,6	11,09	0,09
53	Раствор сложный (песок, известь, цемент)	1700	0,84	0,52	2	4	0,7	0,87	8,95	10,42	0,098
54	Раствор известково-песчаный	1600	0,84	0,47	2	4	0,7	0,81	8,69	9,76	0,12
<i>Б Облицовка природным камнем (ГОСТ 9480)</i>											
55	Гранит, гнейс и базальт	2800	0,88	3,49	0	0	3,49	3,49	25,04	25,04	0,008
56	Мрамор	2800	0,88	2,91	0	0	2,91	2,91	22,86	22,86	0,008
57	Известняк	2000	0,88	0,93	2	3	1,16	1,28	12,77	13,7	0,06
58	»	1800	0,88	0,7	2	3	0,93	1,05	10,85	11,77	0,075
59	»	1800	0,88	0,56	3	5	0,7	0,81	9,61	10,76	0,083
60	»	1600	0,88	0,41	3	5	0,52	0,64	7,81	9,02	0,09
<i>В Материалы кровельные, гидроизоляционные, облицовочные и рулонные покрытия для полов (ГОСТ 23835,ГОСТ 30547)</i>											
61	Асфальтобетон (ГОСТ 9128)	2100	1,68	1,05	0	0	1,05	1,05	16,43	16,43	0,008

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
62	Рубероид (ГОСТ 10923), пергамин (ГОСТ 2697), толь	600	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	3,53	3,53	0,008
63	Линолеум поливинилхлоридный на теплоизолирующей подоснове(ГОСТ 18108)	1800	1,47	0,38	0	0	0,38	0,38	8,56	8,56	0,002
64	То же	1600	1,47	0,33	0	0	0,33	0,33	7,52	7,52	0,002

*Г Металлы и стекло*

65	Сталь стержневая арматурная (ГОСТ 10884,ГОСТ 5781)	7850	0,482	58	0	0	58	58	126,5	126,5	0
66	Алюминий (ГОСТ 22233, ГОСТ24767)	2600	0,84	221	0	0	221	221	187,6	187,6	0
67	Стекло оконное (ГОСТ 111)	2500	0,84	0,76	0	0	0,76	0,76	10,79	10,79	0

**Примечания**

1. Расчетные значения коэффициента теплоусвоения (при периоде 24 ч) материала в конструкции вычисляем по формуле.

$$s=0.27 \sqrt{\lambda \rho_0 (c_0 + 0.0419w)},$$

где  $\lambda$ ,  $\rho_0$ ,  $c_0$ ,  $w$ - принимать по соответствующим графам настоящей таблицы.

2. Характеристики материалов в сухом состоянии приведены при массовом отношении влаги в материале  $w$ , %, равном нулю.

**Приложение 2.3****Коэффициент тепловосприятия внутренней поверхности ограждающей конструкции**

Внутренняя поверхность ограждения	Коэффициент тепловосприятия $\alpha_{int}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1. Стен, полов, гладких потолков, потолков с выступающими ребрами при отношении высоты $h$ ребер к расстоянию $a$ между гранями соседних ребер $h/a \leq 0,3$	8,7
2. Потолков с выступающими ребрами при отношении $h/a < 0,3$	7,6
3. Окон	8,0
4. Зенитных фонарей	9,9
Примечание: Коэффициент тепловосприятия $\alpha_{int}$ внутренней поверхности ограждающих конструкций животноводческих и птицеводческих зданий следует принимать в соответствии с СНиП 2.10.03	

**Приложение 2.4**

Наружная поверхность ограждающих конструкций	Коэффициент теплоотдачи для зимних условий $\alpha_{\text{ext}}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1. Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительной-климатической зоне	23
2. Перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительной-климатической зоне	17
3. Перекрытий чердачных и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах, а также наружных стен с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом	12
4. Перекрытий над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли, и над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	6

**Приложение 2.5**

**Нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции**

Здания и помещения	Нормируемый температурный перепад $\Delta t_n$ , °С, для			
	наружных стен	покрытий и чердачных перекрытий	перекрытий над проездами, подвалами и подпольями	зенитных фонарей
1. Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты	4,0	3,0	2,0	$t_{\text{int}} - t_d$
2. Общественные, кроме указанных в п.1, административные и бытовые, за исключением помещений с влажным или мокрым режимом	4,5	4,0	2,5	$t_{\text{int}} - t_d$
3. Производственные с сухим и нормальным режимами	$t_{\text{int}} - t_d$ , но не более 7	0,8( $t_{\text{int}} - t_d$ ), но не более 6	2,5	$t_{\text{int}} - t_d$
4. Производственные и другие помещения с влажным или мокрым режимом	$t_{\text{int}} - t_d$	0,8( $t_{\text{int}} - t_d$ )	2,5	-
5. Производственные здания со значительными избытками явной теплоты (более 23 Вт/м <sup>3</sup> ) и расчетной относительной влажностью внутреннего воздуха более 50%	12	12	2,5	$t_{\text{int}} - t_d$

Обозначения:  $t_{\text{int}}$  – то же, что в формуле (2);  
 $t_d$  – температура точки росы, °С, при расчетной температуре:  $t_{\text{int}}$  и относительной влажности внутреннего воздуха, принимаемым согласно 5.9 и 5.10, СанПиН 2.1.2.1002, ГОСТ 12.1.005 и СанПиН 2.2.4.548, СНиП 41-01 и нормам проектирования соответствующих зданий.  
 Примечание. Для здания картофеле- и овощехранилищ нормируемый температурный перепад  $\Delta t_n$  для наружных стен, покрытий и чердачных перекрытий следует принимать по СНиП 2.11.02.

Климатические параметры холодного периода года

Республика, край, область, пункт	Температура воздуха наиболее холодных суток, °С, обеспеченностью		Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С, обеспеченностью		Абсолютная минимальная температура воздуха, °С	Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца, °С	Продолжительность, сут., и средняя температура воздуха, °С, период со средней суточной температурой воздуха $\leq 8$ °С		Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца %	Количество осадков за ноябрь-март, мм	Преобладающее направление ветра за декабрь-февраль	Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с
	0,98	0,92	0,98	0,92			Продолжительность	Средняя температура				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ</b>												
<b>Республика Адыгея</b>												
Майкоп	-27	-22	-21	-19	-34	9	148	2,3	79	276	Ю	5,7
<b>Алтайский край</b>												
Барнаул	-44	-42	-41	-39	-52	10,2	221	-7,7	79	145	ЮЗ	5,9
<b>Амурская область</b>												
Белогорск	-43	-40	-41	-37	-48	10	223	-11,9	76	53	СЗ	2,7
Благовещенск	-38	-37	-36	-34	-45	10,5	218	-10,6	72	47	СЗ	3,4
Зея	-46	-44	-43	-42	-52	14,7	238	-13,8	69	35	-	3,5
Тында	-48	-46	-44	-42	-54	12,5	258	-14,7	75	62	З	5,3
<b>Архангельская область</b>												
Архангельск	-39	-37	-34	-31	-45	7,8	253	-4,4	86	188	ЮВ	5,9
Онега	-38	-36	-35	-31	-43	7,3	248	-3,9	85	200	ЮВ	4,6
<b>Астраханская область</b>												
Астрахань	-27	-26	-24	-23	-33	7,3	167	-1,2	84	82	В	4,8
Верхний Баскунчак	-32	-30	-28	-26	-37	7,2	179	-3	84	117	В	5,9
<b>Республика Башкортостан</b>												
Уфа	-41	-39	-38	-35	-49	8,3	213	-5,9	81	195	Ю	5,5
<b>Белгородская область</b>												

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Белгород	-29	-28	-27	-23	-35	5,9	191	-1,9	84	191	ЮЗ	5,9
<b>Брянская область</b>												
Брянск	-34	-30	-30	-26	-42	6,6	205	-2,3	85	177	ЮВ	6,3
<b>Республика Бурятия</b>												
Кяхта	-44	-37	-41	-35	-46	10,4	232	-9	74	28	Ю	4
Улан-Удэ	-46	-40	-40	-37	-51	11,1	237	-10,4	74	36	3	2,8
<b>Владимирская область</b>												
Владимир	-38	-34	-32	-28	-48	6,3	213	-3,5	84	194	Ю	4,5
Муром	-39	-35	-33	-30	-45	6,4	214	-4	84	166	Ю	-
<b>Волгоградская область</b>												
Волгоград	-33	-30	-28	-25	-35	5,6	178	-2,2	85	174	СВ	8,1
<b>Вологодская область</b>												
Вологда	-42	-37	-38	-32	-47	7,2	231	-4,1	85	171	ЮЗ	6
Вытегра	-40	-36	-35	-32	-49	7,1	235	-3,4	84	201	ЮВ	5,3
<b>Воронежская область</b>												
Воронеж	-32	-31	-28	-26	-37	6,7	196	-3,1	83	172	3	5,1
<b>Республика Дагестан</b>												
Дербент	-16	-13	-11	-9	-19	5,2	138	3,7	84	179	СЗ	5,2
Махачкала	-21	-19	-17	-14	-25	5,7	148	2,7	83	185	СЗ	8,5
<b>Ивановская область</b>												
Иваново	-38	-34	-34	-30	-45	7,1	219	-3,9	85	209	Ю	4,9
Кинешма	-39	-35	-33	-31	-45	6,4	221	-4,1	84	268	ЮЗ	-
<b>Иркутская область</b>												
Братск	-47	-46	-45	-43	-44	8,2	249	-8,6	81	95	ЮВ	3,4
Иркутск	-40	-38	-38	-36	-50	10,5	240	-8,5	80	87	ЮВ	2,9
Тайшет	-46	-45	-42	-40	-50	10,8	240	-8,3	78	125	3	6,4
<b>Усть-Ордынский-Бурятский АО</b>												
Усть-Ордынский-Бурятский АО	-46	-44	-44	-41	-50	11,1	243	-10,9	80	46	С	-
<b>Кабардино-Балкарская Республика</b>												
Нальчик	-24	-21	-20	-18	-31	7	168	0,6	86	136	ЮЗ	2,5
<b>Калининградская область</b>												
Калининград	-29	-24	-21	-19	-33	5	193	1,1	85	280	ЮВ	5,9
<b>Республика Калмыкия</b>												
<b>Хальмг Тангч</b>												
Элиста	-30	-27	-25	-23	-34	5,9	173	-1,2	90	132	В	7,6



## Продолжение прил. 2.6(а)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Калужская область</b>												
Калуга	-34	-31	-30	-27	-46	7,3	210	-2,9	83	213	Ю	4,9
<b>Камчатская область</b>												
Ключи	-43	-39	-40	-35	-49	9	257	-6,3	82	492	3	7,2
Петропавловск-Камчатский	-26	-22	-22	-20	-32	5,5	259	1,6	67	863	СЗ	9
<b>Карачаево-Черкесская Республика</b>												
Черкесск	-23	-21	-20	-18	-29	8,3	169	0,6	81	119	В	-
<b>Республика Карелия</b>												
Петрозаводск	-37	-34	-32	-29	-38	6,6	240	-3,1	86	169	ЮЗ	5,9
<b>Кемеровская область</b>												
Кемерово	-46	-42	-42	-39	-50	9,8	231	-8,3	82	94	Ю	6,8
<b>Кировская область</b>												
Вятка	-39	-37	-35	-33	-45	7,2	231	-5,4	86	167	Ю	5,3
<b>Республика Коми</b>												
Воркута	-46	-45	-43	-41	-52	8,6	306	-9,1	81	178	Ю	10,1
Печора	-51	-48	-46	-43	-55	-8,4	270	-7,9	82	183	ЮВ	5,6
Сыктывкар	-42	-41	-39	-36	-47	7,8	245	-5,8	83	156	ЮЗ	5,5
<b>Костромская область</b>												
Кострома	-40	-35	-34	-31	-46	6,5	222	-3,9	85	169	Ю	5,8
<b>Краснодарский край</b>												
Краснодар	-27	-23	-23	-19	-36	8,1	149	2	83	293	В	3,2
Сочи	-9	-6	-5	-3	-18	6,5	72	6,4	72	286	СВ	6,5
Тихорецк	-28	-25	-24	-22	-32	6,4	158	-1,1	85	243	В	6,8
<b>Красноярский край</b>												
Диксон-Таймырский АО	-45	-44	-42	-41	-49	7,7	365	-11,4	86	-	Ю	12,2
Дудинка-Таймырский АО	-53	-51	-48	-47	-57	8,9	303	-14,3	76	136	ЮВ	7,7
Игарка	-54	-53	-50	-49	-60	9,2	285	-13,9	77	152	ЮВ	7,8
Канск	-48	-46	-45	-42	-51	10,4	237	-8,8	77	80	3	7,3
Красноярск	-48	-44	-43	-40	-53	8,4	234	-7,1	71	85	3	6,2
Хатанга-Таймырский АО	-55	-52	-52	-49	-59	8,3	311	-17,1	79	91	ЮЗ	5,8
<b>Курганская область</b>												
Курган	-43	-41	-39	-37	-48	8,4	216	-7,7	79	95	Ю	-
<b>Курская область</b>												

## Продолжение прил. 2.6(а)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Курск	-32	-30	-29	-26	-35	6,3	198	-2,4	86	212	ЮЗ	5,3
<b>Липецкая область</b>												
Липецк	-34	-31	-29	-27	-38	6,8	202	-3,4	85	248	ЮЗ	5,9
<b>Ленинградская область</b>												
Тихвин	-37	-34	-32	-29	-51	7,3	227	-2,8	85	210	ЮЗ	5,5
Санкт-Петербург	-33	-30	-30	-26	-36	5,6	220	-1,8	86	200	ЮЗ	4,2
<b>Магаданская область</b>												
Магадан(Нагаева бухта)	-34	-32	-31	-29	-35	5,2	288	-7,1	63	114	СВ	7,3
<b>Республика Марий Эл</b>												
Йошкар-Ола	-42	-39	-38	-34	-47	8	220	-5,1	83	151	Ю	6,2
<b>Республика Мордовия</b>												
Саранск	-38	-34	-34	-30	-44	6,7	209	-4,5	83	155	Ю	6,9
<b>Московская область</b>												
Москва	-36	-32	-30	-28	-42	6,5	214	-3,1	84	201	ЮЗ	4,9
<b>Мурманская область</b>												
Мончегорск	-40	-38	-34	-30	-44	9,5	271	-4,5	84	126	Ю	5,7
Мурманск	-35	-32	-29	-27	-39	6,2	275	-3,2	84	166	Ю	7,5
<b>Нижегородская область</b>												
Арзамас	-40	-36	-35	-32	-43	7	216	-4,7	85	238	ЮЗ	7,5
Нижний Новгород	-38	-34	-34	-31	-41	6,1	215	-4,1	84	172	ЮЗ	5,1
<b>Новгородская область</b>												
Новгород	-38	-31	-33	-27	-45	6,8	221	-2,3	85	176	Ю	6,6
<b>Новосибирская область</b>												
Новосибирск	-44	-42	-42	-39	-50	9,3	230	-8,7	80	104	ЮЗ	5,7
<b>Омская область</b>												
Омск	-42	-41	-39	-37	-49	8,8	221	-8,4	80	79	ЮЗ	5,1
<b>Оренбургская область</b>												
Оренбург	-37	-36	-34	-31	-43	8,1	202	-6,3	80	143	В	5,5
<b>Орловская область</b>												
Орел	-35	-31	-30	-26	-39	6,5	205	-2,7	86	178	ЮЗ	6,5
<b>Пензенская область</b>												
Пенза	-35	-33	-32	-29	-43	7,1	207	-4,5	84	221	Ю	5,6
<b>Пермская область</b>												

## Продолжение прил. 2.6(а)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Пермь	-42	-39	-38	-35	-47	7,1	229	-5,9	81	192	Ю	5,2
<b>Приморский край</b>												
Владивосток	-27	-26	-25	-24	-30	8,7	196	-3,9	61	129	С	9
<b>Псковская область</b>												
Великие Луки	-34	-31	-31	-27	-46	7,1	212	-1,9	84	177	ЮВ	6,1
Псков	-35	-31	-30	-26	-41	6,1	212	-1,6	86	179	Ю	4,8
<b>Ростовская область</b>												
Миллерово	-31	-29	-27	-25	-36	6,5	184	-2,1	84	188	В	7,9
Ростов-на-Дону	-29	-27	-25	-22	-33	6,1	171	-0,6	85	219	В	6,5
Таганрог	-28	-26	-25	-22	-32	5,5	167	-0,4	86	214	В	-
<b>Рязанская область</b>												
Рязань	-36	-33	-30	-27	-41	7	208	-3,5	83	172	Ю	7,3
<b>Самарская область</b>												
Самара	-39	-36	-36	-30	-43	6,7	203	-5,2	84	176	ЮВ	5,4
<b>Свердловская область</b>												
Екатеринбург	-42	-40	-38	-35	-47	7,1	230	-6	79	114	3	5
<b>Саратовская область</b>												
Саратов	-34	-33	-30	-27	-37	6,9	196	-4,3	82	159	СЗ	5,6
<b>Сахалинская область</b>												
Александровск-Сахалинский	-32	-30	-29	-27	-41	9	240	-6,2	77	209	ЮВ	7,8
Оха	-34	-32	-31	-29	-39	6,8	266	-7,3	81	192	СЗ	11,2
Холмск	-22	-21	-19	-18	-25	5,9	220	-2,3	75	305	ЮВ	10,7
Южно-Курильск	-16	-15	-13	-12	-20	6,1	228	0,1	74	410	СЗ	8,5
Южно-Сахалинск	-28	-26	-25	-24	-36	10,8	230	-4,3	81	263	С	4,8
<b>Республика Северная Осетия-Алания</b>												
Владикавказ	-24	-20	-20	-18	-28	9,5	174	0,4	82	163	ЮВ	3
<b>Смоленская область</b>												
Смоленск	-34	-31	-28	-26	-41	6,1	215	-2,4	86	234	Ю	6,8
<b>Ставропольский край</b>												
Ставрополь	-26	-23	-22	-19	-31	6,6	168	0,9	82	196	3	7,4
<b>Тамбовская область</b>												
Тамбов	-34	-32	-30	-28	-39	6,7	201	-3,7	84	194	ЮВ	4,7
<b>Республика Татарстан</b>												
Елабуга	-42	-38	-38	-34	-47	7,7	215	-5,5	81	173	ЮЗ	4,7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Казань	-41	-36	-36	-32	-47	6,8	215	-5,2	83	135	Ю	5,7
<b>Тверская область</b>												
Тверь	-37	-33	-33	-29	-50	7,2	218	-3	85	206	ЮЗ	6,2
<b>Томская область</b>												
Томск	-47	-44	-44	-40	-55	8,7	236	-8,4	80	185	Ю	5,6
<b>Республика Тыва</b>												
Кызыл	-49	-48	-48	-47	-54	10,9	225	-15	73	58	В	1,7
<b>Тульская область</b>												
Тула	-35	-31	-30	-27	-42	6,8	207	-3	83	187	ЮВ	4,9
<b>Тюменская область</b>												
Салехард	-48	-46	-43	-42	-54	10,2	292	-11,4	84	101	Ю	4,6
Сургут-Ханты-Мансийский АО	-48	-47	-45	-43	-55	9,7	257	-9,9	79	209	ЮЗ	5,3
Тобольск	-47	-43	-44	-39	-52	9,5	232	-8,1	82	113	ЮВ	6,3
Тюмень	-45	-42	-42	-38	-50	9,2	225	-7,2	81	107	ЮЗ	3,9
Уренгой-Ямало-Ненецкий АО	-53	-50	-49	-46	-56	9,9	286	-13,1	78	117	ЮЗ	-
Ханты-Мансийск-Ханты-Мансийский АО	-47	-45	-45	-41	-49	8,7	250	-8,8	82	139	ЮЗ	6,9
<b>Удмуртская Республика</b>												
Ижевск	-41	-38	-38	-34	-48	6,9	222	-5,6	85	168	ЮЗ	4,8
<b>Ульяновская область</b>												
Ульяновск	-38	-36	-36	-31	-48	7,4	212	-5,4	82	220	-	-
<b>Хабаровский Край</b>												
Биробиджан	-38	-34	-35	-32	-43	14,9	219	-10,4	74	84	З	-
Комсомольск-на-Амуре	-38	-37	-37	-35	-45	9,9	223	-10,8	79	93	Ю	5,7
Николаевск-на-Амуре	-41	-38	-39	-35	-47	8,5	249	-9,6	78	210	З	4,5
Охотск	-38	-36	-35	-33	-45	6,3	280	-9,5	64	72	С	-
Советская Гавань	-32	-30	-29	-27	-40	11,3	243	-6	70	208	ЮЗ	-
Хабаровск	-37	-34	-34	-31	-43	7,7	211	-9,3	75	116	ЮЗ	5,9
<b>Республика Хакасия</b>												
Абакан	-44	-42	-41	-40	-47	10,8	225	-9,7	79	40	-	-
<b>Челябинская область</b>												
Челябинск	-39	-38	-35	-34	-48	9,4	218	-6,5	78	104	ЮЗ	4,5
<b>Чеченская Республика</b>												
Грозный	-23	-22	-20	-18	-32	7,1	160	0,9	89	128	СЗ	3,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Читинская область</b>												
Нерчинск	-48	-46	-47	-44	-54	13,3	233	-14,1	77	23	3	4,4
Чара	-50	-49	-48	-46	-56	13,4	267	-15,5	79	25	СВ	-
Чита	-44	-41	-42	-38	-47	14,5	242	-11,4	75	20	В	3,2
<b>Чувашская Республика-Чаваш республики</b>												
Чебоксары	-40	-36	-35	-32	-44	6,8	217	-4,9	84	160	Ю	-
<b>Чукотский АО (Магаданская область)</b>												
Анадырь	-43	-42	-42	-40	-45	7,7	311	-10,5	81	140	СЗ	11,4
<b>Республика Саха(Якутия)</b>												
Верхоянск	-63	-61	-62	-59	-68	7,3	279	-24,1	74	37	ЮЗ	2,1
Вилуйск	-58	-56	-53	-52	-61	8,3	262	-18,2	75	65	ЮЗ	3
Якутск	-59	-57	-57	-54	-64	8,9	256	-20,6	73	48	С	2,6
<b>Ненецкий АО (Архангельская область)</b>												
Нарьян-Мар	-44	-42	-40	-37	-48	8,6	290	-7,2	83	123	Ю	6,3
<b>Ярославская область</b>												
Ярославль	-37	-34	-34	-31	-46	8,3	221	-4	83	174	Ю	5,5
<b>РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ</b>												
<b>Брестская область</b>												
Брест	-30	-25	-24	-21	-36	5,5	186	0,1	85	185	ЮЗ	3,7
<b>Витебская область</b>												
Витебск	-36	-31	-30	-25	-41	6,2	207	-2,1	85	202	Ю	4,8
<b>Гомельская область</b>												
Гомель	-32	-28	-28	-24	-35	6,3	194	-1,6	84	194	Ю	4
<b>Гродненская область</b>												
Гродно	-31	-26	-25	-22	-36	5,7	194	-0,5	87	186	3	5,6
<b>Минская область</b>												
Минск	-33	-28	-28	-24	-39	6,2	202	-1,6	86	228	Ю	3,7
<b>Могилевская область</b>												
Могилев	-34	-29	-28	-24	-37	6,4	204	-1,9	86	217	Ю	4,7

## Климатические параметры теплого периода года

Республика, край, область, пункт	Барометрическое давление, гПа	Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,95	Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца, °С	Абсолютная максимальная температура воздуха, °С	Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца, °С	Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %	Преобладающее направление ветра за июнь- август	Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, м/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ</b>								
<b>Республика Адыгея</b>								
Майкоп	990	26,6	29	41	12,8	67	Ю	2,1
<b>Алтайский край</b>								
Барнаул	990	24,5	26	38	12,3	70	СВ	0
<b>Амурская область</b>								
Благовещенск	990	24,7	27	41	10,6	77	Ю	0
Зея	980	23,1	25,5	36	14,3	78	-	0
Тында	950	22,5	24,9	36	14,9	76	З	0
<b>Астраханская область</b>								
Астрахань	1015	28,4	31	40	11,1	55	В	3,6
Верхний Баскунчак	1010	29	31,4	45	13,1	45	З	0
<b>Республика Башкортостан</b>								
Уфа	990	23,3	24,2	39	10,7	72	С	0
<b>Белгородская область</b>								
Белгород	990	23,3	25,7	38	11,4	66	СВ	4,1
<b>Брянская область</b>								
Брянск	990	20,4	22,8	38	9,7	73	СЗ	0
<b>Республика Бурятия</b>								
Кяхта	920	22,4	24,8	39	11,9	64	С	0
Улан-Удэ	950	23,5	25,9	40	13,2	65	СЗ	0
<b>Владимирская область</b>								
Владимир	995	20,8	23,3	37	9,8	72	С	3,3
Муром	1000	22,7	23,3	37	10,6	70	ЮЗ	-
<b>Волгоградская область</b>								
Волгоград	1000	27,6	30	44	11,6	51	СЗ	5,2
<b>Вологодская область</b>								
Вологда	995	21,2	22,3	39	11	76	З	0
<b>Воронежская область</b>								
Воронеж	1000	24,1	25,9	38	11,5	66	С	3,3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Республика Дагестан</b>								
Дербент	1015	25,8	28,2	38	7,3	67	СЗ	0
Махачкала	1015	26,2	28,6	38	7,8	64	ЮВ	4,9
<b>Ивановская область</b>								
Иваново	995	20,9	23,3	38	11,1	72	З	2,8
Кинешма	1000	21,4	23,8	38	11,3	71	ЮЗ	-
<b>Иркутская область</b>								
Братск	970	21,1	23,5	33	10,6	72	СЗ	0
Иркутск	955	21,8	24,7	36	13,4	74	ЮВ	2,2
Тайшет	975	22,4	24,8	36	13,2	71	З	0
Усть-Ордынский- Бурятский АО	955	22,8	25,2	37	13,8	72	СЗ	-
<b>Кабардино-Балкарская Республика</b>								
Нальчик	970	24,6	27	39	10,4	68	ЮЗ	0
<b>Калининградская область</b>								
Калининград	1010	21,2	22,4	36	9,3	77	З	4,3
<b>Республика Калмыкия Хальмг Тангч</b>								
Элиста	995	28,5	31	43	13	48	З	0
<b>Калужская область</b>								
Калуга	990	21	23,4	38	10,7	76	СЗ	0
<b>Карачаево-Черкесская Республика</b>								
Черкесск	955	24,8	27,2	39	11,5	67	Ю	-
<b>Кемеровская область</b>								
Кемерово	990	22,7	25,1	37	12,9	73	ЮЗ	0
<b>Кировская область</b>								
Вятка	995	21,8	23,1	37	10,1	70	З	4
<b>Костромская область</b>								
Кострома	995	21,2	23,1	37	9,9	74	-	4,2
<b>Краснодарский край</b>								
Краснодар	1010	27,4	29,8	42	13,2	64	СВ	0
Сочи	1010	24,8	26,6	39	7,5	77	СВ	0
Тихорецк	1005	27,6	30	42	13,2	59	В	0
<b>Красноярский край</b>								
Богучаны	990	23,3	25,7	38	13,5	68	З	0
Канск	985	23,1	25,5	36	13,3	69	З	0
Красноярск	980	22	24,3	36	11,1	70	З	0
<b>Курганская область</b>								
Курган	1000	23,8	25,2	41	11,9	69	С	-
<b>Курская область</b>								
Курск	985	21,6	24	37	10	69	СВ	3,5
<b>Липецкая область</b>								
Липецк	995	23,5	25,9	39	11,6	66	СЗ	4,1
<b>Республика Марий Эл</b>								
Йошкар-Ола	1000	21,8	24	39	11,6	73	З	0
<b>Республика Мордовия</b>								
Саранск	990	22,5	24,9	39	11,5	69,51	С	0
<b>Московская область</b>								
Москва	995	22,6	23,6	37	10,5	70	СЗ	0

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Нижегородская область</b>								
Арзамас	990	22,2	24,6	37	11,4	70	3	4,2
Нижний Новгород	995	22,4	23,5	36	9,3	70	3	0
<b>Новгородская область</b>								
Новгород	1010	20,3	22,7	34	11	76	ЮЗ	4
<b>Новосибирская область</b>								
Новосибирск	995	22	24,6	38	11,4	72	ЮЗ	0
<b>Омская область</b>								
Омск	995	23,3	25	40	8	68	СЗ	3,7
<b>Оренбургская область</b>								
Оренбург	1000	26,1	28,5	42	13,1	57	С	3,9
<b>Орловская область</b>								
Орел	990	21,7	24,1	38	11,1	71	СЗ	3,9
<b>Пензенская область</b>								
Пенза	985	22,9	25,3	39	10,9	67		-
<b>Пермская область</b>								
Пермь	990	21,5	23,4	37	10,9	69	С	0
<b>Приморский край</b>								
Владивосток	1010	21,4	24,8	35	6,5	84	ЮВ	4,7
<b>Псковская область</b>								
Псков	1005	21,4	22,9	36	10,7	74	3	3,5
<b>Ростовская область</b>								
Миллерово	995	26	28,4	40	13	57	СВ	0
Ростов-на-Дону	1005	26,1	29,1	40	12,2	58	В	3,6
Таганрог	1010	25,8	28,2	40	9,1	61	В	-
<b>Рязанская область</b>								
Рязань	1000	21,7	24,1	38	10,5	71	3	4,1
<b>Самарская область</b>								
Самара	995	24,6	25,9	39	12,8	63	3	3,2
<b>Свердловская область</b>								
Екатеринбург	980	22	23,1	38	10,6	68	3	4
Ивдель	1000	20,7	22,7	35	11,9	70	С	-
<b>Саратовская область</b>								
Саратов	1005	25,1	27,5	41	11,5	56	СЗ	4,3
<b>Республика Северная Осетия-Алания</b>								
Владикавказ	940	23	25,4	38	10,4	75	Ю	0
<b>Смоленская область</b>								
Смоленск	985	20,8	22,3	35	10,2	77	СЗ	3,2
<b>Ставропольский край</b>								
Ставрополь	965	25	27,4	40	9,8	59	3	0
<b>Тамбовская область</b>								
Тамбов	995	23,2	25,6	38	11,2	67	С	2,8
<b>Республика Татарстан</b>								
Елабуга	1000	29,9	25,3	40	11,3	67	СЗ	0
Казань	1000	23,5	24,7	38	10,8	69	СЗ	0
<b>Тверская область</b>								
Тверь	995	20,6	23	36	11,1	75	3	0
<b>Томская область</b>								



Томск	990	21,7	23,7	36	11	74	Ю	0	
<b>Республика Тыва</b>									
Кызыл	935	24,5	26,9	38	13,7	58	С	0	
<b>Тульская область</b>									
Тула	995	21,9	24,3	38	11	70	СЗ	3,4	
<b>Тюменская область</b>									
Тобольск	1000	21,5	23,6	35	10,3	71	СЗ	0	
Тюмень	1000	21,6	24	38	11,3	74	СЗ	0	
Ханты-Мансийск-Ханты-Мансийский АО	1005	20,2	22,6	34	9,2	70	СВ	4,9	
<b>Удмуртская Республика</b>									
Ижевск	995	22,4	24,1	37	10,6	69	З	0	
<b>Ульяновская область</b>									
Ульяновск	990	23,3	25,7	40	11,8	66	-	-	
<b>Хабаровский Край</b>									
Биробиджан	995	23,6	26	39	11,2	84	СВ	-	
Комсомольск-на Амуре	1005	22,8	25,2	35	9,9	78	Ю	0	
Хабаровск	1000	23,5	25,7	40	8,6	78	ЮЗ	4,6	
<b>Республика Хакасия</b>									
Абакан	980	23,8	26,2	38	12,9	68	-	-	
<b>Челябинская область</b>									
Челябинск	985	21,7	24,1	40	10,7	69	СЗ	3,2	
<b>Чеченская Республика</b>									
Грозный	995	29	30,7	41	12,7	66	В	0	
<b>Читинская область</b>									
Нерчинск	950	24,3	26,7	40	13,5	69	СВ	0	
Чара	940	20,2	23,6	35	14,8	72	СВ	-	
Чита	935	22,8	25,2	38	14,2	71	С	0	
<b>Чувашская Республика-Чаваш республики</b>									
Чебоксары	1000	21,7	24,1	39	10,1	70	З	-	
<b>Республика Саха(Якутия)</b>									
Верхоянск	995	20,7	22,1	36	13,8	63	СВ	0	
Вилюйск	995	22,8	24,5	37	12,8	61	С	0	
Якутск	995	22,8	25,2	38	13,5	60	СЗ	0	
<b>Ярославская область</b>									
Ярославль	1000	20,8	23,2	37	10,8	74	С	3,9	
<b>РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ</b>									
<b>Брестская область</b>									
Брест	1000	22,5	24	37	10,8	70	З	2,9	
<b>Витебская область</b>									
Витебск	995	21	23	35	10,3	74	З	3,1	
<b>Гомельская область</b>									
Гомель	1000	22,5	24	38	10,5	69	СЗ	3,4	
<b>Гродненская область</b>									
Гродно	1000	22	24	36	10,6	73	З	0	
<b>Минская область</b>									
Минск	990	21	23	35	10,3	70	СЗ	2	
<b>Могилевская область</b>									
Могилев	990	21,5	23	36	10,8	73	З	3,7	

Коэффициент, учитывающий зависимость положения ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху

Ограждающие конструкции	Коэффициент n
1. Наружные стены и покрытия (в том числе вентилируемые наружным воздухом), зенитные фонари, перекрытия чердачные (с кровлей из штучных материалов) и над проездами; перекрытия над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительной-климатической зоне	1
2. Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытия чердачные (с кровлей из рулонных материалов); перекрытия над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительной-климатической зоне	0,9
3. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах	0,75
4. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенные выше уровня земли	0,6
5. Перекрытия над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	0,4
Примечание. Для чердачных перекрытий теплых чердаков и цокольных перекрытий над подвалами с температурой воздуха в них $t_c$ большей $t_{ext}$ , но меньшей $t_{int}$ коэффициент n следует определять по формуле $n = (t_{int} - t_c)/(t_{int} - t_{ext})$ .	

Приложение 2.8

Нормируемые значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Здания и помещения, коэффициенты a и b	Граду-со-сутки отопительного периода $D_d$ , °C·сут	Нормируемые значения сопротивления теплопередаче $R_{req}$ , м <sup>2</sup> ·°C/Вт, ограждающих конструкций				
		стен	покры-тий и перекры-тий над проезда-ми	перекрытий чердачных, над не-отапли-ваемыми под-польями и подвалами	окон и балкон-ных дверей, витрин и витражей	фонарей с верти-кальным остеклени-ем
1	2	3	4	5	6	7
1. Жилые, лечебно-профилактические и 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

1	2	3	4	5	6	7
2. Общественные, кроме указанных выше, административные и бытовые, производственные и другие здания и помещения 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	0,5	0,4
	8000	3,6	4,8	4,1	0,6	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	0,00005
b	-	1,2	1,6	1,3	0,2	0,25
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
	a	-	0,002	0,0025	0,0002	0,00002 5
b	-	1,0	1,5	1,0	0,2	0,15

## Примечания:

1. Значения  $R_{\text{ред}}$  для величин  $D_d$ , отличающихся от табличных, следует определять по формуле:  $R_{\text{ред}} = aD_d + b$ ,

где  $D_d$  – градусо-сутки отопительного периода, °С·сут, для конкретного пункта;

$a$ ,  $b$  – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы для соответствующих групп зданий, за исключением графы 6 для группы зданий в поз. 1, где для интервала до 6000 °С·сут:  $a = 0,000075$ ,  $b = 0,15$ ; для интервала 6000-8000 °С·сут:  $a = 0,00005$ ,  $b = 0,3$ ; для интервала 8000 °С·сут:  $a = 0,000025$ ,  $b = 0,5$ .

2. Нормируемое приведенное сопротивление теплопередаче глухой части балконных дверей должно быть не менее чем в 1,5 раза выше нормируемого сопротивления теплопередаче светопрозрачной части этих конструкций.

3. Нормируемые значения сопротивления теплопередаче чердачных и цокольных перекрытий, отделяющих помещения здания от неотапливаемых пространств с температурой  $t_c (t_{\text{ext}} < t_c < t_{\text{int}})$ , следует уменьшать умножением величин, указанных в графе 5, на коэффициент  $n$ , определяемый по примечанию к таблице 6. При этом расчетную температуру воздуха в теплом чердаке, теплом подвале и остекленной лоджии и балконе следует определять на основе расчета теплового баланса.

4. Допускается в отдельных случаях, связанных с конкретными конструктивными решениями заполнений оконных и других проемов, применять конструкции окон, балконных дверей и фонарей с приведенным сопротивлением теплопередаче на 5% ниже установленного в таблице.

5. Для группы зданий в поз. 1 нормируемые значения сопротивления теплопередаче перекрытий над лестничной клеткой и теплым чердаком, а также над проездами, если перекрытия являются полом технического этажа, следует принимать как для группы зданий в поз. 2.

**Приложение 2.9**

Таблица 1

$R_o^{усл}, м^2 \cdot ^\circ C / Вт$	$\gamma_1$ при $F_1/F_2$		
	0,25	0,15	0,05
3,0	0,5	0,56	0,79
2,1	0,67	0,73	0,83
1,7	0,76	0,80	0,86
1,4	0,83	0,85	0,87

Обозначения, принятые в табл. 1:  
 $F_1$  – площадь ребер в конструкции,  $м^2$ ;  
 $F_2$  – площадь конструкции (без учета площади оконных и дверных проемов),  $м^2$ .

Таблица 2

Плотность материала $\gamma$ , $кг/м^3$	1000	1200	1400	1600	2400
$\gamma_2$	1,0	1,0	0,9	0,8	0,6

Примечание. Для трехслойных конструкций толщиной менее 0,3 м коэффициент  $\gamma$  следует умножить на 0,9.

**Приложение 2.10**

Таблица 1

Конструктивные слои		Коэффициент $\gamma$ при расстоянии между гибкими связями $a$ , м							
		0,6		0,8		1,0		1,2	
Материал	Плотность материала $\gamma$ , $кг/м^3$	Диаметр стержня гибкой связи $d$ , мм							
		8	12	8	12	8	12	8	12
Керамзитобетон	1000	0,95	0,91	0,96	0,94	0,97	0,96	0,98	0,96
	1200	0,93	0,89	0,95	0,92	0,96	0,94	0,97	0,95
	1400	0,91	0,87	0,94	0,90	0,95	0,92	0,96	0,94
	1600	0,89	0,84	0,93	0,88	0,94	0,91	0,95	0,93
Тяжелый бетон	2400	0,74	0,69	0,80	0,75	0,84	0,81	0,87	0,85

Таблица 2

Ограждающая конструкция	Коэффициент $\gamma$
1. Из однослойных легковесных панелей	0,90
2. Из легковесных панелей с термовкладышами	0,75
3. Из трехслойных железобетонных панелей с эффективным утеплителем и гибкими связями	0,70
4. Из трехслойных железобетонных панелей с эффективным утеплителем и железобетонными шпонками или ребрами из керамзитобетона	0,60
5. Из трехслойных железобетонных панелей с эффективным утеплителем и железобетонными ребрами	0,50
6. Из трехслойных металлических панелей с эффективным утеплителем	0,75
7. Из трехслойных асбестоцементных панелей с эффективным утеплителем	0,70

Схема теплопроводного включения по прил. 5*		Коэффициент $\eta$ при $a/\delta$							
		0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0
I		0,52	0,65	0,79	0,86	0,90	0,93	0,95	0,98
II а	При $\delta_v/\delta_n$								
	0,5	0,30	0,46	0,68	0,79	0,86	0,91	0,97	1,00
	1,0	0,24	0,38	0,56	0,69	0,77	0,83	0,93	1,00
	2,0	0,19	0,31	0,48	0,59	0,67	0,73	0,85	0,94
	5,0	0,16	0,28	0,42	0,51	0,58	0,64	0,76	0,84
III	При $c/\delta$								
	0,25	3,60	3,26	2,72	2,30	1,97	1,71	1,47	1,38
	0,50	2,34	2,26	1,97	1,76	1,62	1,48	1,31	1,22
	0,75	1,28	1,52	1,40	1,28	1,21	1,17	1,11	1,09
IV	При $c/\delta$								
	0,25	0,16	0,28	0,45	0,57	0,66	0,74	0,87	0,95
	0,50	0,23	0,39	0,57	0,60	0,77	0,83	0,91	0,95
	0,75	0,29	0,47	0,67	0,78	0,84	0,88	0,93	0,95

Примечания:

1. Для промежуточных значений  $a/\delta$  коэффициент  $\eta$  следует определять интерполяцией.
2. При  $a/\delta > 2,0$  следует принимать  $\eta = 1$ .
3. Для параллельных теплопроводных включений типа II а табличное значение коэффициента  $\eta$  следует принимать с поправочным множителем  $1+e^{-5L}$  (где L – расстояние между включениями, м).

Приложение 2.12

Схема теплопроводного включения по прил. 5*		Коэффициент $\xi$ при $a\lambda_r/\delta\lambda$								
		0,25	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	20,0	50,0	150,0
I		0,105	0,160	0,227	0,304	0,387	0,430	0,456	0,485	0,503
II б		-	-	-	0,156	0,206	0,257	0,307	0,369	0,436
III	При $c/\delta$									
	0,25	0,061	0,075	0,085	0,091	0,096	0,100	0,101	0,101	0,102
	0,50	0,084	0,112	0,140	0,160	0,178	0,184	0,186	0,187	0,188
	0,75	0,106	0,142	0,189	0,227	0,267	0,278	0,291	0,292	0,293
IV	При $c/\delta$									
	0,25	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005
	0,50	0,006	0,008	0,011	0,012	0,014	0,017	0,019	0,021	0,022
	0,75	0,013	0,022	0,033	0,045	0,058	0,063	0,066	0,071	0,073
V	При $\delta_v/\delta_n$									
	0,75	0,007	0,021	0,055	0,147	-	-	-	-	-
	1,00	0,006	0,017	0,047	0,127	-	-	-	-	-
	2,00	0,003	0,011	0,032	0,098	-	-	-	-	-

Примечания:

1. Для промежуточных значений  $a\lambda_r/\delta\lambda$  коэффициент  $\xi$  следует определять интерполяцией.
2. Для теплопроводного включения типа V при наличии плотного контакта между гибкими связями и арматурой (сварка или скрутка вязальной проволокой) в формуле (13а) вместо  $R_o^{ysl}$  следует принимать  $R_o^{np}$

### Приложение 2.13

Температура, относительная влажность и температура точки росы внутреннего воздуха помещений, принимаемые при теплотехнических расчетах ограждающих конструкций.

Здания	Температура внутреннего воздуха, $t_{int}, ^\circ\text{C}$	Относительная влажность внутреннего воздуха, $\varphi, \%$	Температура точки росы $t_d, ^\circ\text{C}$
Жилые, общественные и школьные	20	55	10,7
Поликлиники и лечебные учреждения	21	55	11,6
Детские дошкольные учреждения	22	55	12,6

### Приложение 2.14

Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек

Толщина воздушной прослойки, м	Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки $R_{в.п.}, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$			
	Горизонтальной при потоке тепла снизу вверх и вертикальной		Горизонтальной при потоке тепла сверху вниз	
	При температуре воздуха в прослойке			
	положительной	отрицательной	положительной	отрицательной
0,01	0,13	0,15	0,14	0,15
0,02	0,14	0,15	0,15	0,19
0,03	0,14	0,16	0,16	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,1	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,15	0,18	0,19	0,24
0,2-0,3	0,15	0,19	0,19	0,24

Примечание. При оклейке одной или обеих поверхностей воздушной прослойки алюминиевой фольгой термическое сопротивление следует увеличивать в 2 раза.

### Приложение 2.15

Материал наружной поверхности ограждающей конструкции	Коэффициент поглощения солнечной радиации $\rho$
1	2
1. Алюминий	0,5
2. Асбестоцементные листы	0,65
3. Асфальтобетон	0,9
4. Бетоны	0,7
5. Дерево неокрашенное	0,6
6. Защитный слой рулонный кровли из светлого гравия	0,65
7. Кирпич глиняный красный	0,7
8. Кирпич силикатный	0,6
9. Облицовка природным камнем белым	0,45

1	2
10. Окраска силикатная темно-серая	0,7
11. Окраска известковая белая	0,3
12. Плитка облицовочная керамическая	0,8
13. Плитка облицовочная стеклянная синяя	0,6
14. Плитка облицовочная белая или палевая	0,45
15. Рубероид с песчаной посыпкой	0,9
16. Сталь листовая, окрашенная белой краской	0,45
17. Сталь листовая, окрашенная темно-красной краской	0,8
18. Сталь листовая, окрашенная зеленой краской	0,6
19. Сталь кровельная оцинкованная	0,65
20. Стекло облицовочное	0,7
21. Штукатурка известковая темно-серая или терракотовая	0,7
22. Штукатурка цементная светло-голубая	0,3
23. Штукатурка цементная темно-зеленая	0,6
24. Штукатурка цементная кремовая	0,4

### Приложение 2.16

Широта, град. с.ш.	Ориентация поверхности	Суммарная солнечная радиация, Вт/м <sup>2</sup>	
		Максимальная $I_{\max}$	Средняя $I_{\text{av}}$
36	Горизонтальная	1000	344
	Западная	712	162
38	Горизонтальная	942	334
	Западная	721	163
40	Горизонтальная	928	333
	Западная	740	169
42	Горизонтальная	915	334
	Западная	748	175
44	Горизонтальная	894	331
	Западная	756	180
46	Горизонтальная	880	329
	Западная	752	182
48	Горизонтальная	866	328
	Западная	764	184
50	Горизонтальная	859	328
	Западная	774	187
52	Горизонтальная	852	329
	Западная	781	194
54	Горизонтальная	838	329
	Западная	788	200
56	Горизонтальная	817	327
	Западная	786	201

Максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле

№ пп	Пункт	Амплитуда, $A_{t_{ext}}$ °С	№ пп	Пункт	Амплитуда, $A_{t_{ext}}$ °С
1	2	3	4	5	6
1	Акъяр (Башкортостан)	23,3	41	Москва	18,5
2	Алдан (Якутия)	21,6	42	Нерчинский завод (Читинская область)	25,3
3	Александров-Сахалинский	17,2	43	Нижнеангарск (Бурятия)	22,2
4	Арзамас (Нижегородская область)	18,5	44	Нижний Новгород	17,5
5	Архара (Амурская область)	20,9	45	Николаевск-на-Амуре	23,5
6	Барабинск (Новосибирская область)	21,1	46	Новороссийск	16,4
7	Баргузин (Бурятия)	24,5	47	Новосибирск	22,5
8	Барнаул	22,1	48	Норский Склад (Амурская область)	26,6
9	Беля (Алтайский край)	17,7	49	Омск	22,5
10	Бийск (Алтайский край)	22,7	50	Онгудай (Алтайский край)	26,5
11	Бикин (Хабаровский край)	22,2	51	Орджоникидзе (Владикавказ)	19,6
12	Благовещенск	19,8	52	Орел	19,7
13	Бомнак (Амурская область)	25,6	53	Оренбург	22,7
14	Борзя (Читинская область)	27,2	54	Пенза	19,2
15	Владивосток	16,7	55	Петропавловск-Камчатский	17
16	Воронеж	19,9	56	Пограничный (Приморский край)	21,9
17	Гигант (Ростовская область)	20,8	57	Поронайск (Сахалинская область)	19,6
18	Грозный	23,3	58	Рубцовск (Алтайский край)	24
19	Екатерино-Никольское (Хабаровский край)	17,4	59	Рязань	20,3
20	Жигалово (Иркутская область)	27,8	60	Самара	18,5
21	Жиздра (Калужская область)	25,3	61	Саранск (Мордовия)	20,4
22	Иркутск	25,2	62	Саратов	20,4
23	Казань (Татарстан)	19,1	63	Сковородино (Амурская область)	29,9



1	2	3	4	5	6
24	Калакан (Читинская область)	29,1	64	Славгород (Алтайский край)	22,9
25	Катанда (Алтайский край)	26,8	65	Слюдянка (Иркутская область)	18,2
26	Кемерово	22	66	Сочи	14,6
27	Кировское (Сахалинская область)	24,1	67	Сретенск (Читинская область)	26,5
28	Козыревск (Камчатская область)	25,2	68	Тамбов	20,4
29	Комсомольск-на-Амуре	19,6	69	Тула	22,3
30	Кондома (Кемеровская область)	26,6	70	Улан-Удэ (Бурятия)	25,2
31	Кош-Агач (Алтайский край)	23,8	71	Ульяновск	21,6
32	Краснодар	22,5	72	Усть-Камчатск	17,1
33	Красный Чикой (Читинская область)	26,8	73	Усть-Нюкжа (Амурская область)	27
34	Курган	23,1	74	Уфа (Башкортостан)	19
35	Курильск (Сахалинская область)	18,9	75	Хабаровск	17
36	Курск	18,2	76	Чара (Читинская область)	27,9
37	Кызыл (Тыва)	24	77	Челябинск	20,1
38	Кяхта (Бурятия)	22,1	78	Чита	25,3
39	Магнитогорск	25,5	79	Чумикан (Хабаровский край)	27,6
40	Махачкала	17,9	80	Элиста (Калмыкия)	23,2

Приведенное сопротивление теплопередаче окон, балконных дверей и фонарей

Заполнение светового проема	Приведенное сопротивление теплопередаче $R_o, \text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$
1	2
1. Одинарное остекление в деревянных или пластмассовых переплетах	0,18
2. Одинарное остекление в металлических переплетах: окон и фонарей с вертикальным остеклением зенитных фонарей	0,15 0,14
3. Двойное остекление в деревянных или пластмассовых переплетах	0,39
4. Двойное остекление в деревянных или пластмассовых отдельных переплетах	0,42
5. Двойное остекление в металлических отдельных переплетах: окон и фонарей с вертикальным остеклением витрин	0,34 0,31
6. Тройное остекление в деревянных или пластмассовых отдельно-спаренных переплетах	0,55
7. Тройное остекление в металлических отдельных переплетах	0,46
8. Блоки стеклянные пустотные с шириной швов между ними 6 мм., размером, мм.: 194x194x98 244x244x98	0,31 0,33
9. Профильное стекло: швеллерного сечения коробчатого сечения	0,16 0,31
10. Заполнение из органического стекла зенитных фонарей: одинарное двойное тройное	0,19 0,36 0,52
11. Двухслойные стеклопакеты в деревянных или пластмассовых переплетах: из обычного стекла с твердым селективным покрытием внутреннего стекла то же, с заполнением межстекольного пространства аргоном с мягким селективным покрытием внутреннего стекла то же, с заполнением межстекольного пространства аргоном с тепловым зеркалом то же, с заполнением межстекольного пространства аргоном	0,36 0,48 0,56 0,52 0,62 0,70 0,83
12. Двухслойные стеклопакеты в металлических переплетах: окон и фонарей с вертикальным остеклением зенитных фонарей из обычного стекла с твердым селективным покрытием внутреннего стекла то же, с заполнением межстекольного пространства аргоном с мягким селективным покрытием внутреннего стекла то же, с заполнением межстекольного пространства аргоном	0,31 0,30 0,38 0,45 0,42 0,51
13. Двухслойные стеклопакеты и одинарное остекление: в отдельных деревянных или пластмассовых переплетах окон в металлических переплетах зенитных фонарей	0,53 0,46

1	2
14. Трехслойные стеклопакеты в деревянных или пластмассовых переплетах:	
из обычного стекла	0,52
с мягким селективным покрытием среднего стекла	0,72
то же, с заполнением межстекольного пространства аргоном	0,86
Примечания: 1. К мягким селективным покрытиям стекла относят покрытия с коэффициентом излучения меньше или равным 0,15, к твердым покрытиям – больше или равным 0,25.	
2. Значения приведенных сопротивлений теплопередаче заполнений световых проемов в деревянных или пластмассовых переплетах даны для случаев, когда отношение площади остекления к площади заполнения светового проема равно 0,75-0,85.	
При отношении площади остекления к площади заполнения светового проема в деревянных или пластмассовых переплетах, равном 0,6-0,74, указанные в таблице значения $R_0$ следует увеличивать на 10%, а при отношении площадей, равном 0,86 и более, соответственно уменьшать на 5%.	

## Приложение 2.19

Нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление  $q_h^{red}$  жилых домов одноквартирных отдельно стоящих и блокированных, кДж/(м<sup>2</sup>·°С·сут)

Отапливаемая площадь домов, м <sup>2</sup>	С числом этажей			
	1	2	3	4
60 и менее	140	-	-	-
100	125	135	-	-
150	110	120	130	-
250	100	105	110	115
400	-	90	95	100
600	-	80	85	90
1000 и более	-	70	75	80
Примечание. При промежуточных значениях отапливаемой площади дома в интервале 60-1000 м <sup>2</sup> значения $q_h^{red}$ должны определяться по линейной интерполяции.				

Нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление зданий  $q_h^{red}$ , кДж/(м<sup>2</sup>·°С·сут) или [кДж/(м<sup>3</sup>·°С·сут)]

Таблица 9

Типы зданий	Этажность зданий					
	1-3	4,5	6, 7	8, 9	10, 11	12 и выше
1. Жилые, гостиницы, общежития	По таблице 8	85[31] для 4-этажных одноквартирных и блокированных домов — по таблице 8	80 [29]	76 [27,5]	72 [26]	70 [25]
2. Общественные, кроме перечисленных в поз. 3,4 и 5 таблицы	[42];[38];[36] соответственно нарастанию этажности	[32]	[31]	[29,5]	[28]	—
3. Поликлиники и лечебные учреждения, дома-интернаты	[34];[33];[32] соответственно нарастанию этажности	[31]	[30]	[29]	[28]	—
4. Дошкольные учреждения	[45]	—	—	—	—	—
5. Сервисного обслуживания	[23];[22]; [21] соответственно нарастанию этажности	[20]	[20]	—	—	—
6. Административного назначения (офисы)	[36];[34];[33] соответственно нарастанию этажности	[27]	[24]	[22]	[20]	[20]
<p>Примечание- Для регионов, имеющих значение <math>D_d=8000</math> °С·сут и более, нормируемые <math>q_h^{red}</math> следует снизить на 5%.</p>						

Расчетные параметры теплозащиты зданий с увеличением их высоты  
(по МГСН 4.19-05)

Расчетная скорость ветра

Параметры от. периода  $Z_{hb}$   $t_{hb}$   $D_d$

Высота здания, м	Скорость ветра, м/с
10	4,0
50	6,0
100	7,6
200	9,6
300	10,4
400	11,2

Высота здания, м	$Z_{hb}$ сут	$t_{hb}$ град	Градусо-сутки при $t_{int}$		
			20	21	18
от 76 до 150	223	-3,4	5218	5441	4772
свыше 150	227	-3,8	5403	5630	4949

Классы энергетической эффективности зданий

Расчетная температура наружного воздуха

Обозначение класса	Наименование класса энергетической эффективности	Величина отклонения расчетного (фактического) значения удельного расхода тепловой энергии на отопление здания $q_h^{des}$ от нормативного, %
A	Очень высокий	Менее -51
B	Высокий	от -10 до -50
C	Нормальный	от +5 до -9

Высота здания, м	Температура нар. воз-ха
10	-28
76	-28,4
100	-28,7
200	-29,3
300	-30
400	-30,7

Удельный расход тепловой энергии на отопление в соответствии с классами

Нормируемые сопротивления теплопередаче

Здания	Высота, м	заданный класс энергетической эффективности					
		C		B		A	
		заданное снижение в %					
		0	10	25	50	55	60
Удельный расход тепл. энергии $Q_h$ , МДж/м <sup>2</sup>							
Жилые и гостиницы	76-150	342	308	257	171	154	137
	свыше 150	320	288	240	160	144	128
Офисы	76-150	327	294	245	164	147	131
	свыше 150	320	288	240	160	144	128

	Высота, м	Нормируемые значения $R_{req}$		
		стен	покрытий	перекрытий
Жилые и гостиницы	От 76 до 150	3,23	4,81	4,25
	Свыше 150	3,55	5,29	4,68
Офисы и др. общественные	От 76 до 150	2,77	3,69	3,13
	Свыше 150	3,05	4,06	3,45

## Сопротивление воздухопроницанию материалов и конструкций

Материалы и конструкции	Толщина слоя, мм	Сопротивление воздухопроницанию $R_{\text{н}}$ , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$
1. Бетон сплошной (без швов)	100	19620
2. Газосиликат сплошной (без швов)	140	21
3. Известняк-ракушечник	500	6
4. Картон строительный (без швов)	1,3	64
5. Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной в 1 кирпич и более	250 и более	18
	120	2
6. Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной в полкирпича	250 и более	9
7. Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-шлаковом растворе толщиной в 1 кирпич и более	120	1
8. Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-шлаковом растворе толщиной в полкирпича	—	2
9. Кладка кирпича керамического пустотного на цементно-песчаном растворе толщиной в полкирпича	400	13
10. Кладка из легковесных камней на цементно-песчаном растворе	400	1
11. Кладка из легковесных камней на цементно-шлаковом растворе	6	196
12. Листы асбестоцементные с заделкой швов	—	20
13. Обои бумажные обычные	20-25	0,1
14. Обшивка из обрезных досок, соединенных впритык или вчетверть	20-25	1,5
15. Обшивка из обрезных досок, соединенных в шпунт	50	98
16. Обшивка из досок двойная с прокладкой между обшивками строительной бумаги	15-70	2,5
17. Обшивка из фибролита или из древесно-волокнистых бесцементных мягких плит с заделкой швов	15-70	0,5
18. Обшивка из фибролита или из древесно-волокнистых бесцементных мягких плит без заделкой швов	10	3,3
19. Обшивка из жестких древесно-волокнистых листов с заделкой швов	10	20
20. Обшивка из гипсовой сухой штукатурки с заделкой швов		
21. Пенобетон автоклавный (без швов)	100	1960
22. Пенобетон неавтоклавный	100	196
23. Пенополистирол	50-100	79
24. Пеностекло сплошное (без швов)	120	Воздухонепроницаемо
25. Плиты минераловатные жесткие	50	2
26. Рубероид	1,5	Воздухонепроницаемо
27. Толь	1,5	490

Материалы и конструкции	Толщина слоя, мм	Сопротивление воздухопроницанию $R_{вз}$ , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$
28. Фанера клееная (без швов)	3-4	2940
29. Шлакобетон сплошной (без швов)	100	14
30. Штукатурка цементно-песчаным раствором по каменной или кирпичной кладке	15	373
31. Штукатурка известковая по каменной или кирпичной кладке	15	142
32. Штукатурка известково-гипсовая по дереву (по дроби)	20	17
33. Керамзитобетон плотностью $900 \text{ кг/м}^3$	250-400	13-17
34. То же, $1000 \text{ кг/м}^3$	250-400	53-80
35. То же, $1100-1300 \text{ кг/м}^3$	250-450	390-590
36. Шлакопемзобетон плотностью $1500 \text{ кг/м}^3$	250-400	0,3

Примечания: 1. Для кладок из кирпича и камней с расшивкой швов на наружной поверхности приведенное в настоящем приложении сопротивление воздухопроницанию следует увеличивать на  $20 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ .

2. Сопротивление воздухопроницанию воздушных прослоек и слоев ограждающих конструкций из сыпучих (шлака, керамзита, пемзы и т.п.), рыхлых и волокнистых (минеральной ваты, соломы, стружки и т.п.) материалов следует принимать равным нулю независимо от толщины слоя.

3. Для материалов и конструкций, не указанных в настоящем приложении, сопротивление воздухопроницанию следует определять экспериментально.

### Приложение 3.3

#### Сопротивление воздухопроницанию заполнений световых проемов (окон, балконных дверей и фонарей)

Приложение 10\* к СНиП II-3-79\*

Заполнение светового проема	Число уплотненных притворов заполнения	Сопротивление воздухопроницанию $R_{вз}$ , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} / \text{кг}$ (при $\Delta p = 10 \text{ Па}$ ), заполнений световых проемов с деревянными переплетами с уплотнением прокладками из		
		пенополиуретана	губчатой резины	полушерстяного шнура
1. Одинарное остекление или двойное остекление в спаренных переплетах	1	0,26	0,16	0,12
2. Двойное остекление в отдельных переплетах	1	0,29	0,18	0,13
	2	0,38	0,26	0,18
3. Тройное остекление в раздельно-спаренных переплетах	1	0,30	0,18	0,14
	2	0,44	0,26	0,20
	3	0,56	0,37	0,27

Примечания: 1. Сопротивление воздухопроницанию заполнений световых проемов с металлическими переплетами, а также балконных дверей следует принимать с коэффициентом 0,8.

2. Сопротивление воздухопроницанию окон без открывающихся створок (без притворов с уплотненными фальцами) следует принимать равным  $1 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} / \text{кг}$  (независимо от числа и материала переплетов и видов остекления), зенитных фонарей (с уплотненными сопряжениями элементов) –  $0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} / \text{кг}$ .

Нормируемая воздухопроницаемость ограждающих конструкций  
СНиП 23-02-2003

Таблица 11

Ограждающие конструкции	Воздухопроницаемость $G_n$ , кг/(м <sup>2</sup> ·ч), не более
1. Наружные стены, перекрытия и покрытия жилых, общественных, административных и бытовых зданий и помещений	0,5
2. Наружные стены, перекрытия и покрытия производственных зданий и помещений	1,0
3. Стыки между панелями наружных стен:	
а) жилых зданий	0,5*
б) производственных зданий	1,0*
4. Входные двери в квартиры	1,5
5. Входные двери в жилые, общественные и бытовые здания	7,0
6. Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий и помещений в деревянных переплетах; окна и фонари производственных зданий с кондиционированием воздуха	6,0
7. Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий и помещений в пластмассовых или алюминиевых переплетах	5,0
8. Окна, двери и ворота производственных зданий	8,0
9. Фонари производственных зданий	10,0
* В кг/(м·ч)	

Приложение 5.1.

СП 23-102-2003 таблица В.2

Значение средней относительной яркости фасадов экранирующих (противостоящих) зданий с параллельным их расположением по схеме № 1,  $b_\phi$

Средне-взвешенный коэффициент отражения фасада, $\rho_\phi$	Отношение расстояния между зданиями $l$ к длине противостоящего здания, $a$	Значения средней относительной яркости фасада противостоящего здания при отношении длины противостоящего здания $a$ к его расчетной высоте $H_p$						
		0,25 и менее	0,50	1,00	1,50	2,00	3,00	4,00 и более
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,6	2,00 и более	0,29	0,33	0,37	0,39	0,40	0,41	0,41
0,6	1,00	0,24	0,27	0,32	0,34	0,35	0,36	0,36
0,6	0,50	0,20	0,21	0,25	0,28	0,30	0,32	0,33
0,6	0,25 и менее	0,17	0,17	0,18	0,21	0,23	0,27	0,29
0,5	2,00 и более	0,24	0,27	0,31	0,32	0,33	0,34	0,34
0,5	1,00	0,19	0,22	0,26	0,28	0,28	0,29	0,30
0,5	0,50	0,15	0,16	0,19	0,22	0,24	0,26	0,27
0,5	0,25 и менее	0,12	0,12	0,14	0,16	0,18	0,21	0,23
0,4	2,00 и более	0,19	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,27
0,4	1,00	0,15	0,17	0,20	0,22	0,22	0,23	0,24
0,4	0,50	0,11	0,12	0,15	0,17	0,19	0,20	0,21
0,4	0,25 и менее	0,09	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18
0,3	2,00 и более	0,14	0,16	0,18	0,19	0,20	0,20	0,20
0,3	1,00	0,11	0,12	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18



## Окончание прил. 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,3	0,50	0,08	0,08	0,10	0,12	0,13	0,15	0,15
0,3	0,25 и менее	0,06	0,06	0,07	0,08	0,10	0,12	0,13
0,2	2,00 и более	0,09	0,11	0,12	0,13	0,13	0,13	0,14
0,2	1,00	0,07	0,08	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12
0,2	0,50	0,05	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10
0,2	0,25 и менее	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08

Примечание. При значениях параметров  $\rho_{\phi}$ ,  $l/a$ ,  $a/H_p$ , отличных от приведенных в таблицах, коэффициент  $b_{\phi}$  определяется интерполяцией.

## Приложение 5.2

СП 23-102-2003 Таблица В.3

Значения коэффициента отражения некоторых строительных материалов  
и средневзвешенного коэффициента отражения фасада

№ п/п	Материал	Коэффициент отражения материала, $\rho$	Средне взвешенный коэффициент отражения фасада, $\rho_{\phi}$
1	Белая фасадная краска, белый мрамор	0,70	0,55
2	Светло-серый бетон, белый силикатный кирпич, очень светлые фасадные краски	0,60	0,48
3	Серый бетон, известняк, желтый песчаник, светло-зеленая, бежевая, светло-серая фасадная краска, светлые породы мрамора	0,50	0,41
4	Серый офактуренный бетон, серая фасадная краска, светлое дерево	0,40	0,34
5	Розовый силикатный кирпич, темно-голубая, темно-бежевая, светло-коричневая фасадная краска, потемневшее дерево	0,30	0,27
6	Темно-серый мрамор, гранит, темно-коричневая, синяя, темно-зеленая, красная фасадная краска	0,20	0,20

## Приложение 5.3

СП 23-102-2003 Таблица Б.6

Значения коэффициента  $K_{здо}$  для схемы № 1 (рис. В1)  
с параллельным расположением зданий

Средневзвешенный коэффициент отражения		Индекс противостоящего здания в плане $z_1$	Значения коэффициента $K_{здо}$ при значениях индекса противостоящего здания в разрезе $z_2$					
фасада экранирующего здания $\rho_{\phi}$	внутренней поверхности помещения $\rho_{cp}$		0,10 и менее	0,50	1,00	1,50	2,00	4,00 и более
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Отношение расстояний  $l_m$  расчетной точки от наружной стены к глубине помещения  $d_n$

$$l_m/d_n = 0,90$$

0,60	0,55	0,5 и менее	1,00	1,65	1,73	1,69	1,42	1,30
0,60	0,55	2,0	1,00	1,54	1,63	1,59	1,39	1,28
0,60	0,55	4,0 и более	1,00	1,41	1,50	1,45	1,34	1,25
0,60	0,50	0,5 и менее	1,00	1,58	1,67	1,62	1,38	1,28
0,60	0,50	2,0	1,00	1,48	1,57	1,53	1,35	1,26

Продолжение приложения табл. 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,60	0,50	4,0 и более	1,00	1,36	1,45	1,40	1,30	1,23
0,60	0,45	0,5 и менее	1,00	1,51	1,60	1,56	1,34	1,26
0,60	0,45	2,0	1,00	1,42	1,51	1,47	1,31	1,24
0,60	0,45	4,0 и более	1,00	1,30	1,39	1,35	1,26	1,21
0,60	0,40	0,5 и менее	1,00	1,45	1,54	1,49	1,30	1,24
0,60	0,40	2,0	1,00	1,36	1,45	1,41	1,26	1,22
0,60	0,40	4,0 и более	1,00	1,25	1,34	1,29	1,22	1,19
0,50	0,55	0,5 и менее	1,00	1,76	1,85	1,80	1,50	1,34
0,50	0,55	2,0	1,00	1,66	1,75	1,70	1,47	1,32
0,50	0,55	4,0 и более	1,00	1,52	1,61	1,57	1,43	1,30
0,50	0,50	0,5 и менее	1,00	1,69	1,78	1,74	1,46	1,32
0,50	0,50	2,0	1,00	1,60	1,69	1,64	1,43	1,30
0,50	0,50	4,0 и более	1,00	1,47	1,56	1,51	1,39	1,28
0,50	0,45	0,5 и менее	1,00	1,63	1,72	1,67	1,42	1,30
0,50	0,45	2,0	1,00	1,54	1,63	1,58	1,39	1,28
0,50	0,45	4,0 и более	1,00	1,42	1,51	1,46	1,34	1,26
0,50	0,40	0,5 и менее	1,00	1,56	1,65	1,60	1,38	1,28
0,50	0,40	2,0	1,00	1,48	1,57	1,52	1,35	1,26
0,50	0,40	4,0 и более	1,00	1,36	1,45	1,41	1,30	1,24
0,40	0,55	0,5 и менее	1,00	1,87	1,96	1,91	1,59	1,38
0,40	0,55	2,0	1,00	1,77	1,86	1,81	1,55	1,36
0,40	0,55	4,0 и более	1,00	1,64	1,72	1,68	1,51	1,34
0,40	0,50	0,5 и менее	1,00	1,81	1,89	1,85	1,55	1,36
0,40	0,50	2,0	1,00	1,71	1,80	1,75	1,51	1,34
0,40	0,50	4,0 и более	1,00	1,58	1,67	1,63	1,47	1,32
0,40	0,45	0,5 и менее	1,00	1,74	1,83	1,78	1,51	1,34
0,40	0,45	2,0	1,00	1,65	1,74	1,69	1,47	1,32
0,40	0,45	4,0 и более	1,00	1,53	1,62	1,57	1,43	1,30
0,40	0,40	0,5 и менее	1,00	1,67	1,76	1,72	1,47	1,32
0,40	0,40	2,0	1,00	1,59	1,68	1,63	1,43	1,31
0,40	0,40	4,0 и более	1,00	1,48	1,56	1,52	1,39	1,28
0,30	0,55	0,5 и менее	1,00	1,98	2,07	2,03	1,67	1,43
0,30	0,55	2,0	1,00	1,88	1,97	1,93	1,64	1,41
0,30	0,55	4,0 и более	1,00	1,75	1,84	1,79	1,59	1,38
0,30	0,50	0,5 и менее	1,00	1,92	2,01	1,96	1,63	1,41
0,30	0,50	2,0	1,00	1,82	1,91	1,87	1,60	1,39
0,30	0,50	4,0 и более	1,00	1,70	1,78	1,74	1,55	1,36
0,30	0,45	0,5 и менее	1,00	1,85	1,94	1,90	1,59	1,39
0,30	0,45	2,0	1,00	1,76	1,85	1,81	1,56	1,37
0,30	0,45	4,0 и более	1,00	1,64	1,73	1,69	1,51	1,34
0,30	0,40	0,5 и менее	1,00	1,79	1,88	1,83	1,55	1,37
0,30	0,40	2,0	1,00	1,70	1,79	1,75	1,52	1,35
0,30	0,40	4,0 и более	1,00	1,59	1,68	1,63	1,47	1,32

Отношение расстояний  $l_m$  расчетной точки от наружной стены к глубине помещения $d_n$ 

$$l_m/d_n = 0,50$$

0,60	0,55	0,5 и менее	1,00	1,31	1,39	1,35	1,20	1,23
0,60	0,55	2,0	1,00	1,27	1,36	1,31	1,18	1,22
0,60	0,55	4,0 и более	1,00	1,22	1,31	1,26	1,15	1,21
0,60	0,50	0,5 и менее	1,00	1,27	1,35	1,31	1,17	1,22

Продолжение приложения табл. 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,60	0,50	2,0	1,00	1,24	1,32	1,28	1,15	1,21
0,60	0,50	4,0 и более	1,00	1,19	1,28	1,24	1,12	1,21
0,60	0,45	0,5 и менее	1,00	1,23	1,31	1,27	1,14	1,21
0,60	0,45	2,0	1,00	1,20	1,29	1,24	1,12	1,21
0,60	0,45	4,0 и более	1,00	1,17	1,25	1,21	1,09	1,20
0,60	0,40	0,5 и менее	1,00	1,19	1,27	1,23	1,11	1,20
0,60	0,40	2,0	1,00	1,17	1,25	1,21	1,09	1,20
0,60	0,40	4,0 и более	1,00	1,14	1,23	1,18	1,07	1,19
0,50	0,55	0,5 и менее	1,00	1,37	1,46	1,41	1,25	1,24
0,50	0,55	2,0	1,00	1,33	1,42	1,37	1,23	1,23
0,50	0,55	4,0 и более	1,00	1,28	1,37	1,33	1,20	1,23
0,50	0,50	0,5 и менее	1,00	1,33	1,42	1,37	1,22	1,23
0,50	0,50	2,0	1,00	1,30	1,39	1,34	1,20	1,23
0,50	0,50	4,0 и более	1,00	1,26	1,34	1,30	1,18	1,22
0,50	0,45	0,5 и менее	1,00	1,29	1,38	1,33	1,19	1,22
0,50	0,45	2,0	1,00	1,26	1,35	1,30	1,17	1,22
0,50	0,45	4,0 и более	1,00	1,23	1,32	1,27	1,15	1,21
0,50	0,40	0,5 и менее	1,00	1,25	1,34	1,29	1,17	1,22
0,50	0,40	2,0	1,00	1,23	1,32	1,27	1,15	1,21
0,50	0,40	4,0 и более	1,00	1,20	1,29	1,24	1,12	1,21
0,40	0,55	0,5 и менее	1,00	1,43	1,52	1,47	1,30	1,25
0,40	0,55	2,0	1,00	1,39	1,48	1,44	1,28	1,25
0,40	0,55	4,0 и более	1,00	1,34	1,43	1,39	1,26	1,24
0,40	0,50	0,5 и менее	1,00	1,39	1,48	1,43	1,28	1,24
0,40	0,50	2,0	1,00	1,36	1,45	1,40	1,26	1,24
0,40	0,50	4,0 и более	1,00	1,32	1,40	1,36	1,23	1,23
0,40	0,45	0,5 и менее	1,00	1,35	1,44	1,39	1,25	1,24
0,40	0,45	2,0	1,00	1,32	1,41	1,37	1,23	1,23
0,40	0,45	4,0 и более	1,00	1,29	1,38	1,33	1,20	1,23
0,40	0,40	0,5 и менее	1,00	1,31	1,40	1,35	1,22	1,23
0,40	0,40	2,0	1,00	1,29	1,38	1,33	1,20	1,23
0,40	0,40	4,0 и более	1,00	1,26	1,35	1,30	1,17	1,22
0,30	0,55	0,5 и менее	1,00	1,49	1,58	1,53	1,36	1,26
0,30	0,55	2,0	1,00	1,45	1,54	1,50	1,34	1,26
0,30	0,55	4,0 и более	1,00	1,41	1,49	1,45	1,31	1,25
0,30	0,50	0,5 и менее	1,00	1,45	1,54	1,49	1,33	1,26
0,30	0,50	2,0	1,00	1,42	1,51	1,46	1,31	1,25
0,30	0,50	4,0 и более	1,00	1,38	1,47	1,42	1,28	1,25
0,30	0,45	0,5 и менее	1,00	1,41	1,50	1,45	1,30	1,25
0,30	0,45	2,0	1,00	1,38	1,47	1,43	1,28	1,25
0,30	0,45	4,0 и более	1,00	1,35	1,44	1,39	1,25	1,24
0,30	0,40	0,5 и менее	1,00	1,37	1,46	1,41	1,27	1,24
0,30	0,40	2,0	1,00	1,35	1,44	1,39	1,25	1,24
0,30	0,40	4,0 и более	1,00	1,32	1,41	1,37	1,23	1,23

Отношение расстояний  $l_m$  расчетной точки от наружной стены к глубине помещения  $d_n$ 

$$l_m/d_n = 0,10$$

0,60	0,55	0,5 и менее	1,00	0,97	1,06	1,01	0,97	1,16
0,60	0,55	2,0	1,00	1,00	1,08	1,04	0,97	1,16
0,60	0,55	4,0 и более	1,00	1,03	1,12	1,08	0,96	1,18

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,60	0,50	0,5 и менее	1,00	0,95	1,04	1,00	0,96	1,16
0,60	0,50	2,0	1,00	0,99	1,07	1,03	0,95	1,17
0,60	0,50	4,0 и более	1,00	1,03	1,12	1,07	0,94	1,18
0,60	0,45	0,5 и менее	1,00	0,94	1,03	0,98	0,94	1,17
0,60	0,45	2,0	1,00	0,98	1,07	1,02	0,94	1,18
0,60	0,45	4,0 и более	1,00	1,03	1,12	1,07	0,93	1,19
0,60	0,40	0,5 и менее	1,00	0,92	1,01	0,97	0,93	1,17
0,60	0,40	2,0	1,00	0,97	1,06	1,01	0,92	1,18
0,60	0,40	4,0 и более	1,00	1,03	1,11	1,07	0,91	1,19
0,50	0,55	0,5 и менее	1,00	0,98	1,07	1,02	1,00	1,14
0,50	0,55	2,0	1,00	1,01	1,09	1,05	0,99	1,15
0,50	0,55	4,0 и более	1,00	1,04	1,13	1,09	0,98	1,16
0,50	0,50	0,5 и менее	1,00	0,96	1,05	1,01	0,98	1,14
0,50	0,50	2,0	1,00	1,00	1,08	1,04	0,97	1,15
0,50	0,50	4,0 и более	1,00	1,04	1,13	1,08	0,97	1,16
0,50	0,45	0,5 и менее	1,00	0,95	1,04	0,99	0,97	1,15
0,50	0,45	2,0	1,00	0,99	1,08	1,03	0,96	1,16
0,50	0,45	4,0 и более	1,00	1,04	1,13	1,08	0,95	1,17
0,50	0,40	0,5 и менее	1,00	0,93	1,02	0,98	1,95	1,16
0,50	0,40	2,0	1,00	0,98	1,07	1,02	0,94	1,16
0,50	0,40	4,0 и более	1,00	1,04	1,12	1,08	0,93	1,18
0,40	0,55	0,5 и менее	1,00	0,99	1,08	1,03	1,02	1,12
0,40	0,55	2,0	1,00	1,02	1,10	1,06	1,01	1,13
0,40	0,55	4,0 и более	1,00	1,05	1,14	1,10	1,00	1,14
0,40	0,50	0,5 и менее	1,00	0,97	1,06	1,02	1,00	1,13
0,40	0,50	2,0	1,00	1,01	1,09	1,05	1,00	1,14
0,40	0,50	4,0 и более	1,00	1,05	1,14	1,09	0,99	1,15
0,40	0,45	0,5 и менее	1,00	0,96	1,05	1,00	0,99	1,13
0,40	0,45	2,0	1,00	1,00	1,08	1,04	0,98	1,14
0,40	0,45	4,0 и более	1,00	1,05	1,14	1,09	0,97	1,15
0,40	0,40	0,5 и менее	1,00	0,94	1,03	0,99	0,97	1,14
0,40	0,40	2,0	1,00	0,99	1,08	1,03	0,97	1,15
0,40	0,40	4,0 и более	1,00	1,05	1,13	1,09	0,96	1,16
0,30	0,55	0,5 и менее	1,00	1,00	1,09	1,04	1,04	1,10
0,30	0,55	2,0	1,00	1,03	1,11	1,07	1,04	1,11
0,30	0,55	4,0 и более	1,00	1,06	1,15	1,11	1,03	1,12
0,30	0,50	0,5 и менее	1,00	0,98	1,07	1,03	1,03	1,11
0,30	0,50	2,0	1,00	1,02	1,10	1,06	1,02	1,12
0,30	0,50	4,0 и более	1,00	1,06	1,15	1,10	1,01	1,13
0,30	0,45	0,5 и менее	1,00	0,97	1,06	1,01	1,01	1,11
0,30	0,45	2,0	1,00	1,01	1,09	1,05	1,01	1,12
0,30	0,45	4,0 и более	1,00	1,06	1,15	1,10	1,00	1,14
0,30	0,40	0,5 и менее	1,00	0,95	1,04	1,00	1,00	1,12
0,30	0,40	2,0	1,00	1,00	1,09	1,04	0,99	1,13
0,30	0,40	4,0 и более	1,00	1,06	1,14	1,10	0,98	1,14

Примечания: 1. При значениях параметров  $\rho_{\phi}$ ,  $\rho_{cp}$ ,  $z_1$ ,  $z_2$ ,  $l_m/d_m$ , отличных от приведенных в таблице, коэффициент  $K_{здо}$  определяется интерполяцией.

2. Значения коэффициента  $K_{здо}$  для схем застройки зданий, отличающихся от схемы № 1, определяются по табл. В. 6 с учетом указаний, приведенных в приложении В. 2.

Значение  $r_0$  на уровне пола

Отношение глубины помещения $d_n$ к высоте от уровня условной рабочей поверхности до верха окна, $h_{o1}$	Отношение расстояния расчетной точки от внутренней поверхности наружной стены $l_m$ к глубине помещения $d_n$	Средневзвешенный коэффициент отражения пола, стен и потолка $\rho_{cp}$											
		0,60			0,50			0,45			0,35		
		Отношение длины помещения $a_n$ к его глубине $d_n$											
		0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
1,00	0,10	1,05	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03
1,00	0,50	1,46	1,41	1,31	1,31	1,27	1,20	1,23	1,20	1,14	1,08	1,06	1,03
1,00	0,90	2,32	2,17	1,88	1,89	1,79	1,57	1,68	1,59	1,42	1,25	1,21	1,12
3,00	0,10	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
3,00	0,20	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02
3,00	0,30	1,32	1,29	1,23	1,22	1,20	1,16	1,17	1,16	1,12	1,08	1,07	1,05
3,00	0,40	1,85	1,77	1,59	1,60	1,54	1,41	1,47	1,42	1,32	1,21	1,19	1,14
3,00	0,50	2,51	2,36	2,05	2,06	1,95	1,73	1,84	1,75	1,57	1,38	1,34	1,25
3,00	0,60	3,21	2,98	2,53	2,55	2,39	2,06	2,22	2,09	1,83	1,56	1,50	1,37
3,00	0,70	3,90	3,60	3,00	3,04	2,83	2,40	2,61	2,44	2,09	1,74	1,66	1,49
3,00	0,80	4,60	4,23	3,48	3,53	3,26	2,73	2,99	2,78	2,36	1,92	1,82	1,61
3,00	0,90	5,29	4,85	3,96	4,02	3,70	3,06	3,38	3,12	2,62	2,10	1,98	1,72
5,00	0,10	1,09	1,09	1,09	1,08	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06
5,00	0,20	1,06	1,06	1,06	1,05	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03
5,00	0,30	1,53	1,48	1,38	1,38	1,34	1,27	1,30	1,27	1,22	1,15	1,13	1,10
5,00	0,40	2,45	2,30	2,01	2,02	1,92	1,71	1,81	1,73	1,56	1,39	1,35	1,27
5,00	0,50	3,57	3,31	2,79	2,82	2,63	2,26	2,44	2,29	2,00	1,69	1,62	1,47
5,00	0,60	4,74	4,36	3,60	3,65	3,38	2,83	3,10	2,88	2,45	2,01	1,90	1,68
5,00	0,70	5,92	5,42	4,42	4,48	4,12	3,41	3,76	3,48	2,91	2,32	2,18	1,90
5,00	0,80	7,09	6,47	5,23	5,31	4,87	3,98	4,42	4,07	3,36	2,64	2,46	2,11
5,00	0,90	8,26	7,52	6,04	6,14	5,61	4,56	5,08	4,66	3,81	2,96	2,75	2,32

Таблица 5.5  
СП 23-102-2003 Таблица В.4

Значение  $r_0$  для условной рабочей поверхности

Отношение глубины помещения $d_n$ к высоте от уровня условной рабочей поверхности до верха окна, $h_{ol}$	Отношение расстояния расчетной точки от внутренней поверхности наружной стены $l_m$ к глубине помещения, $d_n$	Средневзвешенный коэффициент отражения пола, стен и потолка $\rho_{cp}$											
		0,60			0,50			0,45			0,35		
		Отношение длины помещения $a_n$ к его глубине $d_n$											
		0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
1,00	0,10	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01
1,00	0,50	1,66	1,59	1,46	1,47	1,42	1,33	1,37	1,34	1,26	1,19	1,17	1,13
1,00	0,90	2,86	2,67	2,30	2,33	2,19	1,93	2,06	1,95	1,74	1,53	1,48	1,37
3,00	0,10	1,10	1,09	1,07	1,07	1,06	1,05	1,06	1,05	1,04	1,03	1,03	1,02
3,00	0,20	1,32	1,29	1,22	1,23	1,20	1,16	1,18	1,16	1,13	1,09	1,08	1,06
3,00	0,30	1,72	1,64	1,50	1,51	1,46	1,36	1,41	1,37	1,29	1,20	1,18	1,14
3,00	0,40	2,28	2,15	1,90	1,91	1,82	1,64	1,73	1,66	1,51	1,37	1,33	1,26
3,00	0,50	2,97	2,77	2,38	2,40	2,26	1,98	2,12	2,01	1,79	1,56	1,51	1,39
3,00	0,60	3,75	3,47	2,92	2,96	2,76	2,37	2,57	2,41	2,10	1,78	1,71	1,55
3,00	0,70	4,61	4,25	3,52	3,58	3,32	2,80	3,06	2,86	2,44	2,03	1,93	1,72
3,00	0,80	5,55	5,09	4,18	4,25	3,92	3,27	3,60	3,34	2,82	2,30	2,17	1,91
3,00	0,90	6,57	6,01	4,90	4,98	4,58	3,78	4,18	3,86	3,23	2,59	2,43	2,11
5,00	0,10	1,16	1,15	1,11	1,12	1,11	1,08	1,09	1,08	1,07	1,05	1,04	1,03
5,00	0,20	1,53	1,48	1,37	1,38	1,34	1,27	1,30	1,27	1,21	1,15	1,14	1,11
5,00	0,30	2,19	2,07	1,84	1,85	1,77	1,60	1,68	1,61	1,48	1,34	1,31	1,24
5,00	0,40	3,13	2,92	2,49	2,52	2,37	2,07	2,22	2,10	1,85	1,61	1,55	1,43
5,00	0,50	4,28	3,95	3,29	3,34	3,11	2,64	2,87	2,68	2,31	1,94	1,84	1,66
5,00	0,60	5,58	5,12	4,20	4,27	3,94	3,29	3,61	3,35	2,83	2,31	2,18	1,92
5,00	0,70	7,01	6,41	5,21	5,29	4,86	4,01	4,44	4,09	3,40	2,72	2,55	2,20
5,00	0,80	8,58	7,82	6,31	6,41	5,87	4,79	5,33	4,90	4,03	3,17	2,95	2,52
5,00	0,90	10,28	9,35	7,49	7,63	6,96	5,64	6,30	5,77	4,71	3,65	3,39	2,86

Значения коэффициентов  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  и  $\tau_3$

Вид светопропускающего материала	Значения $\tau_1$	Вид переплета	Значения $\tau_2$	Несущие конструкции покрытий	Значения $\tau_3$
Стекло оконное листовое:		Переплеты для окон и фонарей промышленных зданий:		Стальные фермы	0,9
одинарное	0,9	а) деревянные:		Железобетонные и деревянные фермы и арки	0,8
двойное	0,8	одинарные	0,75	Балки и рамы сплошные при высоте сечения:	
тройное	0,75	спаренные	0,7	50 см и более	0,8
Стекло витринное толщиной 6-8 мм	0,8	двойные раздельные	0,6	менее 50 см	0,9
Стекло листовое армированное	0,6	б) стальные:			
Стекло листовое узорчатое	0,65	одинарные открывающиеся	0,75		
Стекло листовое со специальными свойствами:		одинарные глухие	0,9		
солнцезащитное	0,65	двойные открывающиеся	0,6		
контрастное	0,75	двойные глухие	0,8		
Органическое стекло:		Переплеты для окон жилых, общественных и вспомогательных зданий:			
прозрачное	0,9	а) деревянные:			
молочное	0,6	одинарные	0,8		
Пустотелые стеклянные блоки:		спаренные	0,75		
светорассеивающие	0,5	двойные раздельные	0,65		
светопрозрачные	0,55	с тройным остеклением	0,5		
Стеклопакеты	0,8	б) металлические:			
		одинарные	0,9		
		спаренные	0,85		
		двойные раздельные	0,8		
		с тройным остеклением	0,7		
		Стекложелезобетонные панели с пустотелыми стеклянными блоками при толщине:			
		20 мм и менее	0,9		
		более 20 мм	0,85		

Примечание. Значения коэффициентов  $\tau_1$  и  $\tau_2$  для профильного стекла и конструкций из него следует принимать в соответствии с Указаниями по проектированию, монтажу и эксплуатации конструкций из профильного стекла.

Значения коэффициента  $\tau_4$ 

Солнцезащитные устройства, изделия и материалы	Коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах, $\tau_4$	Солнцезащитные устройства, изделия и материалы	Коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах, $\tau_4$
1. Убирающиеся регулируемые жалюзи и шторы (межстекольные, внутренние, наружные) 2. Стационарные жалюзи и экраны с защитным углом не более $45^\circ$ при расположении пластин жалюзи или экранов под углом $90^\circ$ к плоскости окна:  горизонтальные	1    0,65	3. Горизонтальные козырьки:  с защитным углом не более $30^\circ$  с защитным углом от $15^\circ$ до $45^\circ$ (многоступенчатые)	0,8   0,9-0,6



Помещения и территории	Примеры помещений	Искусственное освещение			Естественное освещение			
		Коэффициент запаса $K_3$			Коэффициент запаса $K_3$			
		Количество чисток светильников в год			Количество чисток остекления светопроемов в год			
		Эксплуатационная группа светильников по приложению Г			Угол наклона светопропускающего материала к горизонту, градусы			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<p>1. Производственные помещения с воздушной средой, содержащей в рабочей зоне:</p> <p>а) св. 5 мг/м<sup>3</sup> пыли, дыма, копоти</p> <p>б) от 1 до 5 мг/м<sup>3</sup> пыли, дыма, копоти</p> <p>в) менее 1 мг/м<sup>3</sup> пыли, дыма, копоти</p> <p>г) значительные концентрации паров, кислот, щелочей, газов, способных при соприкосновении с влагой образовывать слабые растворы кислот, щелочей, а также обладающих большой коррозийной способностью</p> <p>2. Производственные помещения с особым режимом по чистоте воздуха при обслуживании светильников:</p> <p>а) с технического этажа</p>	<p>Агломерационные фабрики, цементные заводы и обрубные отделения литейных цехов</p> <p>Цехи кузнечные, литейные, маргеновские, сборного железобетона</p> <p>Цехи инструментальные, сборочные, механические, механосборочные, пошивочные</p> <p>Цехи химических заводов по выработке кислот, щелочей, едких химических реактивов, ядохимикатов, удобрений, цехи гальванических покрытий и различных отраслей промышленности с применением электролиза</p>	<p><u>2,0</u> 18</p> <p><u>1,8</u> 6</p> <p><u>1,5</u> 4</p> <p><u>1,8</u> 6</p> <p><u>1,3</u> 4</p>	<p><u>1,7</u> 6</p> <p><u>1,6</u> 4</p> <p><u>1,4</u> 2</p> <p><u>1,6</u> 4</p> <p>—</p>	<p><u>1,6</u> 4</p> <p><u>1,6</u> 2</p> <p><u>1,4</u> 1</p> <p><u>1,6</u> 2</p> <p>—</p>	<p><u>2,0</u> 4</p> <p><u>1,8</u> 3</p> <p><u>1,6</u> 2</p> <p><u>2,0</u> 3</p> <p>—</p>	<p><u>1,8</u> 4</p> <p><u>1,6</u> 3</p> <p><u>1,5</u> 2</p> <p><u>1,8</u> 3</p> <p>—</p>	<p><u>1,7</u> 4</p> <p><u>1,5</u> 3</p> <p><u>1,4</u> 2</p> <p><u>1,7</u> 3</p> <p>—</p>	<p><u>1,5</u> 4</p> <p><u>1,4</u> 3</p> <p><u>1,3</u> 2</p> <p><u>1,5</u> 3</p> <p>—</p>

1	2	3	4	5	6	7	8	9
б) снизу из помещения		$\frac{1,4}{2}$	—	—	—	—	—	—
3. Помещения общественных и жилых зданий:								
а) пыльные, жаркие и сырые	Горячие цехи предприятий общественного питания, охлаждаемые камеры, помещения для приготовления растворов в прачечных, душевые и т.д. Кабинеты и рабочие помещения, жилые комнаты, учебные помещения, лаборатории, читальные залы, залы совещаний, торговые залы и т.д.	$\frac{1,7}{2}$	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{2,0}{3}$	$\frac{1,8}{3}$	$\frac{1,7}{3}$	$\frac{1,6}{3}$
б) с нормальными условиями среды		$\frac{1,4}{2}$	$\frac{1,4}{1}$	$\frac{1,4}{1}$	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,4}{2}$	$\frac{1,3}{1}$	$\frac{1,2}{1}$
4. Территории с воздушной средой, содержащей:								
а) большое количество пыли (более 1 мг/м <sup>3</sup> )	Территории металлургических, химических, горнодобывающих предприятий, шахт, рудников, железнодорожных станций и прилегающих к ним улиц и дорог	$\frac{1,5}{4}$	$\frac{1,5}{4}$	$\frac{1,5}{4}$	—	—	—	—
б) малое количество пыли (менее 1 мг/м <sup>3</sup> )	Территории промышленных предприятий, кроме указанных в подп. «а») и общественных зданий	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,5}{2}$	—	—	—	—
5. Населенные пункты	Улицы, площади, дороги, территории жилых районов, парки, бульвары, пешеходные тоннели, фасады зданий, памятники  транспортные тоннели	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,5}{1}$	—	—	—	—
		—	$\frac{1,7}{2}$	$\frac{1,7}{2}$	—	—	—	—

**Примечания:**

1. Значения коэффициента запаса, указанные в гр. 6-9, следует умножать на 1,1 - при применении узорчатого стекла, стеклопластика, армопленки и матированного стекла, а также при использовании световых проемов для аэрации; на 0,9 - при применении органического стекла.
2. Значения коэффициентов запаса, указанные в гр. 3-5, приведены для разрядных источников света. При использовании ламп накаливания их следует умножать на 0,85.
3. Значения коэффициентов запаса, указанные в гр. 3, следует снижать при односменной работе по поз. 16, 1г - на 0,2; по поз. 1в - на 0,1; при двухсменной работе - по поз. 16, 1г - на 0,15.
- 4\*. Значения коэффициента запаса и количество чисток для транспортных тоннелей, указанные в гр. 2, приведены с учетом использования только светильников конструктивной светотехнической схемы IV табл.1 приложения Г.

Значения коэффициента  $r_2$

Отношение высоты помещения, принимаемой от условной рабочей поверхности до нижней грани остекления, $H_{\phi}$ , к ширине пролета $l_1$	Значения коэффициента $r_2$								
	Средневзвешенный коэффициент отражения потолка, стен и пола								
	$\rho_{cp} = 0,5$			$\rho_{cp} = 0,4$			$\rho_{cp} = 0,3$		
	Количество пролетов								
	1	2	3 и более	1	2	3 и более	1	2	3 и более
2	1,7	1,5	1,15	1,6	1,4	1,1	1,4	1,1	1,05
1	1,5	1,4	1,15	1,4	1,3	1,1	1,3	1,1	1,05
0,75	1,45	1,35	1,15	1,35	1,25	1,1	1,25	1,1	1,05
0,5	1,4	1,3	1,15	1,3	1,2	1,1	1,2	1,1	1,05
0,25	1,35	1,25	1,15	1,25	1,15	1,1	1,15	1,1	1,05

Приложение 5.9.

Значения коэффициента  $K_{\phi}$

Тип фонаря	Значения коэффициента $K_{\phi}$
Световые проемы в плоскости покрытия, ленточные	1
Световые проемы в плоскости покрытия, штучные	1,1
Фонари с наклонным двусторонним остеклением (трапециевидные)	1,15
Фонари с вертикальным двусторонним остеклением (прямоугольные)	1,2
Фонари с односторонним наклонным остеклением (шеды)	1,3
Фонари с односторонним вертикальным остеклением (шеды)	1,4

Суточный ход освещенности горизонтальной поверхности в клк

Меся- цы	Время восхода солнца	Часы суток												Время захода солнца
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Архангельск														
I	9 <sup>34</sup>					0,7	2,3	1,0						14 <sup>46</sup>
						0,9	2,8	1,3						
II	8 <sup>00</sup>					5,2	8,5	5,5	1,2					16 <sup>30</sup>
						6,2	10,3	6,7	1,3					
III	6 <sup>20</sup>				6,4	14,4	17,7	13,9	7,2					17 <sup>59</sup>
					9,4	20,2	27,6	20,7	10,1					
IV	4 <sup>28</sup>			5,2	12,3	19,5	23,0	20,4	12,9	5,9				19 <sup>34</sup>
				9,5	22,1	34,8	39,8	34,5	22,1	9,8				
V	2 <sup>43</sup>		3,3	9,1	14,7	19,9	22,4	20,2	15,3	9,4	3,5			21 <sup>13</sup>
			7,2	18,1	29,0	39,3	42,9	39,1	28,2	17,4	6,5			
VI	1 <sup>20</sup>	1,7	6,3	11,7	16,7	21,1	23,8	22,0	17,5	12,6	7,7	2,8		23 <sup>14</sup>
		3,4	12,9	22,5	31,7	40,7	44,3	41,2	30,4	23,5	14,3	5,5		
VII	2 <sup>06</sup>		4,4	9,6	14,5	19,4	22,4	20,7	16,1	10,9	5,4	0,6		22 <sup>09</sup>
			10,0	20,9	31,8	42,4	45,8	42,5	32,5	19,8	11,2	0,6		
VIII	3 <sup>46</sup>		0,6	5,8	10,9	16,2	18,3	16,0	11,0	6,2	1,3			20 <sup>20</sup>
			1,1	10,9	20,6	30,3	35,0	30,7	21,0	11,6	1,5			
IX	5 <sup>20</sup>			1,5	6,1	10,7	13,3	9,6	5,2	1,1				18 <sup>28</sup>
				1,9	7,8	14,0	17,6	14,0	7,6	1,5				
X	6 <sup>50</sup>				1,9	4,4	5,4	3,9	1,0					16 <sup>40</sup>
					2,2	5,9	7,2	5,6	1,2					
XI	8 <sup>30</sup>					2,5	3,8	2,3						14 <sup>58</sup>
						2,5	3,8	2,3						
XII	9 <sup>56</sup>					0,1	1,1							13 <sup>54</sup>
						0,1	1,2							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ленинград														
I	$8^{49}$					1,6	2,0	1,5						$15^{29}$
II	$7^{43}$				0,7	5,1	7,7	5,8	1,8					$16^{45}$
III	$6^{19}$				0,8	6,7	11,6	7,2	2,0					$17^{59}$
IV	$4^{45}$			3,4	5,6	11,4	13,2	10,6	3,6					$19^{15}$
V	$3^{24}$	1,8		7,4	8,9	20,0	27,3	20,5	10,2	3,6				$20^{28}$
		5,5	22,4	7,8	9,1	14,7	17,1	14,5	9,3	7,4	1,4			
				13,9	39,1	55,8	60,4	51,6	35,9	13,5	3,9			
VI	$2^{36}$		3,6	8,9	14,2	19,2	21,2	19,4	14,7	9,2	3,8			$21^{24}$
VII	$3^{02}$		8,9	21,8	34,5	46,9	49,7	46,0	33,8	21,1	8,8			$21^{10}$
VIII	$4^{12}$		2,8	8,6	14,5	20,1	21,8	19,5	14,5	9,0	3,5			$19^{58}$
			6,4	18,5	30,7	43,0	48,0	44,0	32,5	20,1	7,7			
				4,9	10,5	16,0	18,6	16,7	12,0	6,0				
				10,1	21,5	32,7	37,4	32,8	21,7	10,7				
IX	$5^{26}$		1,6	7,1	12,4	14,0	12,4	7,0	1,3					$18^{26}$
X	$6^{38}$		3,0	12,6	22,1	25,8	19,6	10,5	1,9					$16^{54}$
XI	$7^{57}$			2,3	5,6	6,9	5,0	1,6						$15^{31}$
XII	$8^{57}$			2,9	7,1	10,0	6,4	2,0						$14^{53}$
				0,1	1,6	2,3	1,3							
				0,1	1,7	3,2	1,8							
					0,8	1,6	0,7							
					0,9	1,7	0,8							
Хабаровск														
I	$7^{48}$					0,7	10,0	13,8	9,7	2,5				$16^{33}$
II	$7^{09}$					1,0	17,1	28,6	18,0	3,3				$17^{20}$
III	$6^{15}$					4,0	13,6	18,0	14,0	6,1				$18^{04}$
IV	$5^{11}$					8,7	29,5	43,7	31,1	12,6				$18^{50}$
V	$4^{20}$					11,2	23,0	25,2	21,8	13,4	0,6			$19^{34}$
VI	$3^{58}$			4,3	21,5	46,6	57,0	46,2	23,0	1,1				$20^{01}$
VII	$4^{14}$			7,0	14,9	24,8	27,9	25,3	16,2	4,6				$19^{58}$
VIII	$4^{52}$			7,7	16,5	24,8	27,3	24,0	16,4	7,2				$19^{16}$
IX	$5^{36}$			12,2	32,9	54,4	60,3	54,2	31,6	13,1				$18^{14}$
X	$6^{18}$	0,3		9,0	17,4	25,8	28,7	26,1	17,3	8,6	0,1			$17^{13}$
XI	$7^{07}$	0,3		16,1	35,2	55,8	62,1	56,1	36,2	16,0	0,1			$16^{22}$
XII	$7^{45}$			9,5	17,8	27,2	29,3	27,1	19,1	9,8				$16^{05}$
				13,0	29,1	48,4	56,4	51,3	34,8	15,2				
				4,8	14,0	23,0	26,4	23,4	14,7	5,6				
				7,9	24,2	46,3	52,9	47,3	29,8	10,0				
				1,8	10,3	17,8	19,6	16,0	8,5	0,9				
				3,3	20,1	39,8	46,0	37,8	18,2	2,1				
					6,3	13,2	14,3	12,1	4,0					
					15,0	31,8	37,5	29,0	8,4					
					3,6	10,5	12,4	8,3	1,3					
					6,8	21,1	27,8	17,4	2,1					
					0,7	8,3	11,3	7,2	0,3					
					1,6	15,1	22,4	13,7	0,6					

Москва														
Меся- цы	Время восхода солнца	Часы суток												Время захода солн- ца
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
I	8 <sup>21</sup>					<u>3,4</u> 5,0	<u>7,0</u> 9,2	<u>5,0</u> 5,6						15 <sup>57</sup>
II	7 <sup>28</sup>				<u>1,6</u> 2,5	<u>8,2</u> 12,5	<u>12,5</u> 20,4	<u>10,7</u> 14,0	<u>3,9</u> 4,5					17 <sup>00</sup>
III	6 <sup>17</sup>				<u>5,9</u> 13,2	<u>13,0</u> 28,8	<u>17,6</u> 34,8	<u>15,2</u> 29,0	<u>8,7</u> 14,9					18 <sup>01</sup>
IV	4 <sup>57</sup>			<u>3,6</u> 8,4	<u>10,1</u> 24,4	<u>17,0</u> 40,0	<u>21,1</u> 45,6	<u>18,7</u> 36,8	<u>13,2</u> 22,3	<u>4,6</u> 8,0				19 <sup>02</sup>
V	3 <sup>50</sup>	<u>0,5</u> 1,2	<u>6,9</u> 17,0	<u>13,4</u> 32,8	<u>19,9</u> 47,9	<u>23,2</u> 53,1	<u>21,8</u> 44,6	<u>16,2</u> 29,0	<u>8,3</u> 14,6	<u>0,0</u> 0,0				20 <sup>02</sup>
VI	3 <sup>15</sup>	<u>2,4</u> 5,6	<u>8,5</u> 19,6	<u>14,8</u> 33,9	<u>21,2</u> 46,4	<u>25,7</u> 48,5	<u>22,8</u> 45,2	<u>17,5</u> 32,9	<u>10,6</u> 19,1	<u>3,2</u> 4,8				20 <sup>45</sup>
VII	3 <sup>35</sup>	<u>1,1</u> 2,8	<u>7,7</u> 15,4	<u>15,3</u> 28,6	<u>23,0</u> 42,0	<u>28,3</u> 47,8	<u>24,6</u> 44,2	<u>17,9</u> 32,7	<u>10,8</u> 18,6	<u>2,6</u> 4,4				20 <sup>37</sup>
VIII	4 <sup>30</sup>		<u>5,4</u> 10,6	<u>12,2</u> 25,2	<u>19,1</u> 37,5	<u>24,2</u> 39,5	<u>21,8</u> 36,2	<u>16,3</u> 25,4	<u>7,4</u> 11,8					19 <sup>10</sup>
IX	5 <sup>30</sup>		<u>1,8</u> 3,1	<u>9,8</u> 15,1	<u>17,5</u> 26,2	<u>20,2</u> 30,2	<u>16,4</u> 24,1	<u>9,0</u> 12,3	<u>1,6</u> 1,8					18 <sup>20</sup>
X	6 <sup>29</sup>			<u>3,4</u> 6,2	<u>8,1</u> 14,0	<u>11,1</u> 17,7	<u>9,4</u> 12,7	<u>3,9</u> 4,2						17 <sup>03</sup>
XI	7 <sup>35</sup>			<u>0,6</u> 1,1	<u>4,2</u> 6,0	<u>7,0</u> 8,8	<u>4,5</u> 5,0							15 <sup>53</sup>
XII	8 <sup>23</sup>				<u>2,1</u> 3,8	<u>3,7</u> 6,6	<u>2,3</u> 4,1							15 <sup>27</sup>

### Приложение 5.11

Значения коэффициента  $K_{зд}$ , учитывающего затенение окон противостоящими зданиями в зависимости от отношения расстояния между рассматриваемым и противостоящим зданием  $P$  к высоте расположения карниза противостоящего здания над подоконником рассматриваемого окна  $H_{зд}$

(СНиП II-4-79 Таблица 26)

$P/H_{зд}$	$K_{зд}$
0,5	1,7
1	1,4
1,5	1,2
2	1,1
3 и более	1

Приложение 5.12

Значения световой характеристики  $\eta_o$  окон при боковом освещении  
(СНиП II-4-79, Таблица 27)

Отношение длины помещения $l_{\Pi}$ к его глубине $B$	Значение световой характеристики $\eta_o$ при отношении глубины помещения $B$ к его высоте от уровня условной рабочей поверхности до верха окна $h_1$							
	1	1,5	2	3	4	5	7,5	10
4 и более	6,5	7	7,5	8	9	10	11	12,5
3	7,5	8	8,5	9,6	10	11	12,5	14
2	8,5	9	9,5	10,5	11,5	13	15	17
1,5	9,5	10,5	13	15	17	19	21	23
1	11	15	16	18	21	23	26,5	29
0,5	18	23	31	37	45	54	66	—

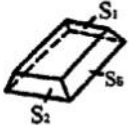
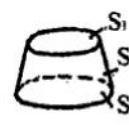
Приложение 5.13

Значения световой характеристики фонарей  
(прямоугольных, трапециевидных и шед)  $\eta_{\phi}$   
(СНиП II-4-79 Таблица 31)

Тип фонарей	Количество пролетов	Значения световой характеристики фонарей								
		Отношение длины помещения $l_{\Pi}$ к ширине пролета $l_1$								
		от 1 до 2			от 2 до 4			более 4		
		Отношение высоты помещения $H$ к ширине пролета $l_1$								
		от 0,2 до 0,4	от 0,4 до 0,7	от 0,7 до 1	от 0,2 до 0,4	от 0,4 до 0,7	от 0,7 до 1	от 0,2 до 0,4	от 0,4 до 0,7	от 0,7 до 1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
С вертикальным двусторонним остеклением (прямоугольные, М-образные)	Один	5,8	9,4	16	4,6	6,8	10,5	4,4	6,4	9,1
	Два	5,2	7,5	12,8	4	5,1	7,8	3,7	6,4	6,5
	Три и более	4,8	6,7	11,4	3,8	4,5	6,9	3,4	4	5,6
С наклонным двусторонним остеклением	Один	3,5	5,2	6,2	2,8	3,8	4,7	2,7	3,6	4,1
	Два	3,2	4,4	5,3	2,5	3	4,1	2,3	2,7	3,4
	Три и более	3	4	4,7	2,35	2,7	3,7	2,1	2,4	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
С вертикальным односторонним остеклением (шеды)	Один	6,4	10,5	15,2	5,1	7,6	10	4,9	7,1	8,5
	Два	6,1	8	11	4,7	5,5	6,6	4,35	5	5,5
	Три и более	5	6,5	8,2	4	4,3	5	3,6	3,8	4,1
С наклонным односторонним остеклением (шеды)	Один	3,8	4,55	6,8	2,9	3,4	4,5	2,5	3,2	3,9
	Два	3	4,3	5,7	2,3	2,9	3,5	2,15	2,65	2,9
	Три и более	2,7	3,7	5,1	2,2	2,5	3,1	2	2,25	2,5

Значения световой характеристики  $\eta_{\phi}$  световых проемов в плоскости покрытия при верхнем освещении

(СНиП II-4-79 Таблица 32)

Схемы фонарей	Отношение площади выходного отверстия $S_2$ к сумме площадей входного отверстия $S_1$ и боковой поверхности проема $S_6$	Индекс помещения $l$									
		0,5	0,7	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5
	0,05	25	19	16	14,3	13,3	12	11,5	11	10,5	10
	0,1	13	10,3	8,5	7,7	7	6,3	6	5,8	5,5	5,4
	0,2	7	5,6	4,6	4,2	3,8	3,4	3,3	3,1	3	2,9
	0,4	5	4	3,3	2,9	2,7	2,4	2,3	2,2	2,1	2
	0,5	4,2	3,3	2,7	2,4	2,2	2	1,9	1,85	1,8	1,7
	0,6	3,7	2,9	2,4	2,1	2	1,8	1,7	1,6	1,55	1,5
	0,7	3,3	2,6	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	1,45	1,4	1,3
	0,8	3,1	2,4	2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,35	1,3	1,25
	0,9	2,9	2,3	1,9	1,7	1,55	1,4	1,35	1,3	1,2	1,2
		2,8	2,2	1,8	1,6	1,5	1,35	1,3	1,25	1,2	1,15

Индекс помещения  $i = \frac{l_{\Pi} b}{H(l_{\Pi} + b)}$ , где  $l_{\Pi}$  - длина помещения вдоль оси пролетов;

$b$  - ширина помещения;  
 $H$  - высота покрытия над условной рабочей поверхностью.

Приложение 6.1

Нормируемые индексы изоляции воздушного шума и индексы приведенного ударного шума (для перекрытий),  $R_w$ , дБ и  $L_{nw}$ , дБ

№ п.п.	Наименование и расположение ограждающей конструкции	$R_w$ , дБ	$L_{nw}$ , дБ
1	2	3	4
<b>Жилые здания</b>			
1	Перекрытия между помещениями квартир и отделяющие помещения квартир от холлов, лестничных клеток и используемых чердачных помещений: - в домах категории А - в домах категории Б - в домах категории В	54	55 <sup>1</sup>
		52	58 <sup>1</sup>
		50	60 <sup>1</sup>
2	Перекрытия между помещениями квартир и расположенными под ними магазинами: - в домах категории А - в домах категорий Б и В	59	55 45 <sup>2</sup>
		57	58 <sup>1</sup> 48 <sup>2</sup>
3	Перекрытия между комнатами в квартире в двух уровнях: - в домах категории А - в домах категории Б - в домах категории В	47	63
		45	66
		43	68
4	Перекрытия между жилыми помещениями общежитий	50	60
5	Перекрытия, отделяющие помещения культурно-бытового обслуживания общежитий друг от друга и от помещений общего пользования (холлы, вестибюли и пр.)	47	65 <sup>1</sup>



Продолжение приложения табл. 6.1

1	2	3	4
6	Перекрытия между помещениями квартиры и расположенными под ними ресторанами, кафе, спортивными залами: - в домах категории А  - в домах категорий Б и В	62  60	55 45 <sup>2</sup> 58 48 <sup>2</sup>
7	Перекрытия между помещениями квартиры и расположенными под ними административными помещениями, офисами: - в домах категории А - в домах категорий Б и В	52 50	58 <sup>2</sup> 60 <sup>2</sup>
8	Стены и перегородки между квартирами, между помещениями квартир и лестничными клетками, холлами, коридорами, вестибюлями: - в домах категории А - в домах категории Б - в домах категории В	54 52 50	- - -
9	Стены между помещениями квартир и магазинами: - в домах категории А - в домах категорий Б и В	59 57	- -
10	Перегородки между комнатами, между кухней и комнатой в одной квартире: - в домах категории А - в домах категорий Б и В	43 41	- -
11	Перегородки между санузлом и комнатой одной квартиры	47	-
12	Стены и перегородки между комнатами общежитий	50	-
13	Стены и перегородки, отделяющие помещения культурно-бытового обслуживания общежитий друг от друга и от помещений общего пользования (холлы, вестибюли, лестничные клетки)	47	-
14	Входные двери квартир: - в домах категории А - в домах категории Б - в домах категории В	34 32 30	- - -
<b>Гостиницы</b>			
15	Перекрытия между номерами: - категории А - категории Б - категории В	52 50 48	57 60 62
16	Перекрытия, отделяющие номера от помещений общего пользования (вестибюли, холлы, буфеты): - категории А  - категорий Б и В	54  52	55 50 <sup>2</sup> 58 53 <sup>2</sup>
17	Перекрытия, отделяющие номера от помещений ресторанов, кафе: - категории А - категории Б и В	62 59	57 45 <sup>2</sup> 60 48 <sup>2</sup>

Продолжение приложения табл. 6.1

1	2	3	4
18	Стены и перегородки между номерами: - категории А - категории Б - категории В	52 50 48	- - -
19	Стены и перегородки, отделяющие номера от помещений общего пользования (лестничные клетки, вестибюли, холлы, буфеты): - категории А - категорий Б и В	54 52	- -
20	Стены и перегородки, отделяющие номера от ресторанов, кафе: - категории А - категорий Б и В	62 59	- -
<b>Административные здания, офисы</b>			
21	Перекрытия между рабочими комнатами, кабинетами, секретариатами и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования (вестибюли, холлы): - категории А - категорий Б и В	52 50	63 <sup>2</sup> 66 <sup>2</sup>
22	Перекрытия, отделяющие рабочие комнаты, кабинеты от помещений с источниками шума (машбюро, телетайпные и т.п.): - категории А - категорий Б и В	54 52	60 <sup>2</sup> 63 <sup>2</sup>
23	Стены и перегородки между кабинетами и отделяющие кабинеты от рабочих комнат: - категории А - категорий Б и В	51 49	- -
24	Стены и перегородки, отделяющие рабочие комнаты от помещений общего пользования (вестибюли, холлы, буфеты) и от помещений с источниками шума (машбюро, телетайпные и т.п.): - категории А - категорий Б и В	50 48	- -
25	Стены и перегородки, отделяющие кабинеты от помещений общего пользования и шумных помещений: - категории А - категорий Б и В	54 52	- -
<b>Больницы и санатории</b>			
26	Перекрытия между палатами, кабинетами врачей	47	60
27	Перекрытия между операционными и отделяющие операционные от палат и кабинетов	57	60
28	Перекрытия, отделяющие палаты, кабинеты врачей от помещений общего пользования (вестибюли, холлы)	52	63
29	Перекрытия, отделяющие палаты, кабинеты врачей от столовых, кухонь	57	50 <sup>2</sup>
30	Стены и перегородки между палатами, кабинетами врачей	47	-
31	Стены и перегородки между операционными и отделяющие операционные от других помещений. Стены и перегородки, отделяющие палаты и кабинеты от столовых и кухонь	57	-
32	Стены и перегородки, отделяющие палаты и кабинеты от помещений общего пользования	52	-

1	2	3	4
<b>Учебные заведения</b>			
33	Перекрытия между классами, кабинетами, аудиториями и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования (коридоры, вестибюли, холлы)	47	63
34	Перекрытия между музыкальными классами средних учебных заведений	57	58
35	Перекрытия между музыкальными классами высших учебных заведений	60	53
36	Стены и перегородки между классами, кабинетами и аудиториями и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования	47	-
37	Стены и перегородки между музыкальными классами средних учебных заведений и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования	57	-
38	Стены и перегородки между музыкальными классами высших учебных заведений	60	-
<b>Детские дошкольные учреждения</b>			
39	Перекрытия между групповыми комнатами, спальнями	47	63
40	Перекрытия, отделяющие групповые комнаты, спальни от кухонь	51	63 <sup>2</sup>
41	Стены и перегородки между групповыми комнатами, спальнями и между другими детскими комнатами	47	-
42	Стены и перегородки, отделяющие групповые комнаты, спальни от кухонь	51	-
Требования предъявляются также к передаче ударного шума в жилые помещения квартир при ударном воздействии на пол помещения смежной квартиры (в том числе и находящейся на том же этаже или по диагонали).			
Требования предъявляются к передаче ударного шума в защищаемое от шума помещение при ударном воздействии на пол помещения, являющегося источником шума.			

Нормативные значения  $R_{Астр\text{ан}}$  для жилых комнат, номеров гостиниц, общежитий, кабинетов и рабочих комнат административных зданий, палат больниц, кабинетов врачей площадью до 25 м<sup>2</sup> приведены в табл. прил. 6.2 в зависимости от расчетного уровня транспортного шума у фасада здания. Для промежуточных значений расчетных уровней требуемую величину  $R_{Астр\text{ан}}$  следует определять интерполяцией.

Нормативные требования к звукоизоляции окон

№ п.п	Назначение помещений	Требуемые значения $R_{Атран}$ , дБА, при эквивалентных уровнях звука у фасада здания, дБА, при наиболее интенсивном движении транспорта (в дневное время, час пик)				
		60	65	70	75	80
1	Палаты больниц, санаториев, кабинеты медицинских учреждений	15	20	25	30	35
2	Жилые комнаты квартир в домах: - категории А - категорий Б и В	15	20	25	30	35
		-	15	20	25	30
3	Жилые комнаты общежитий	-	-	15	20	25
4	Номера гостиниц: - категории А - категории Б - категории В	15	20	25	30	35
		-	15	20	25	30
		-	-	15	20	25
5	Жилые помещения домов отдыха, домов-интернатов для инвалидов	15	20	25	30	35
6	Рабочие комнаты, кабинеты в административных зданиях и офисах: - категории А - категорий Б и В	-	-	15	20	25
		-	-	-	15	20

Коэффициенты звукопоглощения материалами и конструкциями

Материалы или конструкции	Коэффициенты звукопоглощения при среднегеометрических частотах октавных полос, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
1	2	3	4	5	6	7
<i>Полы</i>						
Пол, натертый мастикой, на деревянных балках	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,06
Паркет по асфальту	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Паркет по деревянному основанию	0,10	0,10	0,10	0,08	0,06	0,06
Ковер шерстяной обычного типа	0,08	0,08	0,20	0,26	0,27	0,37
То же, на войлочной подкладке	0,11	0,14	0,37	0,43	0,27	0,30
Линолеум толщиной 5 мм по твердому основанию	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
<i>Стены и потолки</i>						
Бетон	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Бетон окрашенный	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Стена кирпичная неоштукатуренная	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Стена кирпичная оштукатуренная и окрашенная масляной краской	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
Мрамор, гранит и др.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Сухая штукатурка	0,02	0,05	0,06	0,08	0,05	0,05
Сухая штукатурка на расстоянии 5 см от поверхности	0,30	0,25	0,15	0,08	0,05	0,05
Деревянная обшивка (сосна) толщиной 19мм	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,11
Деревянная панель толщиной 5-10 мм с воздушным промежутком (около 50 мм)	0,25	0,15	0,06	0,05	0,04	0,04
Остекление	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
<i>Занавеси и драпировки</i>						
Свободно висящая ткань в виде драпри при $\rho$ , кг/м <sup>2</sup> :						
0,35	0,04	0,04	0,11	0,17	0,30	0,35
0,60 (бархат)	0,10	0,30	0,50	0,50	0,72	0,65
0,65 (портьеры плюшевые складками)	0,14	0,35	0,55	0,72	0,70	0,65
<i>Звукопоглотители</i>						
Цилиндрические сегменты из 3-миллиметровой фанеры, покрытой мягким оргалитом:						
Длина хорды 40 см, Стрела выноса 35 см,	0,35	0,29	0,26	0,11	0,08	0,07
Длина хорды 70 см, Стрела выноса 32 см.	0,30	0,34	0,35	0,32	0,28	0,26
Панели по каркасу из брусков 8x10 см, обитые фанерой с шагом ячеек 0,5x0,7 м и с воздушной прослойкой толщиной 10 см при толщине фанеры 3 мм	0,32	0,35	0,19	0,13	0,11	0,10
Перфорированные конструкции из 3-миллиметровой фанеры по деревянным рамкам 60x60 см, заполненные стекловатой в мешковине, толщиной 50 мм, при диаметре отверстий:						
4 мм и расстоянии по центрам отверстий 40 мм	0,27	0,43	0,36	0,25	0,15	0,13

1	2	3	4	5	6	7
6 мм и расстоянии по центрам отверстий 25 мм	0,20	0,46	0,58	0,52	0,42	0,31
Инсулит толщиной 20 мм	0,15	0,18	0,29	0,32	0,29	0,30
Арболит толщиной 20 мм	0,15	0,25	0,39	0,42	0,43	0,42
Плиты из пористой керамики толщиной 30 мм	0,15	0,20	0,26	0,50	0,66	0,57
Маты из дутьевого стекловолокна толщиной 25 мм, расположенные за жесткими перфорированными древесноволокнистыми плитами	0,30	0,42	0,72	0,87	0,76	0,79
Прошивные минераловатные маты толщиной 100 мм (ТУ 21-24-51-73). Облицовка: гипсовая плита размером 500х500 (ТУ 400-1-283-73), подклеенная бязью, перфорация диаметром 7-9 мм – 13%	0,40	0,89	0,97	0,76	0,70	0,71
Супертонкое стекловолокно толщиной 100 мм (ТУ 21-01-224-69). Облицовка: стеклоткань Э-0,1 (ГОСТ 19907-74), гипсовая плита размером 500х500, перфорация диаметром 7-9 мм – 13%	0,66	1,0	1,0	1,0	0,96	0,7
<i>Отверстия</i>						
Проем сцены	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Отверстие оркестровой ямы	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
<p>Примечание. Для среднегеометрической частоты, равной 63 Гц, значения коэффициента звукопоглощения могут быть взяты примерно в два раза меньше по сравнению с частотой 125 Гц, а для частоты 8000 Гц – примерно такие же, что и для частоты 4000 Гц.</p>						

**Приложение 7.2**

Эквивалентная площадь звукопоглощения, м<sup>2</sup>, зрителями и креслами

Зрители и кресла	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Зрители на мягком кресле	0,25	0,30	0,40	0,45	0,45	0,40
То же, на жестком кресле	0,20	0,25	0,30	0,35	0,35	0,35
Кресло деревянное жесткое	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05
Кресло с обивкой сиденья и спинки искусственной кожей	0,08	0,10	0,12	0,10	0,10	0,08
Полумягкое кресло, обитое тканью	0,08	0,10	0,15	0,15	0,20	0,20
Мягкое кресло, обитое тканью с пористым наполнителем сиденья и спинки	0,15	0,20	0,20	0,25	0,30	0,30

Учебник

**Алексей Кириллович Соловьев**

# **ФИЗИКА СРЕДЫ**

Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*  
Компьютерная верстка: Т.А. Кузьмина  
Дизайн обложки Н.С. Романова

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.  
Подписано к печати 20.10.08 Формат 70x100/16  
Бумага офс. Гарнитура таймс. Печать офсетная.  
Усл.-печ. л. 27,7. Тираж 1000 экз. Заказ № 5415.

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)  
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, оф. 511  
*тел/факс: 183-56-83*  
*e-mail: iasv@mgsu.ru; www.iasv.ru*

Отпечатано в полном соответствии с качеством  
предоставленных материалов в ОАО «Дом печати — ВЯТКА».  
610033, г. Киров, ул. Московская, 122.