

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

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

Л.Н. Петрянина, О.Л. Викторова, М.А.Дерина

## **АРХИТЕКТУРНАЯ ФИЗИКА**

Рекомендовано Редсоветом университета  
в качестве учебного пособия для студентов,  
обучающихся по направлениям подготовки  
07.03.04 «Градостроительство»,  
07.03.01 «Архитектура» (бакалавриат)

Пенза 2016

УДК 72:53 (075.8)  
ББК 85.11+22.3я73  
ПЗ1

Рецензенты – главный инженер проектов ООО  
«Гражданпроект» Г.А. Филиппов  
(г. Пенза);  
кандидат технических наук, доцент  
Ю.М. Пучков (ПГУАС)

**Петрянина Л.Н.**

ПЗ1     Архитектурная физика: учеб. пособие / Л.Н. Петрянина,  
О.Л. Викторова, М.А. Дерина. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 144 с.

Рассмотрены методы анализа климата, возможности использования его особенностей при решении архитектурно-строительных задач. Дан анализ традиционных подходов в архитектуре с учетом климата в различных климатических районах. Предложены рекомендации по проектированию застройки и зданий с учётом обеспечения требуемых параметров микроклимата. Изложены теоретические основы акустического проектирования залов, дана методика анализа запаздывания звуковых отражений и расчета времени реверберации.

Учебное пособие направлено на ознакомление с основными законами естественно-научных дисциплин, принципами проектирования зданий, овладение методами проведения инженерных изысканий с использованием стандартных прикладных расчетных и графических программных пакетов.

Учебное пособие подготовлено на кафедре «Городское строительство и архитектура» для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 07.03.04 «Градостроительство», 07.03.01 «Архитектура».

© Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства, 2016

© Петрянина Л.Н., Викторова О.Л.,  
Дерина М.А, 2016

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Необходимость издания данного пособия диктуется прежде всего введением нового Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по обучению студентов по направлению 07.03.04 «Градостроительство» квалификация бакалавр, согласно которому все виды учебных занятий должны быть подкреплены учебно-методическим материалом по изучаемой дисциплине. Так, при изучении дисциплины «Архитектурная физика» студенты, согласно действующему учебному плану, должны прослушать курс лекций, выполнить ряд практических работ, расчетно-графическую и курсовую работу. Промежуточным контролем при изучении данной дисциплины является зачет. Для плодотворной работы студентов при изучении дисциплин и успешного восприятия рассматриваемого материала подготовлено данное учебное пособие.

Процесс изучения дисциплины «Архитектурная физика» направлен на формирование следующих общепрофессиональных и профессиональных компетенций:

*по направлению подготовки 07.03.04 «Градостроительство»:*

– готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;

– владение знаниями комплекса гуманитарных, естественнонаучных и прикладных дисциплин, необходимых для формирования градостроительной политики и разработки программ градостроительного развития территории; владение навыками предпроектного градостроительного анализа, в том числе выявлением достоинств и недостатков, ограничений и рисков освоения территории и реконструкции застройки; готовность планировать градостроительное развитие территории;

*по направлению подготовки 07.03.01 «Архитектура»:*

– умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;

– способность разрабатывать архитектурные проекты согласно функциональным, эстетическим, конструктивно-техническим, экономическим и другим основополагающим требованиям, нормативам и законодательству на всех стадиях: от эскизного проекта – до детальной разработки и оценки завершенного проекта согласно критериям проектной программы;

– способностью взаимно согласовывать различные факторы, интегрировать разнообразные формы, знания и навыки при разработке проектных решений, координировать междисциплинарные цели;

– способность применять знания смежных и сопутствующих дисциплин при разработке проектов, действовать инновационно и технически

грамотно при использовании строительных технологий, материалов, конструкций, систем жизнеобеспечения и информационно-компьютерных средств;

– способность координировать взаимодействие специалистов смежных профессий в проектном процессе с учетом профессионального разделения труда.

В пособии в разделе «Архитектурная теплотехника» рассматриваются темы по оценке климата и микроклимата помещений, тепловлажностного состояния наружных ограждающих конструкций .

В разделах, посвященных темам по архитектурной акустике, студенты учатся оценивать не только акустическое восприятие в рассматриваемом помещении и звукоизолирующую способность ограждающих конструкций помещения, но и проектировать зальные помещения с естественной акустикой.

В разделе, посвященном светотехнике, рассмотрены вопросы инсоляции зданий и территорий.

В результате освоения дисциплины студент должен:

*Знать*: основные законы, формулирующие физико-технические основы проектирования зданий и зарубежный опыт исследования.

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

*Владеть*: нормами и методами проектирования ограждающих конструкций, с учетом их теплотехнических и звукоизоляционных свойств.

## ВВЕДЕНИЕ

В процессе проектирования архитектор и строитель имеют дело с конкретным климатическим районом строительства.

Человек всегда стремился к созданию в своей среде наиболее благоприятного микроклимата. В архитектуре, и прежде всего народной, накоплен огромный опыт по совершенствованию связи между климатом, окружающей средой и характером деятельности человека. В одних случаях человек стремился защитить себя и своё жилище от отрицательного воздействия климата, в других – наоборот, максимально использовать положительные его стороны.

Россию отличает разнообразный климат, поэтому, приступая к строительству, необходимо всесторонне изучить климатические условия. Помочь в этом может специальная наука «Строительная климатология». Одним из первых ее достижений стало климатическое районирование территории бывшего СССР, что позволило расширить возможность для типового подхода к проектированию и строительству с позиций единства природно-климатических условий с гигиеническими, функциональными, техническими, эстетическими и экологическими требованиями.

Работа по климатическому районированию нашей страны, начатая в 1930-е годы, актуальна особенно сегодня, что связано с возросшими требованиями к энергосбережению.

Проблема энергосбережения является мировой и обусловлена ежегодным уменьшением мировых запасов традиционных источников энергии. Вследствие этого выдвигается на новый уровень задача более интенсивного внедрения в строительство энергоэкономичных зданий, более эффективного использования природных и возобновляемых источников энергии Солнца, ветра, терминальных вод и др.

Условия формирования климата местности зависят от многих факторов: ее географической широты, определяющей количество солнечной радиации, поступающей к Земле; циркуляции атмосферы; влагооборота; состояния атмосферы и характера земной поверхности. В зависимости от этих факторов и их взаимодействия в определенной местности формируется погода – состояние атмосферы за короткий промежуток времени.

Человек со временем адаптируется и «привыкает» к климату местности, но не к изменениям погоды. В связи с этим уже на стадии проектирования должен быть учтён фактор преобладающего типа погоды и намечены мероприятия объёмно-планировочного, конструктивного и санитарно-технического характера, обеспечивающие рациональное использование местного климата и погоды.

Работа, связанная с анализом местного климата и рекомендациями по его рациональному использованию, оформляется в форме климатического паспорта местности.

Составление климатического паспорта местности требует знания определенных методов и методик.

Обучение студентов навыкам составления климатического паспорта местности и его использования при решении некоторых архитектурно-строительных задач (выбор способа застройки с учётом требований теплозащиты, расчёта инсоляции, теплотехнических свойств ограждений и др.) является целью настоящего пособия.

Вместе с тем своеобразно история развития архитектурной акустики. На протяжении ряда веков строились здания, многие из которых прославились замечательной акустикой. Вместе с тем архитектурная акустика как прикладная наука начала свое существование только в начале XX столетия. К этому следует добавить, что именно сейчас строятся театральные помещения с неудовлетворительной акустикой.

Объяснение этого парадокса достаточно простое. В прежние времена основной путеводной линией строительства был опыт. Накапливающийся веками опыт утвердился и выразился в нескольких приемах проектирования театрального зала: форма в плане подковообразная или овальная, многоярусное расположение зрительских мест при сравнительно небольшой удаленности лож от сцены.

В распоряжении архитектора был в то время небольшой ассортимент строительных материалов, среди которого особое положение заняло дерево, отличающееся прекрасными акустическими свойствами.

Наконец, несмотря на грандиозность сооружений, масштабы строительства были ограничены и автором проекта мог быть один человек, решавший все основные вопросы.

Но было бы ошибочно считать, что все прославленные классические театры удачно выходили «из-под карандаша» авторов. В качестве примера можно привести Большой театр в Москве, акустика которого была доведена до высокого качества только после реконструкции 1853 года известным архитектором театральных зданий А. Кавосом.

Технический прогресс в технологиях производства строительных работ, использование новых отделочных материалов, применение систем кондиционирования и пр. усложнило проектирование и привело к разделению профессий. Архитектора больше интересовали формообразование зрительного зала, решения интерьера и иные узкоспециализированные вопросы. Акустикой же стали заниматься специалисты из области архитектурной физики.

Учебное пособие посвящено проектированию естественной акустики зрительного зала и ориентировано на углубление знаний студентов, обучающихся по направлениям «Градостроительство» и «Архитектура», при изучении дисциплины «Архитектурная физика».

# 1. СОСТАВЛЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО ПАСПОРТА МЕСТНОСТИ

Составление климатического паспорта местности невозможно без анализа климата, который ведется "от общего к частному", т.е. вначале оцениваются особенности климата, характерные для крупных территорий, а затем – климата конкретного участка, выбранного для строительства. При этом используют готовые климатические данные, приведенные в СНиП [8] или приложениях данного пособия, а также определенные методы расчета и графические построения.

По мере проведения климатического анализа составляется паспорт для архитектурно-строительного проектирования, который определяет особенности проектных решений, обусловленные местными природно-климатическими условиями, накладывающими в той или иной форме ограничения на возможные варианты проектных решений.

Строительно-климатический паспорт определённого климатического района, включает:

- анализ годового хода климатических элементов;
- воздействие ветра и температуры на жилую среду и человека;
- определение преобладающего типа погоды и соответствующего режима эксплуатации здания;
- оценку сторон горизонта местности по комплексу климатических факторов, включая требования инсоляции;
- типологические особенности проектируемого объекта (планировка жилого дома, способ застройки, теплозащита здания и др.)

Составление климатического паспорта начинают с установления климатического района и подрайона строительства и определения его климатических параметров: среднемесячных температур воздуха в январе и июле; средней скорости ветра за три зимних месяца — в подрайонах с умеренной и холодной зимой; среднемесячной относительной влажности воздуха в июле в подрайонах с теплым и жарким климатом (табл.1, рис.1).

Т а б л и ц а 1

Климатическое районирование для строительства  
(территории России и стран СНГ)

Климатические районы	Климатические подрайоны	Среднемесячная температура воздуха в январе, °С	Средняя скорость ветра за три зимних месяца, м/с	Среднемесячная температура воздуха в июле, °С	Среднемесячная относительная влажность воздуха в июле, %
I	IA	От-32 и ниже	-	От+4 до+19	-
	IB	От -28 и ниже	5 и более	От 0 до+13	Более 75
	IV	От-14 до-28	-	От+12 до+21	-
	IG	От-14 до -28	5 и более	От0 до +14	Более 75
	ID	От-14 до-32	-	От+10 до +20	-
II	IIA	От-4 до -14	5 и более	От+8 до+12	Более 75
	IIB	От-3 до -5	5 и более	От+12 до+21	Более 75
	IIV	От-4 до -14	-	От+12 до+21	-
	IIG	От-5 до -14	5 и более	От+12 до+21	Более 75
III	IIIA	От-14 до-20	-	От+21 до +25	-
	IIIB	От-5 до+2	-	От+21 до +25	-
	IIIV	От-5 до -14	-	От+21 до+25	-
IV	IVА	От -10 до +2	-	От +28 и выше	-
	IVБ	От+2 до+6	-	От +22 до +28	50 и более в15ч
	IVВ	От 0 до +2	-	От +25 до +28	-
	IVГ	От -15 до 0	-	От +25 до +28	-

Пр и м е ч а н и е . Климатический подрайон ID характеризуется продолжительностью холодного периода года (со средней суточной температурой воздуха ниже 0°С) 190 дней в году и более.





Рис.1. Схематическая карта климатического районирования для строительства (рекомендуемая)

Перечисленные характеристики дают только самые общие представления о климате местности, выбранной для строительства. Для более полного учета климата необходимо знать ряд других климатических характеристик и сведений о погоде. Поэтому далее необходимо провести анализ годовых изменений климатических элементов. В качестве анализируемых климатических элементов принимают: средние значения температуры воздуха, относительной влажности воздуха и скорости ветра по каждому месяцу года. Анализ этих параметров выполняют графическим способом, используя бланк-сетку (рис. 2).

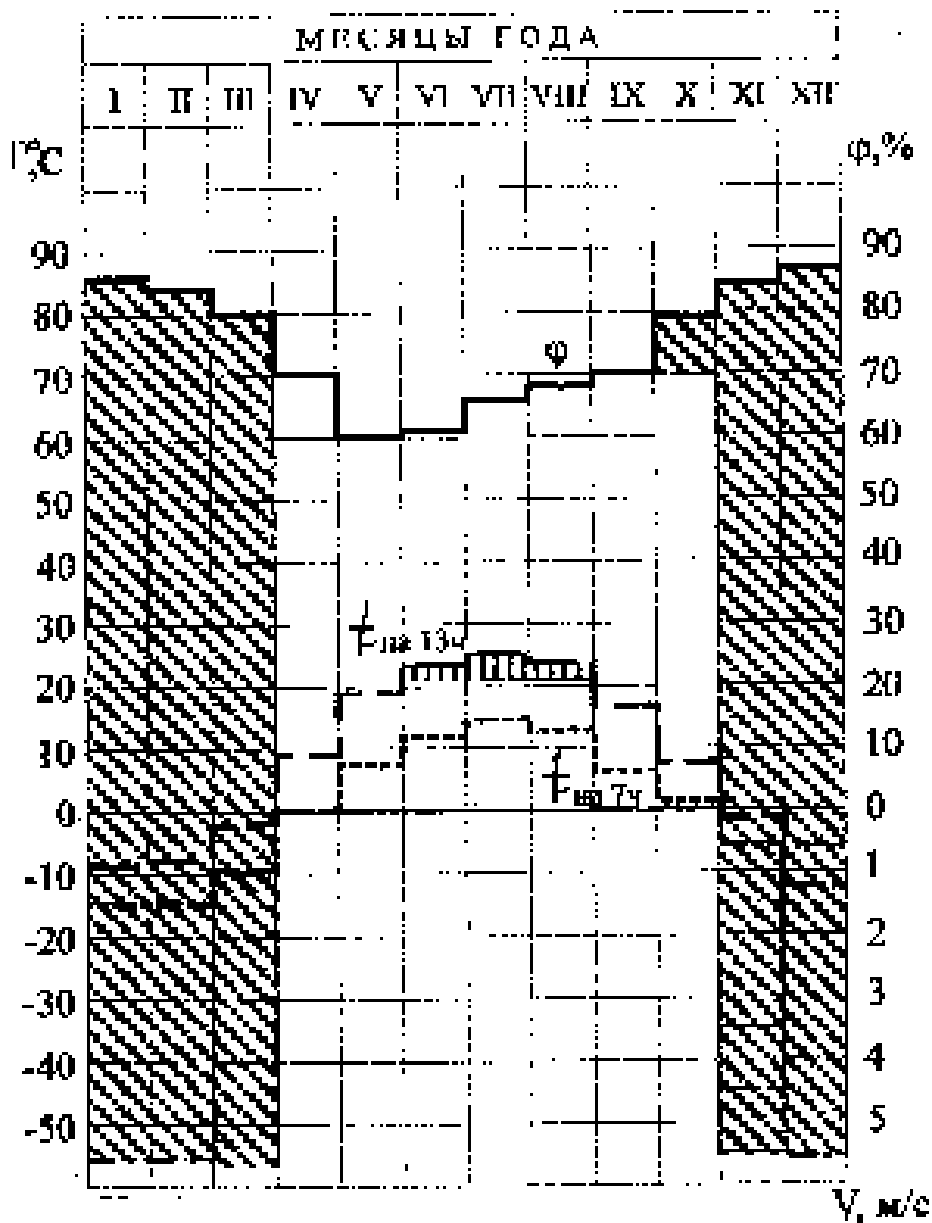


Рис.2. Годовой ход изменения климатических элементов (г. Пенза)

Горизонтальная ось бланк-сетки соответствует месяцам года. На левой вертикальной оси отмечают значения температур, отсчитываемых от нуля вверх и вниз (положительные и отрицательные температуры на 7 и 13 часов –  $t_7^{\circ}\text{C}$  и  $t_{13}^{\circ}\text{C}$ ). На правой вертикальной оси отмечаются значения относительной влажности, отсчитываемой от нуля вверх ( $\varphi$ , %), и значения скорости ветра, отсчитываемой от нуля вниз ( $v$ , м/с).

Для удобства запись значений  $t_7^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{13}^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi$ , % и  $v$ , м/с, можно вести в табличной форме (табл.2). После нанесения числовых значений климатических характеристик выявляют и отмечают неблагоприятные месяцы года при воздействии на человека: сочетание отрицательных температур и высокой влажности (более 70%) и температур, близких к нулю, с любой скоростью ветра. Выявляют также наиболее жаркий период лета со среднемесячной температурой выше  $21^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность неблагоприятных воздействий в дальнейшем учитывают при разработке архитектурных и конструктивно-типологических особенностей зданий и территорий застройки.

На следующем этапе по месяцам проводят анализ влияния ветра и температуры воздуха на жилую среду и человека для зимнего и летнего периодов года (рис.3).

Этот анализ позволяет выявить ряд требований к зданиям и застройке в зависимости от адаптации человека к климату местности и сезону года.

Наиболее полную характеристику ветрового режима местности дает так называемая "роза ветров".

"Роза ветров" – это графическое изображение скорости, м/с, и повторяемости, %, ветра в определенный период года для данной местности по восьми направлениям сторон света (румбам) — основным и промежуточным (С, С-В, В, Ю-В, Ю, Ю-З, З, С-З). Сведения о повторяемости и скорости ветра даны в прил. 4. «Розу ветров» строят графически на зимний (январь) и летний (июль) месяцы (рис.4).

Таблица 2

## Значение климатических элементов (г. Пенза)

Месяцы года	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Наименование климатических элементов												
Среднемесячная температура $t_{\text{ср}}$ (прил.1)	-12,2	-11,3	-5,6	4,9	13,5	17,6	19,6	18,0	11,9	4,4	-2,9	-9,1
Амплитуда температурных колебаний $A_{\text{ср}}$ (прил.2)	6,6	7,3	7,8	8,9	11,2	11,4	10,9	10,8	9,9	6,6	5,6	5,8
Температура на 7 часов $t^{\circ}_7 = t^{\circ}C_{\text{расч}} + 0,5A_{\text{ср}}$	-15,5	-14,9	-9,5	0,5	7,9	11,9	14,2	12,6	6,6	1,1	-5,27	-12,0
Температура на 13 часов $t^{\circ}_{13} = t^{\circ}C_{\text{ср}} - 0,5A_{\text{ср}}$	-7,8	-7,7	-1,7	9,3	19,1	23,3	25,0	23,4	16,8	7,7	-5,7	-6,2
Относительная влажность воздуха $\varphi$ , %	86	83	80	70	60	61	66	68	70	79	84	87
Средняя скорость ветра за январь и июль, $v$ янв., м/с, $v$ июль, м/с (прил.6)	5,6						4,8					

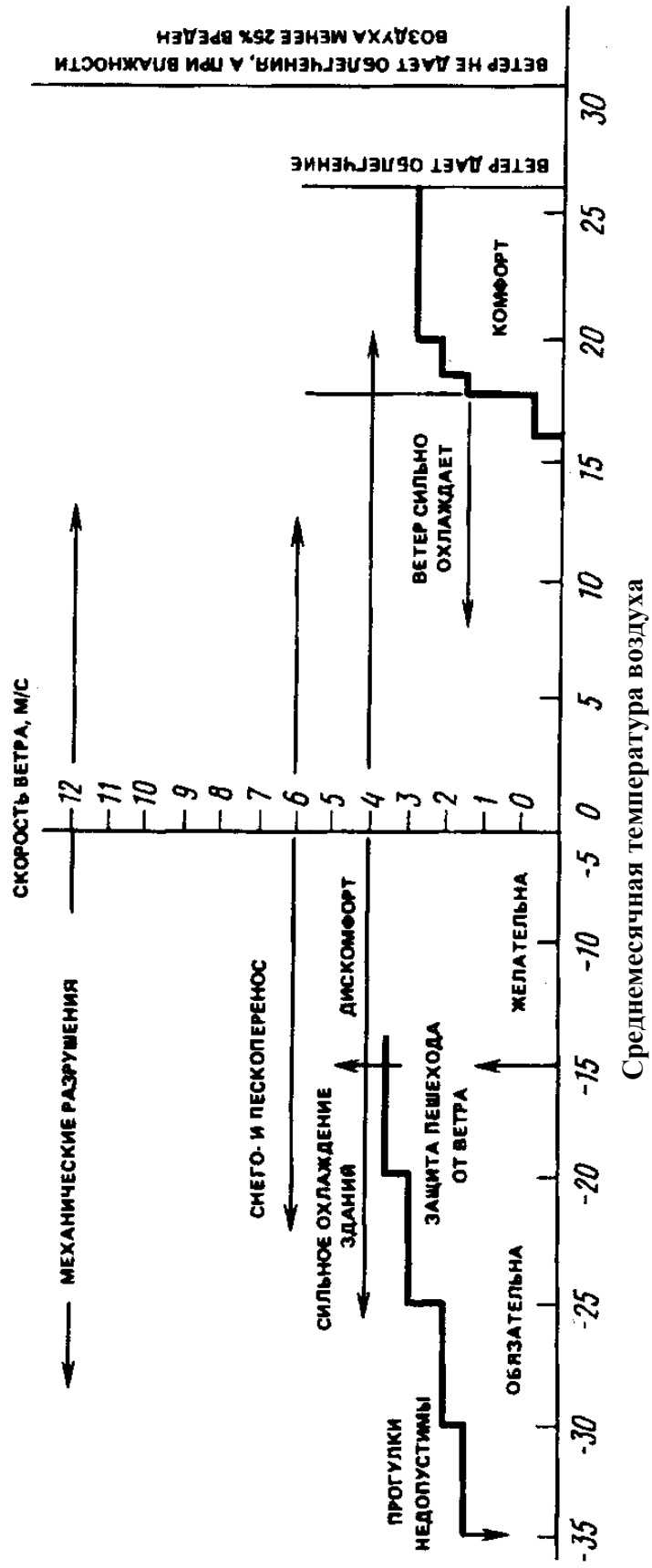


Рис. 3. График воздействия ветра и температуры воздуха на жилую среду и человека

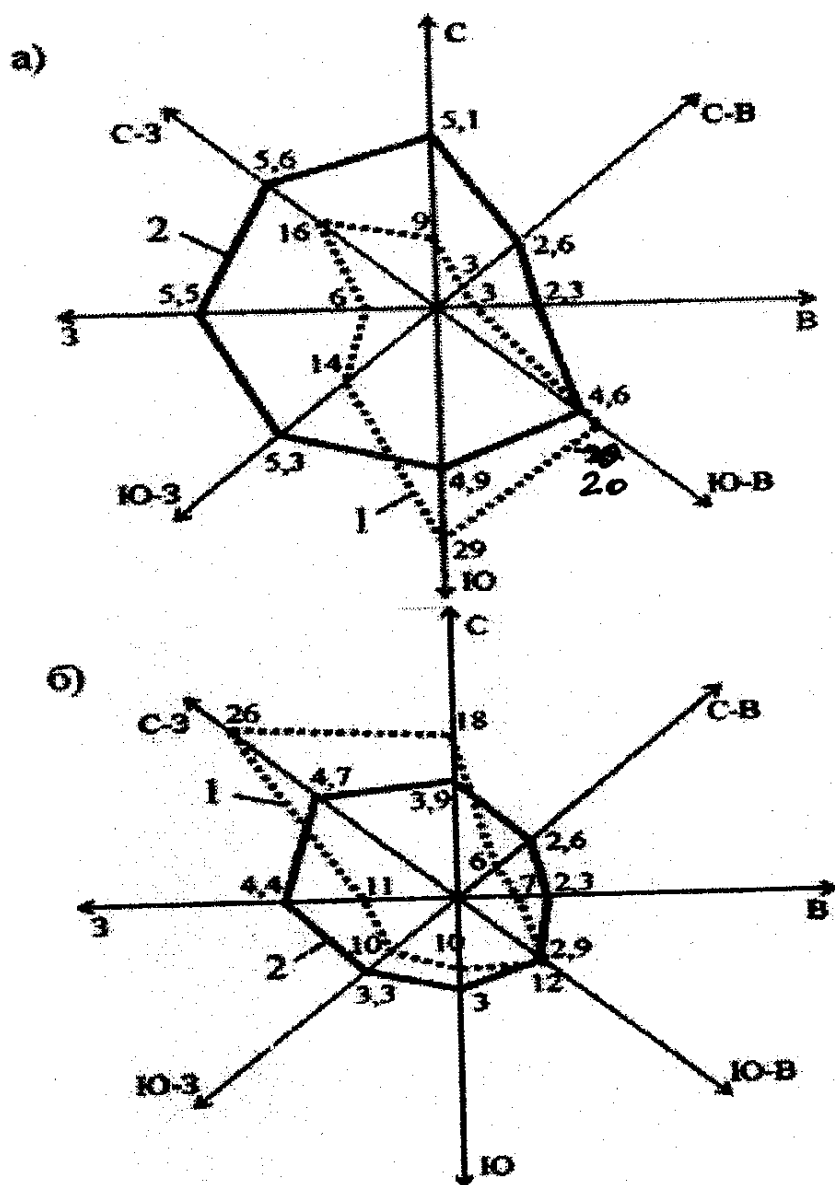


Рис. 4. «Розы ветров» для г. Пензы:  
 а) в зимний период (январь); б) в летний период (июль);  
 1 – повторяемость ветра по румбам, %;  
 2 – средняя скорость ветра, м/с

«Розу ветров» учитывают при разработке генеральных планов населённых мест или отдельных участков застройки, при расчётах аэрации зданий и территорий, воздухопроницаемости ограждающих конструкций, защите зданий от переохлаждения и др.

**Определение преобладающего типа погоды.** В зависимости от различных сочетаний среднемесячных значений температуры воздуха, влажности и скорости ветра можно установить тип погоды для каждого

месяца года. Всего установлено 7 типов погоды: жаркая, сухая, теплая, комфортная, прохладная, холодная и суровая. Тип погоды устанавливают по общепринятой классификации, согласно табл. 3 и рис.5.

Верхний предел	Нижний предел	Относительная влажность воздуха в %			
		0-24	25-49	50-74	75-100
47,9	44,0				
43,9	40,0				
39,9	36,0				
35,9	32,0				
31,9	28,0				
27,9	24,0				
23,9	20,0				
19,9	16,0				
15,9	12,0				
11,9	8,0				
7,9	4,0				
3,9	0,0				
-0,1	-3,9				
		Скорость ветра в м/с			
		0-1,9	2-4,9	5-9,9	10-я более
-4,0	-11,9				
-12,0	-19,9				
-20,0	-27,9				
-28,0	-35,9				
-36,0	-47,9				
-48,0	-59,9				
-60,0	-71,9				

Типы погоды			
	ЖАРКАЯ		ПРОХЛАДНАЯ
	СУХАЯ (засушливая)		ХОЛОДНАЯ
	ТЕПЛАЯ		СУРОВАЯ
	КОМФОРТНАЯ		

Рис. 5. Классификация погодных условий

Запись погодной классификации определенной местности за год обычно оформляют в табличной форме по образцу (табл. 4).

Т а б л и ц а 3

Классификация типов погоды  
и соответствующие режимы эксплуатации жилища

№ п/п	Тип погоды	Режим эксплуатации жилища	Среднемесячная температура воздуха, °С	Средняя относительная влажность воздуха, %	Средняя скорость ветра, м/с
1	2	3	4	5	6
1.	Жаркая (сильный перегрев при нормальной и высокой влажности)	Изолированный. Затенение, аэрация, компактное объемно-планировочное решение зданий полное кондиционирование воздуха, побудительная вытяжная вентиляция, воздухопроницаемость V теплозащита ограждений	40 и выше 32 и выше 25 и выше	24 и менее 25...49 50 и более	- - -
2.	Сухая жаркая (сильный перегрев при низкой влажности)	Закрытый. Затенение, защита от пыльных ветров, искусственное охлаждение помещений без снижения влагосодержания, воздухопроницаемость, теплозащита ограждений	32...39,9	24 и менее	-
3.	Теплая (перегрев)	Полуоткрытый. Затенение и аэрация, сквозное (угловое и вертикальное) проветривание квартир, лоджии и веранды, механические вентиляторы-фены, трансформация ограждений	24...27.9 . 20...24.9 24...31.9 28...31.9	50...74 75 и более 24 и менее 25...49	- - - -



Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6
4.	Комфортная (тепловой комфорт)	Открытый. Отсутствие кли-матозащитной функции архитектуры, типичны лоджии, веранды	12...23.9 12...23,9 12...27.9 12...19.9	24 и менее 50...74 25...49 75 и более	- - -
5.	Прохладная	Полуоткрытый. Защита от ветра, ориентация на солнце, отопление малой мощности, трансформация и необходимая воздухопроницаемость ограждений	4-12	-	0 и более
6.	Холодная (охлаждение)	Закрытый. Защита от ветра, ориентация на солнце, компактно объемно-планировочное решение, закрытые лестницы, шкафы для верхней одежды, центральное отопление средней мощности, вытяжная канальная вентиляция, воздухо непроницаемость и теплозащита ограждений	-35,9...+4 -27,9...+4 -19,9...+4 -11,9...+4	- - - -	1,9 и менее 2...4.9 5...9.9 10 и более
7.	Суровая (сильное охлаждение)	Изолированный. Переходы между жилищем и сетью первичного обслуживания, максимальная компактность зданий, отопление большой мощности, искусственная приточная вентиляция с обогревом и увлажнением воздуха, высокие воздухо непроницаемость и теплозащита зданий, двойной тамбур, шкафы для верхней одежды	-36 и ниже -28 и ниже -20 и ниже -12 и ниже	- - - -	1,9 и менее 2...4,9 5...9,9 10 и более

Примечание. В качестве минимальной продолжительности типа погоды, определяющего режим эксплуатации жилища, принят 1 месяц.

Итоговая запись в виде подсчета количества однотипных погодных

условий наглядно выявляет преобладающий тип погоды в течение года. Так, по данным табл. 4 это составляет 12Х, 5П, 1Т, 6К, что свидетельствует о холодном преобладающем типе погоды.

По преобладающему типу погоды должен быть принят соответствующий режим эксплуатации здания, т.е. его типологические особенности объемно-планировочного и конструктивного решения, систем отопления, вентиляции и др. Режимы эксплуатации зданий в зависимости от преобладающего типа приведены в табл. 3.

Комплексная оценка сторон горизонта местности завершает составление климатического паспорта.

Т а б л и ц а 4

Запись типов погоды

Город	Время суток	Типы погоды по месяцам года											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Пенза	7 часов	Х	Х	Х	Х	П	П	К	К	П	Х	Х	Х
	13 часов	Х	Х	Х	П	К	К	Т	К	К	П	Х	Х

П р и м е ч а н и е . с – суровая; х – холодная; п – прохладная; т – теплая; к – комфортная; ж – жаркая.

Для комплексной оценки делают построение круговой диаграммы, на которой в виде секторов отмечают зоны по ориентации: запрещенные, нежелательные, неблагоприятные и благоприятные по ряду климатических факторов (рис. 6).

Так, для оценки сторон горизонта по условиям ветроохлаждения в зимний период, используя "розу ветров", определяют сектор с максимальным значением скорости и наибольшей повторяемостью ветра. На круговой диаграмме эти направления представлены как нежелательные для ориентации фасадов зданий. При оценке сторон горизонта на случай возможного перегрева зданий нежелательна ориентация фасадов на юго-запад и запад. Это особенно нежелательно для районов строительства, имеющих в летнее время среднемесячную температуру воздуха более 21°С. Сектор, находящийся в пределах с-з, с, с-в недопустим по условиям инсоляции.

На основе итоговой оценки климата местности по комплексу климатических факторов делают общие выводы, связывающие климатические характеристики с решением планировочных, конструктивных и градостроительных задач.

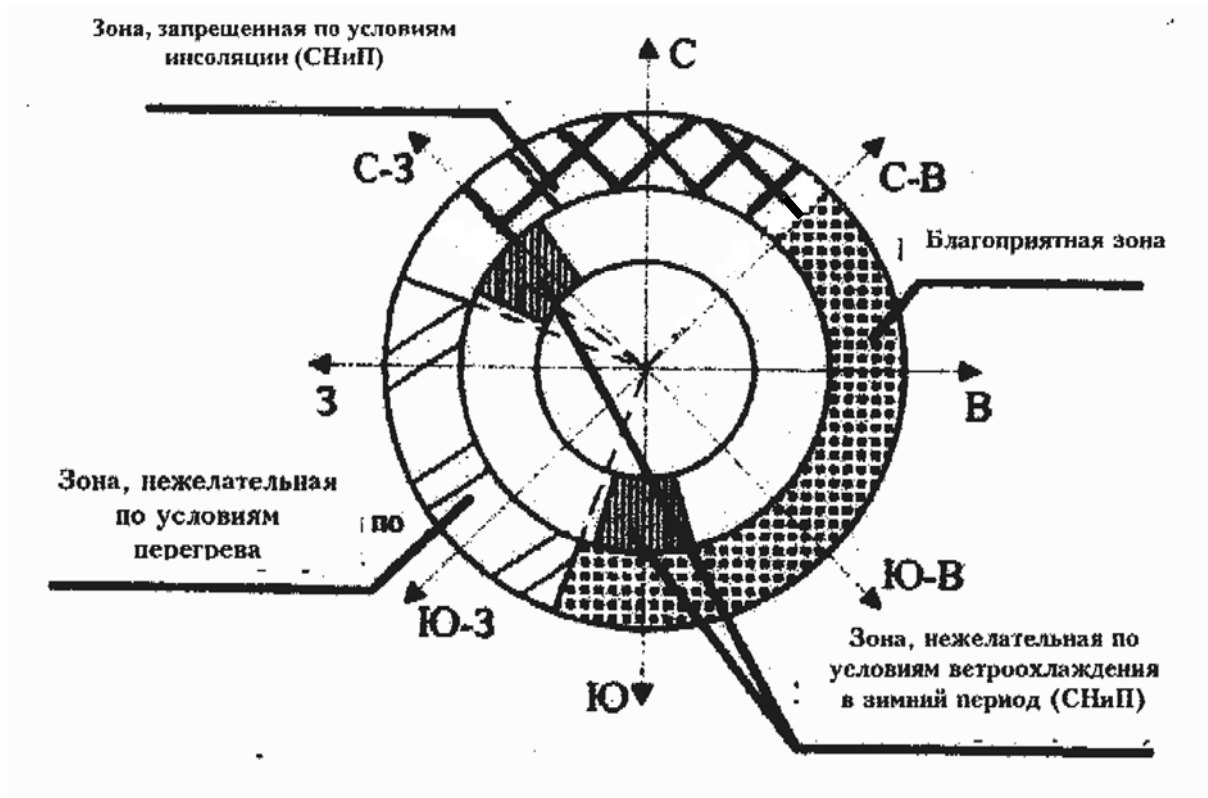


Рис. 6. Оценка сторон горизонта по комплексу климатических факторов

## 2. ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Климатическая типология — это определение "типа" здания как совокупности его объемно-планировочного и конструктивного решения, ограждений, а также систем инженерного оборудования и их соответствия климату.

Применяемые архитектурные и инженерные средства преобразования внешней среды должны соответствовать типу погоды, преобладающей в заданной местности. Связь между архитектурой здания и погодными условиями следует искать в степени раскрытия помещений во внешнюю среду. При разработке планировки здания следует учитывать, что каждому погодному виду должен соответствовать определенный режим эксплуатации зданий: открытый, полуоткрытый, закрытый, изолированный (табл. 3).

На рис.7 приведены примерные варианты режимов эксплуатации жилища при семи типах погоды.

**А. Жилище при жаркой погоде** должно защищать человека от сильного перегрева, гиперинсоляции и духоты. Для него характерны: компактное объемно-планировочное решение зданий, обеспечивающее минимальное теплоступление извне; открытые помещения для вечернего и ночного пребывания; использование охлаждающего действия грунта; высокая воздухопроницаемость и необходимые теплозащитные качества ограждений; закрытые, уплотненные окна; полное кондиционирование, побудительная вытяжная вентиляция. В городской среде затенение и аэрация смягчают условия перегрева, но не создают комфорта. Поэтому важная задача планировки и застройки — улавливание ветра (рис. 7,а).

**Б. Жилище при жаркой сухой погоде** должно обеспечивать защиту человека от сильного перегрева, гиперинсоляции, а нередко и от пыли. Для него характерны: компактность, увеличение кубатуры помещений; открытые пространства для вечернего и ночного пребывания; воздухопроницаемость и теплозащитные качества ограждений; закрытые, защищенные от солнца окна; искусственное охлаждение без снижения влагосодержания воздуха; кондиционирование, использование охлаждающего действия грунта. В городской среде – активное затенение и обводнение (озеленение, фонтаны, бассейны); защита от горячих пыльных ветров, улавливание ночных горных ветров (рис. 7,б).

**В. Жилище при теплой погоде** должно защищать человека от легкого перегрева. Для него характерны: двухсторонняя планировка квартир с обеспечением активного проветривания; открытые помещения, лоджии, веранды, террасы, приквартирные дворики; трансформация пространств и ограждений в суточном ходе, открытые окна при наличии солнцезащитных

устройств; механическая вентиляция. В городской среде комфортные и близкие к ним условия создают затенение и аэрация (рис. 7,в).


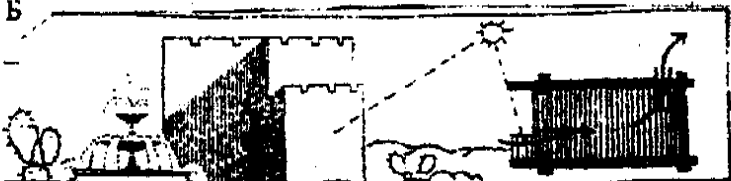


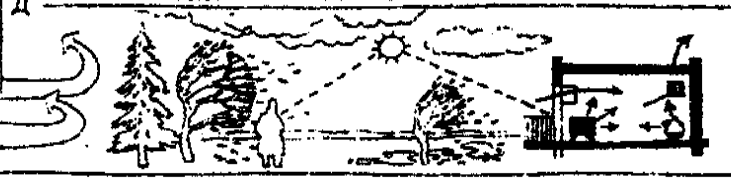
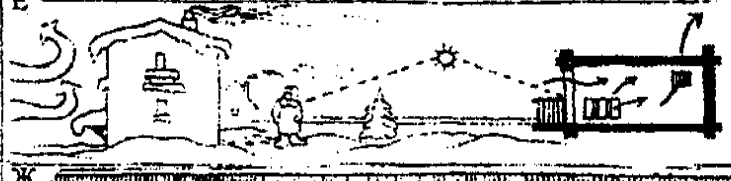

	Погоды	Жилища	
А	Жаркая	Изолированный	
Б	Сухая (засушливая)	Закрытый	
В	Теплая	Полуоткрытый	
Г	Комфортная	Открытый	
Д	Прохладная	Полуоткрытый	
Е	Холодный	Закрытый	
Ж	Суровая	Изолированный	

Рис. 7. Режим эксплуатации жилища при семи типах погоды

Г. Жилище при комфортной погоде почти не несет климатозащитных функций. При такой погоде помещения, как правило, непосредственно

связывают с внешней средой. Не предъявляется высоких требований к теплоизоляционным качествам ограждающих конструкций, отопительным и охлаждающим системам. Для зданий типичны лоджии, веранды, активный естественный воздухообмен помещений. Не ограничивается и время пребывания человека во внешней среде, хотя иногда может быть желательна защита от излишней инсоляции (рис. 7,г).

**Д. Жилище при прохладной погоде** должно защищать человека от легкого охлаждения. Для него характерны: обращение комнат на солнечные стороны горизонта; умеренно-компактное объемно-планировочное решение зданий; в квартирах – наличие места для хранения верхней одежды; воздухообмен и проветривание через форточки, фрамуги; трансформация и необходимая воздухопроницаемость ограждений; отопительные устройства малой мощности. В городской среде условия, близкие к комфортным, создают инсоляция и защита от ветра (рис. 7,д).

**Е. Жилище при холодной погоде** обязано защищать человека от сильного охлаждения. Для него характерны: компактность, обеспечивающая минимальные теплопотери; закрытая отапливаемая лестница; шкафы для верхней одежды; необходимая воздухопроницаемость и высокая теплозащита ограждений; закрытые, уплотненные окна; отопление средней мощности, вытяжная канальная вентиляция. В городской среде эффективная защита от ветра и использование солнца смягчают условия охлаждения, но не создают комфорта (рис. 7,е).

**Ж. Жилище при суровой погоде** должно защищать человека от крайне сильного охлаждения. Для него характерны: максимальная компактность, обеспечивающая минимальные теплопотери; закрытая отапливаемая лестница; минимальное количество входов в дом; двойные или тройные тамбуры при входах; очень высокие воздухопроницаемость и теплозащитные качества ограждений; центральное или местное отопление большой мощности; побудительная приточно-вытяжная вентиляция с подогревом и увлажнением воздуха. В городской среде пребывание человека на улице резко ограничено; эффективная ветрозащита смягчает условия охлаждения в районах с ветрами; целесообразны теплые переходы между квартирами и предприятиями повседневного обслуживания, зимние сады, рекреации (рис. 7,ж).

### 3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЭФФЕКТИВНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ МЕСТНОСТИ

На основе климатического паспорта разрабатывают рекомендации по эффективному использованию климатических факторов местности, как резерву повышения качества архитектуры.

Показатели по ветру должны быть использованы для решения планировочных задач, связанных с ветрозащитой, аэрацией и выбором оптимальной ориентации зданий, типов квартир, секций и т.д. Так, например, приемы защиты от ветра в холодном и жарком климате (они очень похожи) включают: предельную изоляцию от неблагоприятного воздействия ветра, компактность в плане, использование большей ширины зданий, обеспечение стенами и внутренними дворами надежной защиты от ветров, несущих воздух со слишком высокой или низкой температурой. Известно, что теплотери зданий в результате воздействия ветра в зимний период зависят от его местоположения (незащищенное здание другими объектами или, наоборот, защищенное), ориентации и характера ограждения. При планировке городов и сельских населенных мест важно предусмотреть защиту жилого района от задымления и неблагоприятных запахов от промышленных и сельскохозяйственных комплексов. Это достигается правильным расположением неблагоприятных зон по отношению к жилому району с учётом господствующего направления ветра.

Неблагоприятные в санитарном отношении зоны должны располагаться в направлении с наименьшей повторяемостью ветра.

Направление основных магистралей и сети улиц рекомендуется выбирать также в соответствии с "розой ветров", с тем, чтобы обеспечить должную аэрацию жилого района или защиту от неблагоприятных сильных ветров.

При совпадении направления ветра с направлением прямой магистрали, вдоль которой фронтально располагаются здания, может возникнуть эффект усиления скорости ветра до 20%. Если этот эффект нежелателен, то следует располагать здания под углом 45-90° к направлению магистрали. Здание, встречающее ветровой поток, создает позади себя ветровую тень в пределах 3-8 высот ( $H$ ), что обеспечивает в жилом квартале надёжную защиту от неблагоприятного воздействия ветра пешеходов и отдыхающих людей. Для улучшения аэрации жилого квартала, наоборот, требуется большее расстояние между зданиями (больше 3-8  $H$ ). В особо ветреных районах рекомендуется применение системы ветрозащитных зданий, которые komponуются изогнутыми в плане и с "переломом" под углом 120-150°.

В застройке северных зон в качестве ветрозащиты и трансформации воздушного потока рекомендуется также использование ячеевых систем (рис.8).

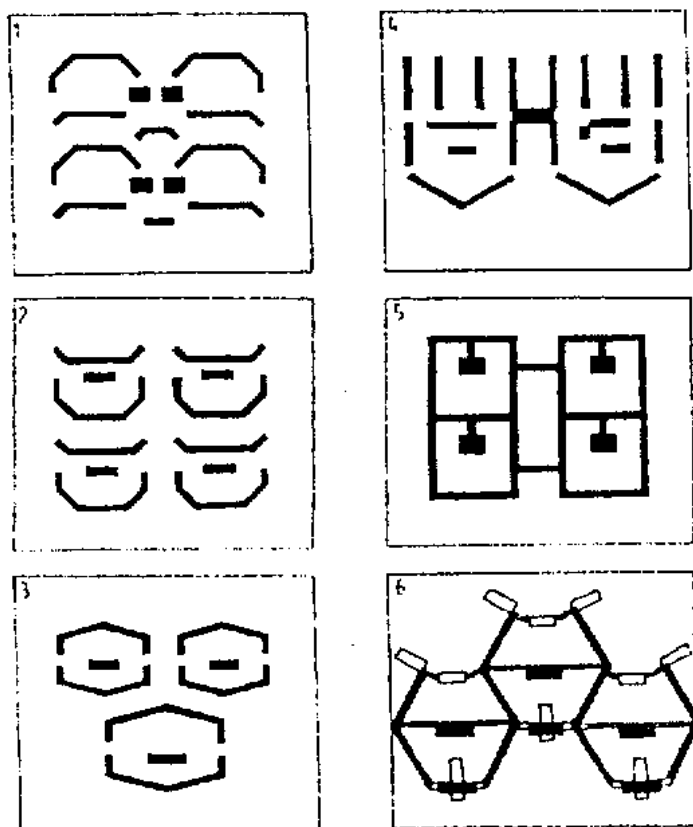


Рис. 8. Основные климатологические типы застройки в районах сурового климата:

- 1 – солнцеаккумулирующая; 2-4 – ветрозащитная, аэродинамическими группами; 5 – криптоклиматическая; 6 – непрерывные аэродинамические структуры

В южных районах в целях использования благоприятных прохладных ветров для проветривания целесообразно выполнять разбивку улиц по направлению действия ветра, окна на фасадах зданий располагать с наветренной стороны, организовывать сквозное проветривание квартир, а для защиты от нежелательного воздействия ветра использовать озеленение (рис.9, а – г).

В целях защиты от перегрева городских территорий используют комплекс всех естественных средств: ориентацию, солнцезащиту, сквозное проветривание, озеленение и обводнение, которые могут способствовать снижению температуры воздуха в зданиях в дневные часы на 6-11°C. Поскольку возможности улучшения условий в жилой среде путем озеленения и обводнения всё-таки ограничены, ведущую роль в защите от перегрева отводят градостроительным приемам и архитектурно-планировочным решениям застройки и зданий.



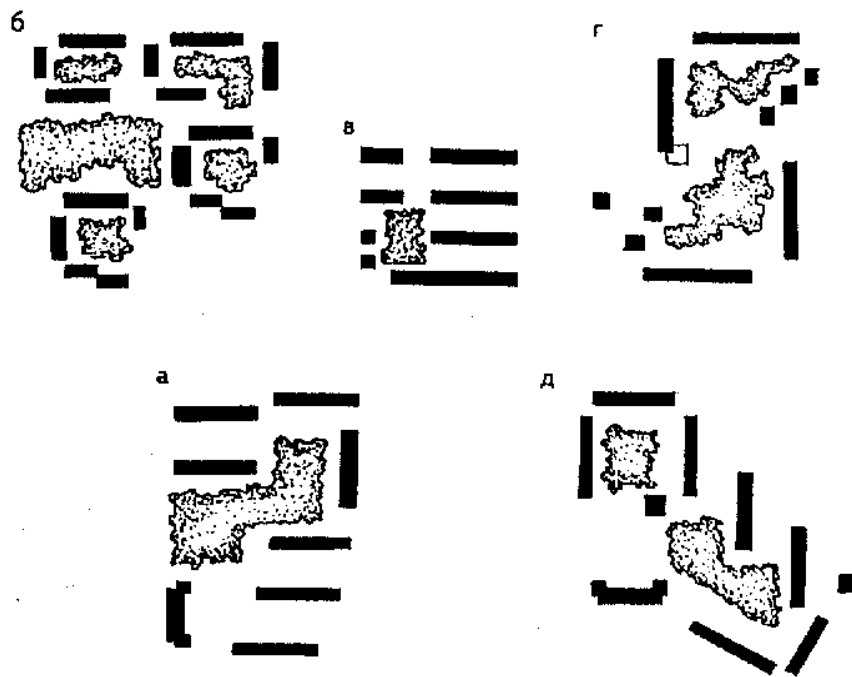


Рис. 9. Примеры компоновки жилых групп с учётом микроклиматических условий:

- а – в условиях жарко-влажного климата; б – замкнутыми жилыми группами в условиях жарко-сухого климата; в – линейным расположением жилой группы в условиях жарко-влажного климата; г – замкнутой жилой группой с высотными домами; д – жилые группы в условиях умеренного климата

К архитектурно-планировочным приёмам защиты зданий от перегрева относят: проветривание квартир через шахты; развитые в глубину квартиры лоджии; ограничение этажности зданий до 2-3 этажей с приквартирными дворами и высокой плотностью застройки; применение многоэтажных зданий с открытыми пространствами в его структуре; гелиожилища с системой охлаждения и др. Мерой защиты от перегрева является также правильный выбор формы здания, строительных и отделочных материалов.

В гражданской архитектуре под влиянием жаркого климата сложился башенный тип дома с уступами и террасами плоских крыш.

При повышенной влажности воздуха типичны умеренно-открытые и открытые планировочные решения, ориентированность архитектурных пространств, рассчитанная на использование ветра и защиту от солнца, разная этажность домов, облегчающая аэрацию, павильонная структура общественных зданий, неограниченные возможности озеленения. Для застройки характерна значительная открытость пространств.

## 4. ИНСОЛЯЦИЯ ЗДАНИЙ И ЗАСТРОЙКИ

Под инсоляцией понимают совокупность светового, ультрафиолетового и теплового воздействий Солнца.

Освещая территорию, фасады и интерьеры зданий, лучи Солнца в значительной мере определяют качество окружающей среды, оказывают большое влияние на микроклимат, на освещение и гигиену помещений, на выразительность архитектурных композиций и форм.

Одна из задач архитекторов состоит в том, чтобы архитектурно-планировочными и строительными средствами в наибольшей степени использовать положительные функции Солнца и устранить его отрицательное воздействие на человека.

Выполнение этих требований заложено в нормы по инсоляции [7]. Расчеты инсоляции являются обязательными на стадии разработки предпроектной и проектной документации как отдельных зданий, так и застройки.

Продолжительность инсоляции регламентируется в:

- жилых зданиях;
- детских дошкольных учреждений;
- учебных учреждениях общеобразовательных, начального, среднего, дополнительного и профессионального образования, школах-интернатах, детских домах и др.;
- лечебно-профилактических, санаторно-оздоровительных и курортных учреждениях;
- учреждениях социального обеспечения (домах-интернатах для инвалидов и престарелых и др.).

В целях наилучшего использования благоприятных свойств солнечного света нормируемая продолжительность непрерывной инсоляции для помещений жилых и общественных зданий устанавливается нормами [7] дифференцированно в зависимости от типа квартир, функционального назначения помещений, планировочных зон города, географической широты:

- для северной зоны (севернее  $58^{\circ}$  с.ш.) – не менее 2,5 часа в день с 22 апреля по 22 августа;
- для центральной зоны ( $58^{\circ}$  с.ш. –  $48^{\circ}$  с.ш.) – не менее 2 часов в день с 22 марта по 22 сентября;
- для южной зоны (южнее  $48^{\circ}$  с.ш.) – не менее 1,5 часа в день с 22 апреля по 22 сентября.

Для обеспечения нормируемых требований по инсоляции застройки и помещений архитектору приходится решать следующие практические задачи:

- определять действительную продолжительность инсоляции территории застройки и помещений;

– строить и исследовать контуры теней для определения допускаемых расстояний между зданиями и мест расположения в застройке спортивных и детских площадок, цветников и т. д.

Решение этих задач наиболее просто и удобно проводить с помощью инсографиков Дунаева (рис. 10).

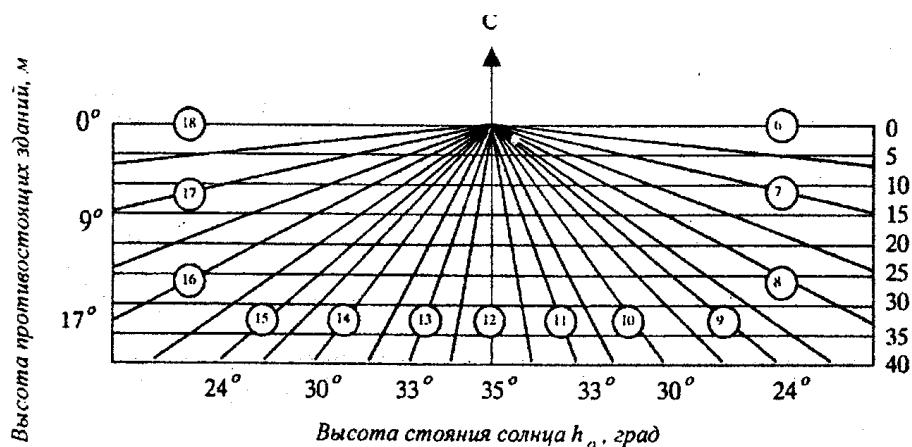


Рис. 10. Инсографик Б. А. Дунаева

Инсографик состоит из двух систем линий:

– часовых радиальных линий, представляющих горизонтальные проекции солнечного луча, направленного к расчетной точке в различное время дня;

– горизонтальных линий, показывающих в метрах превышение карниза противостоящего (затеняющего) здания над уровнем расчетной точки затеняемого здания.

При каждой радиальной линии на инсографике в кружках показывают часы по солнечному времени и высоту Солнца над горизонтом в градусах.

Графики составляют для определенной географической широты. На рис. 10 показан инсографик, построенный для местности, расположенной на широте 55° (масштаб 1:500). Графики могут быть построены и в других масштабах в зависимости от масштаба проектов застройки, например 1:1000, 1:2000.

При строительстве зданий в условиях сложившейся застройки становится актуальным определение продолжительности инсоляции помещений с тем, чтобы не затенялись существующие здания и обеспечивалась нормируемая продолжительность инсоляции помещений каждого здания.

При определении продолжительности инсоляции и подборе типа жилой секции (при этом необходимо учитывать, прежде всего, ориентацию 1-комнатных квартир) руководствуются следующими принятыми терминами и понятиями:

– расчетные (главные) стороны жилых зданий – стороны, на которых расположены расчетные комнаты квартир. В зданиях широтного типа за расчетную сторону принимают ту, на которую выходят квартиры одной-сторонней ориентации и часть комнат квартир двухсторонней ориентации. В зданиях меридионального типа обе стороны являются расчетными;

– расчетные помещения – жилые комнаты и помещения общественных зданий, в которых нормируется продолжительность инсоляции;

– продолжительность инсоляции в жилых зданиях должна быть обеспечена не менее чем в одной комнате 1-3-комнатных квартир и не менее чем в двух комнатах 4-комнатных и более квартир;

– расчетная высота противостоящего здания ( $H_p$ , м) – отсчитывается от расчетной точки исследуемого помещения до карниза (парапета) или конька кровли противостоящего здания. При расчетах инсоляции и затенения территории  $H_p$  отсчитывается от уровня земли до карниза затеняющего здания;

– расчетная точка – точка на пересечении горизонтальных лучей солнца, представляющих начало и окончание инсоляции без учёта окружающей застройки;

– инсоляционные углы светопроёма – горизонтальные и вертикальные углы, в пределах которых на плоскости светопроёма возможно поступление прямых солнечных лучей;

– при расчете инсоляционных углов глубина световых проёмов принимается равной расстоянию от наружной плоскости стены до внутренней плоскости переплёта;

– расчёт продолжительности инсоляции помещений выполняется в расчетной точке, которая определяется с учётом расположения и размеров затеняющих элементов здания.

Рассмотрим ряд задач, связанных с определением продолжительности инсоляции помещений и территорий, а также построением контура теней («конверта теней») от здания.

Исходными данными для решения этих задач являются:

– фрагмент плана застройки (М1:500), выполненный с учетом таких климатических факторов, как ветер, температура, влажность (см. разд. 2, 3);

– толщина стен; высота этажа; расстояние от уровня земли до низа окна; расстояние от уровня чистого пола до подоконника; ширина и высота светопроёма, определяемые по [5, 6].

**Задача 1.** Пользуясь инсографиком Дунаева, требуется определить:

– продолжительность инсоляции помещения, расположенного по середине фасада исследуемого здания;

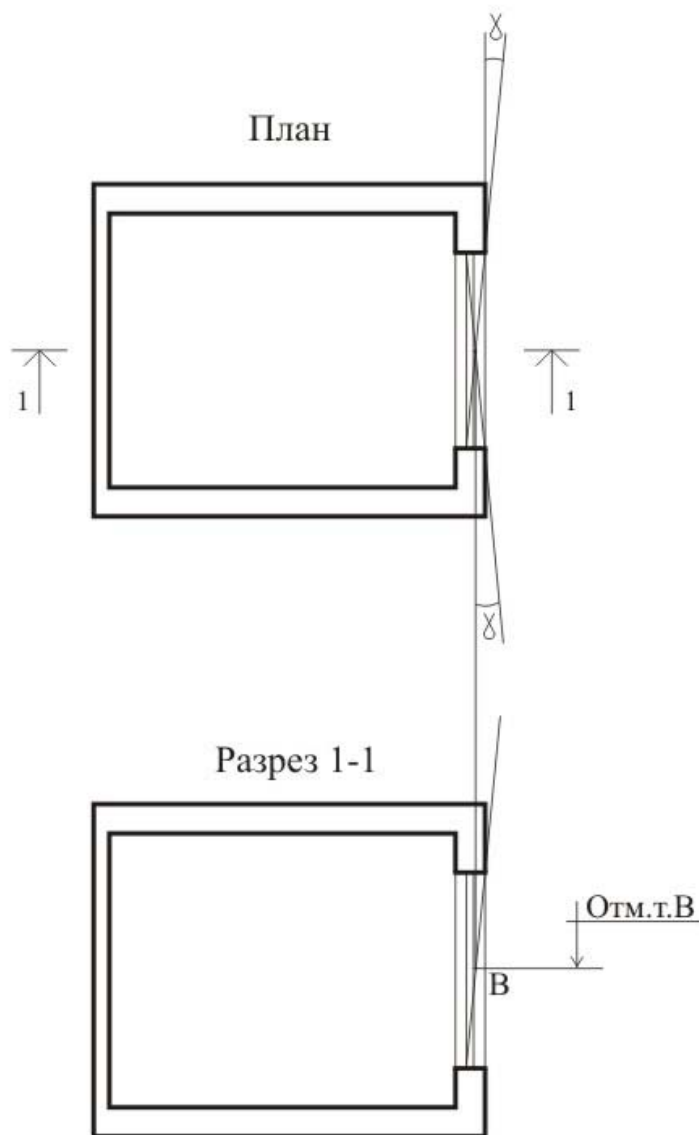
– дать заключение о соответствии действительного времени инсоляции помещения нормируемому;

– наметить пути для выбора оптимальных разрывов между инсолируемым и затеняющим зданиями.

### Решение задачи 1

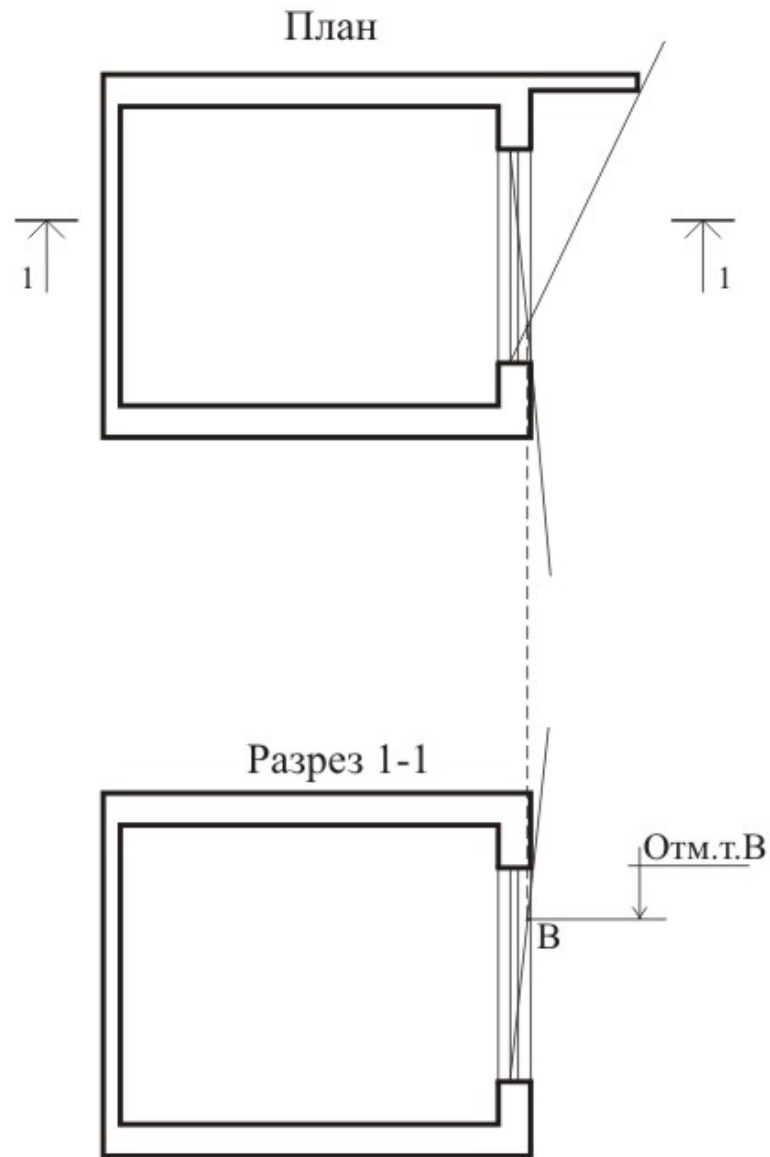
1. Вычерчивается на кальке в масштабе высот инсографика план исследуемого здания и окружающей его застройки, расположенной с восточной, южной и западной сторон. Количество этажей исследуемого здания и высоты сооружений, окружающих его, принимается в соответствии с проектным заданием.

2. На плане и вертикальном разрезе помещения определяют горизонтальные и вертикальные инсоляционные углы светопроёма и расчётную точку «В» помещения в плане (рис. 11, 12, 13).



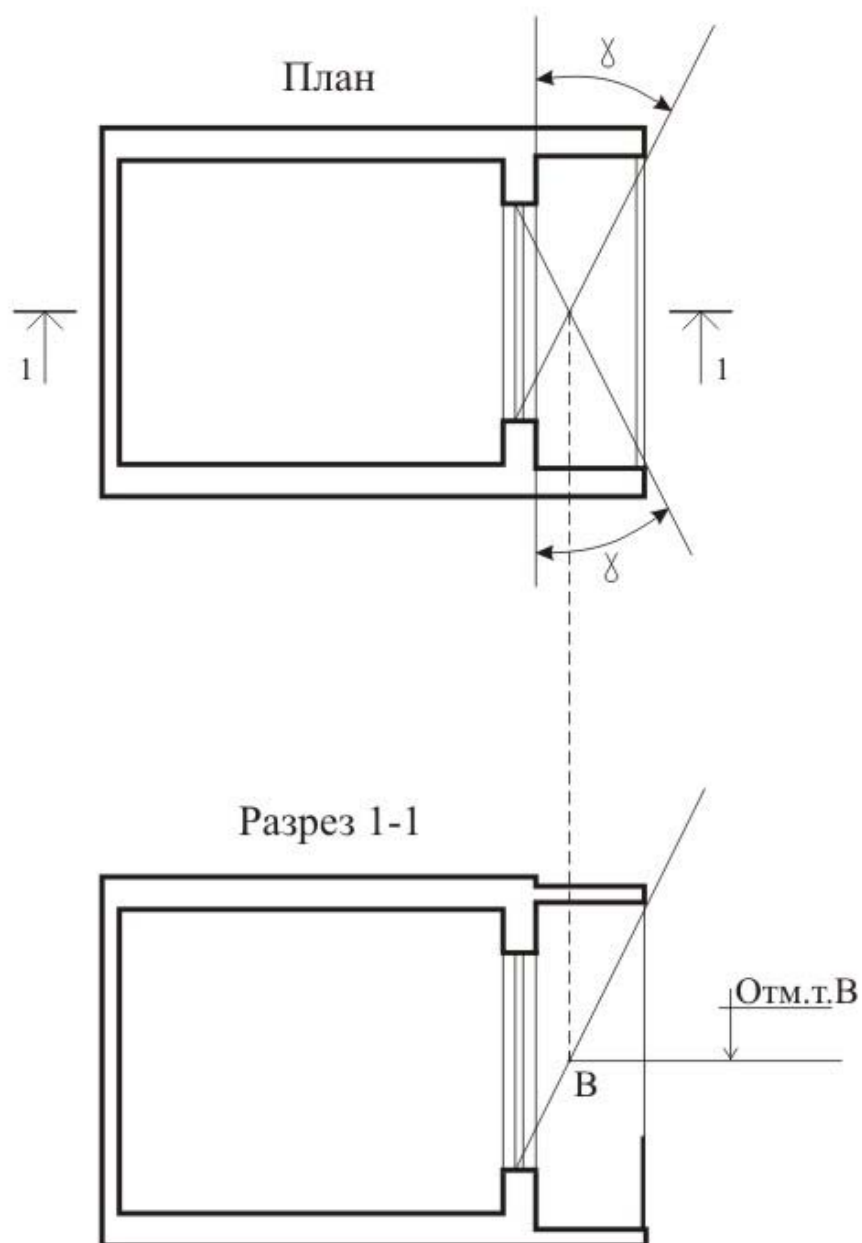
$\chi$  - горизонтальный угол затенения светопроёма

Рис.12. Схема определения расчётной точки для окна



$\gamma$  - горизонтальный угол затенения светопроема

Рис.12. Схема определения расчётной точки для окна с примыкающей стеной



$\gamma$  - горизонтальный угол затенения светопроема

Рис. 13. Схема определения расчётной точки для окна с лоджией

3. Определяется продолжительность инсоляции расчётной точки помещения, расположенной по середине фасада изучаемого здания. Для этого инсографик накладывают на фрагмент участка застройки так, чтобы

его центральная точка совпадала с расчётной точкой на фасаде здания, а полуденная часовая линия была расположена по линии меридиана (рис. 14).

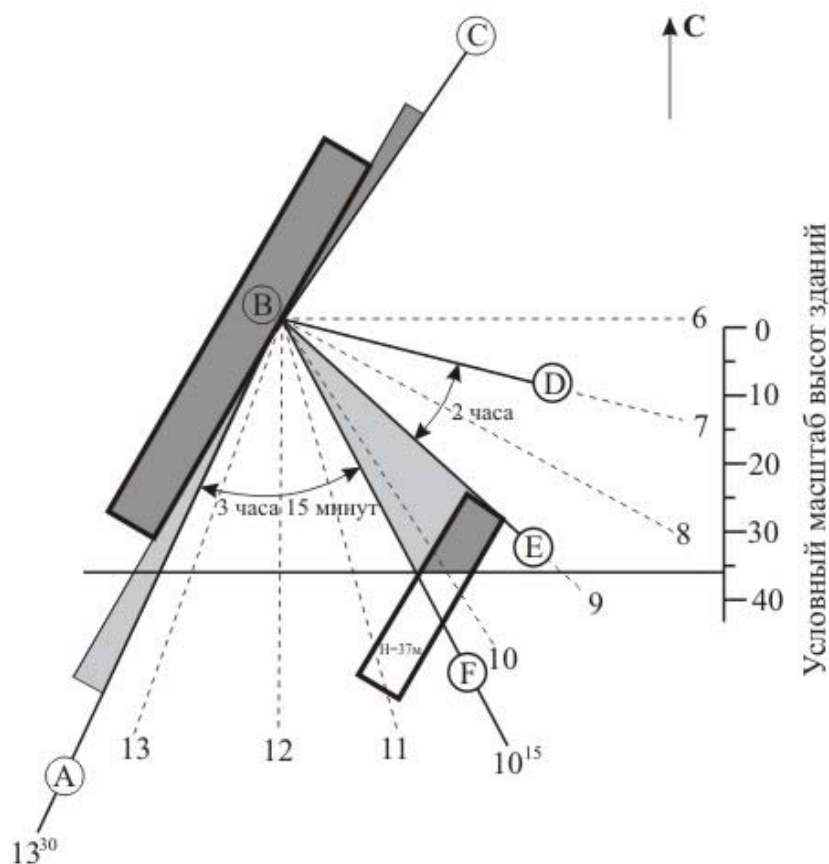


Рис. 14. Схема определения продолжительности инсоляции помещения (точка В)

4. Отмечают расчетную высоту противостоящего здания по условному масштабу высот здания на инсоляционном графике.

5. Определяется продолжительность затенения расчетной точки помещения по числу пересеченных часовых линий всем зданием или его частью, расположенной между линией расчетной высоты здания и параллельной ей линией, проходящей через исследуемую точку в пределах горизонтального инсоляционного угла светопроёма.

Продолжительность инсоляции расчетной точки или помещения определяется по числу непересеченных часовых линий. Для наглядности на рис.14 показана только одна горизонталь 37, соответствующая превышению затеняющего здания над расчетной точкой.

Согласно рис.14, значительная часть здания (отмеченная штриховкой) оказывается севернее горизонтали 37 и, следовательно, пересекает лучевые линии, создавая частичное затенение расчетной точки.



Исходя из этих условий, определяется инсоляционный режим точки В. При отсутствии здания I точка В освещалась бы Солнцем с 7 до 13 ч 30 мин, т.е. непрерывно в течение 6 ч 30 мин. Здание I сокращает общую продолжительность инсоляции точки и делит общий ее период на два: первый с 7 до 9 ч, а второй будет продолжаться с 10 ч 15 мин до 13 ч 30 мин. Общая продолжительность инсоляции расчетной точки составляет 5 часов 15 минут. При этом учитывается, что для районов южнее  $58^\circ$  с.ш. в течение первого часа после восхода солнца и последнего часа перед его заходом инсоляция из-за малой ее эффективности не учитывается (для районов севернее  $58^\circ$  с.ш. не учитывается 1,5 часа).

Согласно действующим санитарным нормам [7], такая продолжительность инсоляции больше нормируемого значения, т.е. 5 ч.15 мин > 2 ч. Поэтому если здание I является проектируемым, то расстояние между строениями можно сократить, а также увеличить высоту затеняющего здания. Это особенно актуально при реконструкции жилой застройки, расположенной в центральной, исторической зоне города. При этом необходимо учитывать и градостроительные нормы [10], по которым возможное расстояние между строениями не должно превышать суммы высот противостоящих зданий.

Допускается превышение продолжительности инсоляции, если она носит прерывистый периодический характер, при котором один из периодов составляет не менее 1,0 часа. При этом продолжительность нормируемой инсоляции увеличивают на 0,5 часа соответственно для каждой зоны.

Допускается также снижение продолжительности инсоляции на 0,5 часа для северной и центральной зоны в двухкомнатных и трёхкомнатных квартирах, где инсолируется не менее двух комнат и в многокомнатных квартирах (четыре и более комнаты), где инсолируется не менее трех комнат. Снижение продолжительности инсоляции допускается также при реконструкции зданий и жилой застройки.

**Задача 2.** Подобрать тип жилой секции (меридиональный или широтный) для инсолируемого дома.

### *Решение задачи 2*

На фрагменте застройки подбирается тип жилой секции исследуемого дома, определяются оптимальные разрывы между зданиями. В рассмотренном выше примере (см. рис.14) нормируемое значение инсоляции будет обеспечено только в комнатах, выходящих окнами на продольную сторону здания, обращенную на Ю-В. Комнаты, выходящие окнами на другую продольную сторону дома, будут инсолироваться менее 2 часов. Следовательно, для данного жилого дома необходимо рекомендовать секции широтного типа.

**Задача 3.** Построить «конверт теней» от исследуемого здания, с целью определения продолжительности инсоляции территории участка застройки.

### Решение задачи 3

Продолжительность инсоляции участка можно определить для расчётной точки способом, описанным выше, либо построить конверт теней от исследуемого здания.

При расчёте продолжительности инсоляции территории участка принимается расчётная точка, которая расположена в центре инсолируемой половины участков территории.

На территориях детских игровых площадок, спортивных площадок жилых домов, групповых площадок дошкольных учреждений, спортивной зоны, зоны отдыха общеобразовательных школ и школ-интернатов продолжительность инсоляции в этой расчётной точке должна составлять не менее 3 часов на 50 % площади участка независимо от географической широты.

Для построения контура теней от исследуемого дома выбирается опорная точка на здании, которая должна послужить основанием для построения всего "веера" почасовых теней. Наиболее удобной для этой цели точкой служит угол здания, обращенный к северу. С этим углом совмещается центральная точка инсографика, положение которого должно быть диаметрально противоположным его положению при определении продолжительности инсоляции (рис.15).

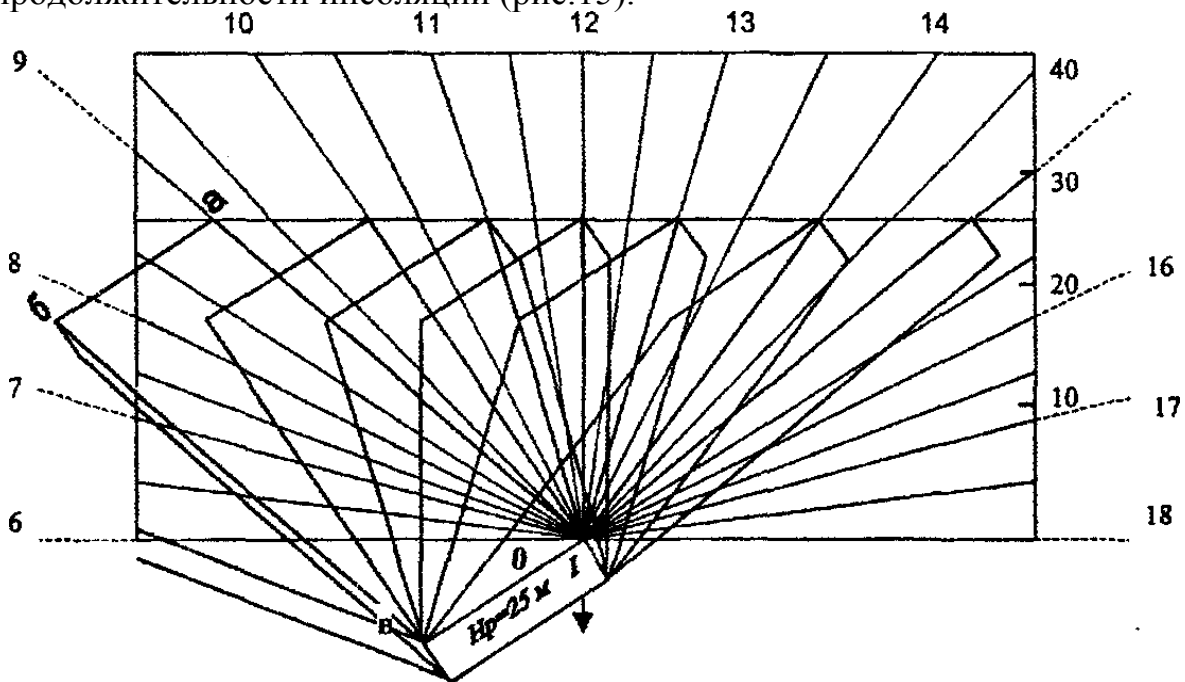


Рис. 15. Пример построения контура теней на участке территории от здания

Принимая расчетную высоту здания равной 25 м, на инсографике отмечается соответствующая горизонталь, которая будет совпадать с горизонтальной поверхностью земли.

Часовые линии инсографика будут представлять собой в данном случае направление тени от опорной точки здания. Конец тени в течение дня будет

перемещаться на участке по прямой линии, совпадающей с линией высоты здания. Из рис.15 видно, что все тени касаются своими углами этой линии, что облегчает последовательное их построение. Так, например, в 9 часов дня линия тени от опорного угла здания пойдет по соответствующей часовой радиальной линии до точки *a* по горизонтали.

Параллельно ей будет направлена линия тени от угла здания *b*, и их концы соединит линия тени *b-a*, параллельная карнизу. Подобным образом строят тени в течение всего дня. На рис. 15 показана часть «конверта теней» на период с 8 до 15 часов.

Решение данной задачи позволяет правильно выбрать место для расположения (с учётом нормируемой продолжительности инсоляции участка) детских, спортивных, игровых площадок, цветников и т.п.

## 5. МИКРОКЛИМАТ В ПОМЕЩЕНИЯХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ

Под микроклиматом помещений принято понимать состояние воздушной среды помещения, оказывающее воздействие на человека. Характеризуется показателями температуры воздуха и ограждающих конструкций, относительной влажности воздуха и скорости его движения [4].

Оптимальные параметры микроклимата помещений определяют сочетания значений показателей, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают нормальное тепловое состояние организма при минимальном напряжении и поддерживают ощущение комфорта не менее чем у 80% людей, находящихся в помещении.

Оптимальные параметры устанавливают в зависимости от характера деятельности или поведения человека в помещении, результирующей температуры помещения и периода года. Результирующая температура помещений представляет комплексный показатель, зависящий от средней по площади температуры внутренних поверхностей ограждений помещения и отопительных приборов и температуры воздуха в помещении.

В тех случаях, когда обеспечение оптимальных параметров микроклимата в помещении затруднительно, предусматривают определенный диапазон допустимых отклонений.

Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха для жилых помещений в обслуживаемых зонах приведены в табл. 5. Под обслуживаемой зоной понимают пространство, ограниченное плоскостями, параллельными полу на высоте от его уровня 1,0 и 2,0 м и стенам на расстоянии 0,5 м от их внутренних поверхностей (зона обитания).

Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне общественных зданий устанавливают в зависимости от категории помещений для холодного и теплого периодов года. Согласно принятой классификации по ГОСТ [4] установлено 6 категорий помещений, при этом категория 3 подразделена на категории 3а, 3б и 3в. Категорию помещений устанавливают в зависимости от характера деятельности или поведения людей в помещении. Например, к категории 1 относят помещения, в которых люди находятся в положении лёжа или в состоянии покоя и отдыха; к категории 2 – помещения, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя без уличной одежды (3а), сидя в уличной одежде (3б) и в положении стоя без уличной одежды (3в).

Таблица 5

Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне помещений жилых зданий и общежитий

Период года	Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Результатирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая
Холодный период	Жилая комната То же, в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92) минус 31 °С и ниже	20-22	18-24	19-20	17-23	45-30	60	0,15	0,2
		21-23	20-24	20-22	19-23	45-30	60	0,15	0,2
Теплый период	Жилая комната	22-25	20-28	22-24	18-27	60-30	65	0,2	0,3

Примечание. Холодный период года характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха, равной 8°С и ниже; теплый период года соответственно температурой выше 8°С.

К помещениям категории 6 относят помещения с временным пребыванием людей (вестибюли, гардеробы, коридоры, лестницы, санузлы и т.п.).

Требуемые параметры микроклимата в помещениях обеспечивают комплексом мер: градостроительных (способы застройки с учётом климата), архитектурно-строительных (объёмно-планировочные и конструктивные решения зданий) и инженерных (системы отопления, вентиляции).

Среди указанных мер особое значение придают конструктивному решению наружных ограждений (стены, окна, балконы, покрытия).

Рассмотрим теплотехнические требования применительно к глухим участкам фасадов без учёта теплопроводных включений (сквозные швы из раствора, стыки панелей, гибкие связи и др.)

**В зимних условиях** нормами [9] установлены три показателя тепловой защиты здания:

а) приведённое сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания;

б) санитарно-гигиенический, включающий температурный перепад между температурами внутреннего воздуха и на поверхности ограждающих конструкций и температуру на внутренней поверхности выше температуры точки росы;

в) удельный расход тепловой энергии на отопление здания, позволяющий варьировать величинами теплозащитных свойств различных видов ограждающих конструкций зданий с учётом объёмно-планировочных решений зданий и выбора систем поддержания микроклимата для достижения нормируемого значения этого показателя.

В жилых и общественных зданиях требования теплозащиты считаются выполненными, если будут соблюдены требования показателей «а» и «б», либо «б» и «в».

Требования показателей «в» во многом определяются эффективностью используемых систем отопления и в нашем случае не рассматриваются.

В отечественной практике строительства продолжительное время использовали преимущественно однослойные конструкции наружных стен из кирпича, блоков и панелей (рис.16, а). В настоящее время такие конструкции могут быть рекомендованы только для районов с теплым и мягким климатом.

В большинстве климатических районов и подрайонов России следует ориентироваться на многослойные конструкции стен (рис. 16, б-д). Материалы слоёв (несущие и ограждающие) многослойных конструкций стен назначают с учётом их теплотехнических характеристик (прил. 5).

Основным содержанием теплотехнических расчётов многослойных наружных ограждений является выбор материала и определение необходимой толщины утепляющего слоя.

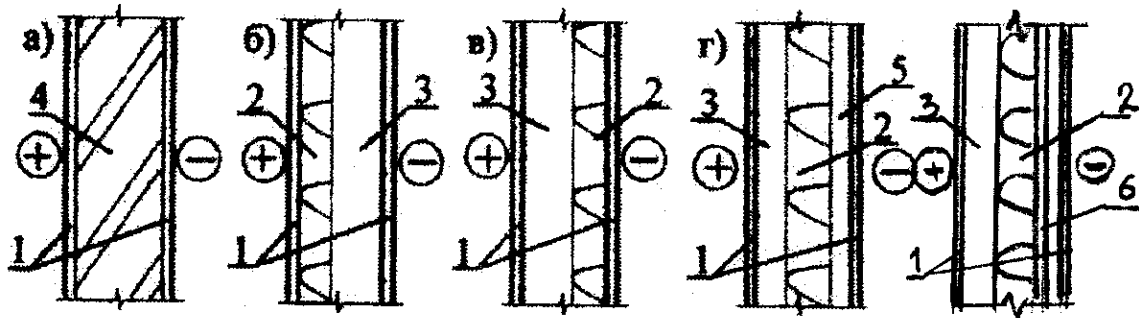


Рис.16. Варианты конструктивных решений наружных стен:  
 а) однослойная; б) двухслойная с внутренним расположением утеплителя;  
 в) двухслойная с наружным расположением утеплителя; г) многослойная;  
 д) многослойная с воздушной прослойкой;  
 1 – фактурный слой; 2 – утеплитель; 3 – несущий слой;  
 4 – однослойная панель; 5 – защитный слой; 6 – воздушная прослойка

По условиям энергосбережения согласно требованиям «а» теплозащиты зданий расчётное (фактическое) значение сопротивления теплопередаче наружной стены  $R_0^{\text{расч}}$ ,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$ , должно быть не менее приведенного,  $R_{\text{рег}}^{\text{пр}}$ ,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$ , т.е.

$$R_0^{\text{расч}} \geq R_{\text{рег}}^{\text{пр}}; \quad (1)$$

В этом выражении  $R_0^{\text{расч}}$  определяется формулой

$$R_0^{\text{расч}} = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} + R_{\text{в.п}} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}}, \quad \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}, \quad (2)$$

где  $\alpha_{\text{int}}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ , принимаемый по табл. 4 СНиП [9].

Для стен и гладких потолков значение этого коэффициента составляет  $8,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ ;

$\alpha_{\text{ext}}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ , принимаемый по табл.6 СНиП [9].

Для наружных стен он составляет  $23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ ;

$\delta_1, \delta_2 \dots \delta_n$  – толщина слоёв ограждения, м;

$\delta_{\text{ут}}$  – толщина утепляющего слоя, м;

- $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_{yt} \dots \lambda_n$  коэффициенты теплопроводности материалов слоёв ограждения,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ , принимаемые по прил. 5 в зависимости от условий эксплуатации ограждающих конструкций (А и Б). Условия эксплуатации ограждающих конструкций следует принимать по табл. 6 с учётом табл. 7 и приложения в СНиП [2].
- $R_{в.п}$  – термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек, определяемое по прил. 7.

Т а б л и ц а 6

Условия эксплуатации ограждающих конструкций  
в зависимости от влажностного режима помещений и зон влажности

Влажностный режим помещений	Условия эксплуатации А и Б в зонах влажности по рис.17		
	сухой	нормальный	влажный
Сухой	А	А	Б
Нормальный	А	Б	Б
Влажный или мокрый	Б	Б	Б

Т а б л и ц а 7

Влажностный режим помещений зданий

Режим	Влажность внутреннего воздуха, %, при температуре		
	до 12°С	св. 12 до 24°С	св. 24°С
Сухой	До 60	До 50	До 40
Нормальный	Св. 60 до 75	Св. 50 до 60	Св. 40 до 50
Влажный	Св. 75	Св. 60 до 75	Св. 50 до 60
Мокрый	-	Св. 75	Св. 60

Приведённое сопротивление теплоотдаче  $R_{reg}^{пр}$ ,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$ , ограждающих конструкций определяют по табл. 8, в зависимости от градусо-суток района строительства.





Таблица 8

Нормируемые значения сопротивления теплопередаче  
ограждающих конструкций

Здания и помещения, коэффициенты $a$ и $b$	Градусо-сутки отопительного периода $D_d$ , °C сут	Нормируемые значения сопротивления теплопередаче $R_{reg}^{np}$ м <sup>2</sup> · °C/Вт, ограждающих конструкций				
		Стен	Покрытий и перекрытий над проездами	Перекрытий чердачных, над неотапливаемыми подпольями и подвалами	Окон и балконных дверей, витрин и витражей	Фонарей с вертикальным остеклением
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	-
$b$	-	1,4	2,2	1,9	-	0,25
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
	-	1,0	1,5	1,0	0,2	0,15
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
	$a$	-	0,0002	0,00025	0,0002	0,000025
$b$	-	1,0	1,5	1,0	0,2	0,15

Примечания:

1. Значения  $R_{reg}^{np}$  для величин  $D_d$ , отличающихся от табличных, следует определять по формуле

$$R_{reg}^{np} = aD_d + b,$$

где  $D_d$  – градусо-сутки отопительного периода, °C 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 до 8000 °С сут и более:  $a=0,000025$ ,  $b=0,5$ .

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 зданий от неотапливаемых пространств с температурой  $t_c$  ( $t_{ext} < t_c < t_{int}$ ), следует уменьшать умножением величин, указанных в графе 5, на коэффициент  $n$ , определяемый по СНиП [9]. 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 заполнения 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 и для группы зданий в поз.2.

Градусо-сутки отопительного периода  $D_d$  определяют по формуле

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) \cdot Z_{ht}, \quad (3)$$

где  $t_{int}$  – расчётная средняя температура внутреннего воздуха здания, °С, принимаемая для зданий поз.1 табл. 8 по минимальным значениям оптимальной температуры (см. табл. 5);

$t_{ht}$  и  $Z_{ht}$  – средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут, отопительного периода, принимаемые по прил. 6 или СНиП [8] для периодов со средней суточной температурой наружного воздуха не более 10°С – при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых и не более 8°С – в остальных случаях.

Толщина утепляющего слоя, исходя из требований показателя «а», т.е. требований энергосбережения, может быть найдена из условия приравнивания  $R_0^{расч} = R_{reg}^{пр}$  или

$$\frac{1}{\lambda_{int}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_{yt}}{\lambda_{yt}} + R_{в.п} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{ext}} = R_{reg}^{пр} \quad (4)$$

Отсюда находим

$$\delta_{\text{ут}} = \frac{R_{\text{рег}}^{\text{пр}} - \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} - \frac{\delta_1}{\alpha_1} - R_{\text{вп}} - \dots - \frac{\delta_n}{\alpha_n} - \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}}}{\alpha_{\text{ут}}}, \quad (5)$$

По требованиям показателя тепловой защиты «б», т.е. санитарно-гигиенических требований, толщина утепляющего слоя может быть найдена из условия

$$R_0^{\text{расч}} \geq R_{\text{рег}}, \quad (6)$$

где  $R_0^{\text{расч}}$  – определяется выражением (2);

$R_{\text{рег}}$  – нормируемое приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (за исключением светопрозрачных) по санитарно-гигиеническим требованиям и определяемое по формуле

$$R_{\text{рег}} = \frac{n \cdot (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})}{\Delta t_n \cdot \alpha_{\text{int}}}, \quad (7)$$

где  $n$  – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху и принимаемый в табл. 9;

$t_{\text{int}}$  – расчётная средняя температура внутреннего воздуха здания, °С, принимаемая для зданий поз. 1 табл. 8 по минимальным значениям оптимальной температуры (см. табл. 5);

$t_{\text{ext}}$  – расчётная температура наружного воздуха в холодный период года, °С, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по СНиП [8] или прил. 6;

$\Delta t_n$  – нормируемый температурный период между температурой внутреннего воздуха  $t_{\text{int}}$  и температурой внутренней поверхности  $\tau_{\text{int}}$  ограждающей конструкции, принимаемый по табл. 10 или СНиП [9];

$\alpha_{\text{int}}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}$ , принимаемый по табл. 7 СНиП [9]. Для стен и гладких

потолков значение этого коэффициента составляет  $8,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}$ .

Коэффициент, учитывающий зависимость положения ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху

Ограждающие конструкции	Коэффициент <i>n</i>
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 следует определять по формуле

$$n = (t_{int} - t_c) / (t_{int} - t_{ext}).$$

Таблица 10

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	зентных фонарей
1	2	3	4	5
1. Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты	4,0	3,0	2,0	$t_{int} - t_d$
2. Общественные, кроме указанных в поз. 1, административные и бытовые, за исключением помещений с влажным или мокрым режимом	4,5	4,0	2,5	$t_{int} - t_d$
3. Производственные с сухим и нормальным режимами	$t_{int} - t_d$ , но не более 7	0,8 ( $t_{int} - t_d$ ), но не более 6	2,5	$t_{int} - t_d$
4. Производственные и другие помещения с влажным или мокрым режимом	$t_{int} - t_d$	0,8 ( $t_{int} - t_d$ )	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	$t_{int} - t_d$
<p><i>Обозначения:</i>  <math>t_{int}</math> – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, °С, принимаемая для расчета ограждающих конструкций группы зданий.  <math>t_d</math> – температура точки росы, °С, при расчетной температуре <math>t_{int}</math> 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.</p>				

Примечание. Для зданий картофеле- и овощехранилищ нормируемый температурный перепад  $\Delta t_n$  для наружных стен, покрытий и чердачных перекрытий следует принимать по СНиП 2.11.02.

Согласно условию (6) можно принять  $R_0^{\text{расч}} = R_{\text{рег}}$ , т.е.

$$R_0^{\text{расч}} = R_{\text{рег}}$$

$$\text{или } \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_{yr}}{\lambda_{yr}} + R_{e.n.} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{ext}} = \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{\Delta t_n \cdot \alpha_{int}}. \quad (8)$$

Отсюда может быть найдено значение  $\delta_{yt}$ , поскольку все остальные значения известны.

Как правило, толщина утепляющего слоя, определенная по условиям требований «а» теплозащиты зданий, значительно превышает значения толщины, полученное по условиям требований «б». Поэтому в качестве окончательного решения принимают толщину утепляющего слоя, полученную по условиям требований «а».

**Пример.** Требуется определить толщину утепляющего слоя из жёстких минеральных плит для наружной стены жилого дома из глиняного кирпича толщиной 0,51 м. Внутренний отделочный слой выполнен из гипсокартона, наружный – из цементно-песчаного раствора. Место строительства – г.Пенза.

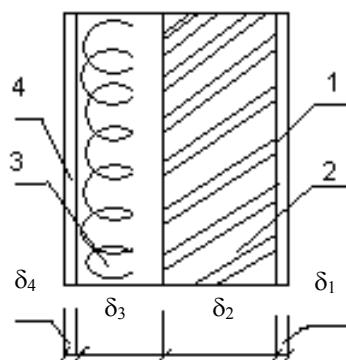


Рис.18. К примеру определения толщины утепляющего слоя наружной стены

**Исходные данные:**

1. Гипсокартон  $\delta_1 = 0,02$  м;  $\gamma_0 = 800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_A = 0,19 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$  (условия эксплуатации А);
2. Кирпичная кладка;  $\delta_1 = 0,51$  м;  $\gamma_0 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_A = 0,70 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$ ;
3. Жёсткие минеральные плиты  $\delta_{yt} = ?$  м;  $\gamma_0 = 50$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_A = 0,052 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$ ;
4. Цементно-песчаная штукатурка  $\delta_4 = 0,02$  м;  $\gamma_0 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_A = 0,76 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$ .

Климатические данные (г. Пенза)

1. Температура воздуха внутри помещения  $t_{int}=20^\circ\text{C}$  (жилая комната).
2. Расчётная температура наружного воздуха  $t_{ext}= -29^\circ\text{C}$  – температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

3. Средняя температура воздуха со среднесуточной температурой воздуха не более  $8^{\circ}\text{C}$   $t_{ht} = -4,5^{\circ}\text{C}$ .

4. Продолжительность отопительного периода со средней суточной температурой воздуха не более  $8^{\circ}\text{C}$   $Z_{ht} = 207$  суток.

5. Коэффициенты теплоотдачи  $\alpha_{\text{int}} = 8,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C}}$ ;  $\alpha_{\text{ext}} = 23 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C}}$ .

### Порядок расчёта

1. Определяем толщину утепляющего слоя исходя из требований энергосбережения (показатель «а» теплозащиты зданий) при условии

$$R_0^{\text{расч}} = R_{\text{рег}}^{\text{пр}}$$

Согласно формуле (2)  $R_0^{\text{расч}}$  составит

$$R_0^{\text{расч}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,19} + \frac{0,51}{0,70} + \frac{\delta_{\text{ут}}}{0,052} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{1}{23} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

Значение  $R_{\text{рег}}^{\text{пр}}$  находим по табл. 8, предварительно определив градусо-сутки отопительного периода по формуле (3):

$$D_d = (20 + 4,5) \cdot 207 = 5071,5, \text{ } ^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут.}$$

Для значения  $D_d = 5071,5$  по табл. 8 с учётом её примечания 1 приведённое значение конструкции стены составит

$$R_{\text{рег}} = 0,0075 \cdot D_d + 1,4 = 3,8 + 1,4 = 5,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

Приравнивая значения  $R_0^{\text{расч}}$  и  $R_{\text{рег}}^{\text{пр}}$ , т.е.

$$\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,19} + \frac{0,51}{0,70} + \frac{\delta_{\text{ут}}}{0,052} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{1}{23} = 5,2,$$

находим  $\delta_{\text{ут}}$  по условиям энергосбережения

$$\delta_{\text{ут}} = \left( 5,2 - \frac{1}{8,7} - \frac{0,02}{0,19} - \frac{0,51}{0,70} - \frac{0,02}{0,76} - \frac{1}{23} \right) \cdot 0,052 = 0,216 \text{ м.}$$

Округляем полученное до значения  $\delta_{\text{ут}} = 0,22 \text{ м} = 220 \text{ мм}$ .

2. Находим толщину утепляющего слоя, исходя из санитарно-гигиенических требований (показатель «б» теплозащиты зданий), при условии

$$R_0^{\text{расч}} = R_{\text{рег}}^{\text{пр}}$$

Согласно формуле (7) значение  $R_{\text{рег}}$  составляет

$$R_{\text{рег}} = \frac{1(20 + 29)}{4 \cdot 8,7} = 1,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$



Приравнивая значение  $R_0^{\text{расч}}$  и  $R_{\text{рег}}$ , т.е.

$$\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,19} + \frac{0,51}{0,70} + \frac{\delta_{\text{ут}}}{0,052} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{1}{23} = 1,4,$$

находим  $\delta_{\text{ут}}$  по санитарно-гигиеническим требованиям:

$$\delta_{\text{ут}} = \left( 1,4 - \frac{1}{8,7} - \frac{0,02}{0,19} - \frac{0,51}{0,70} - \frac{0,02}{0,76} - \frac{1}{23} \right) \cdot 0,052 = 0,050 \text{ м} = 50 \text{ мм}.$$

В окончательном варианте принимаем толщину утепляющего слоя по условиям «а» теплозащиты зданий, т.е.  $\delta_{\text{ут}} = 0,22 \text{ м} = 220 \text{ мм}$ .

Принятое конструктивное решение ограждения должно исключить возможность образования конденсата влаги на её внутренней поверхности и не допускать превышения нормируемого температурного перепада между температурами внутреннего воздуха и на поверхности ограждающей конструкции (см. табл. 10).

Образование влаги на внутренней поверхности ограждающей конструкции будет исключено, если соблюдено условие

$$\tau_{\text{int}} > \tau_{\text{р}}, \quad (9)$$

где  $\tau_{\text{р}}$  – температура точки росы, °С;

$\tau_{\text{int}}$  – температура на внутренней поверхности ограждения, °С, определяемая из выражения

$$\tau_{\text{int}} = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_{\text{рег}}^{\text{пп}} \cdot \alpha_{\text{int}}}. \quad (10)$$

В этой формуле значения  $t_{\text{int}}$ ,  $t_{\text{ext}}$  и  $\alpha_{\text{int}}$  – те же, что и в формуле (7), а значение  $R_{\text{рег}}^{\text{пп}}$  – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, определенное из условия требования «а» показателя тепловой защиты здания.

Температуру точки росы  $\tau_{\text{р}}$ , при которой может наступить образование влаги на внутренней поверхности ограждения, определяют исходя из оптимальных или допустимых значений температуры и относительной влажности воздуха в помещении (см. табл.5).

Установлено [1; 2], что в воздухе помещения при определенной температуре всегда содержится определённое количество влаги, оцениваемое в единицах абсолютной или относительной влажности.

Относительная влажность воздуха выражает степень насыщения воздуха влагой и определяется формулой

$$\varphi = \frac{e}{E} \cdot 100, \% \quad (11)$$

где  $e$  – действительная упругость водяного пара в воздухе при данной температуре, Па;

$E$  – максимальная упругость водяного пара, Па, при этой же температуре, определяемая по прил. [8].

Упругость водяного пара называют ещё и парциальным давлением водяного пара, оцениваемым в единицах давления, Па.

От относительной влажности воздуха зависит интенсивность испарения влаги телом человека. При влажности воздуха выше 60% отдача влаги с поверхности кожи человека становится затруднительной, что неблагоприятно отражается на состоянии его организма. Понижение влажности ниже 30 %, наоборот, вызывает усиленное испарение влаги с кожи и слизистых оболочек, заметное проявление неприятного ощущения сухости во рту и в горле.

С повышением температуры воздуха с определённой влажностью его относительная влажность  $\varphi$  понижается, т.к. величина упругости водяного пара  $e$  (см. формулу (11) остается без изменения, а значение максимальной упругости  $E$  увеличивается.

Наоборот, при охлаждении воздуха в помещении по мере понижения его температуры будет увеличиваться его относительная влажность вследствие уменьшения величины  $E$  (см. прил. 8).

При некоторой температуре, когда значение  $E$  станет равно значению  $e$ , относительная влажность составит  $\varphi = 100\%$ , т.е. воздух или поверхность ограждения достигнут полного насыщения водяным паром. Эта температура носит название температуры точки росы ( $\tau_p$ ). Вследствие этого проектируемая ограждающая конструкция в заданном климатическом районе должна исключать достижения температуры на её внутренней поверхности, равной или близкой к температуре точки росы.

**Пример.** Требуется определить температурный перепад между температурой воздуха в помещении и температурой на внутренней поверхности, а также установить возможность образования конденсата влаги на внутренней поверхности наружной стены жилого помещения в доме, расположенным в г. Пензе. Конструкция наружной стены принята из вышерассмотренного примера (см. рис. 18).

**Исходные данные:**

Для рассматриваемой конструкции  $R_{reg}^{np} = 5,2 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$ ;

Температура внутреннего воздуха  $t_{int} = 20\text{°С}$ ;

Относительная влажность воздуха в помещении  $\varphi = 45\%$ ;

Расчётная температура наружного воздуха  $t_{ext} = -29\text{°С}$ , т.е. средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены

$$\alpha_{int} = 8,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}.$$

## Порядок расчёта

1. Определяем температуру на внутренней поверхности стены, используя формулу (10):

$$\tau_{\text{в}} = 20 - \frac{20 + 29}{5,2 \cdot 8,7} = 20 - 1,09 = 18,91 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

При  $\tau_{\text{в}} = 18,9^\circ\text{C}$  температурный перепад между температурой воздуха в помещении и температурой на внутренней поверхности стены составит  $20 - 18,9 = 1,1^\circ\text{C}$ , что меньше нормируемого, равного  $4^\circ\text{C}$  (см.табл.10).

2. Определяем температуру точки росы на внутренней поверхности наружной стены, при которой может наступить конденсация влаги.

По прил. 8 находим, что при  $t_{\text{int}} = 20^\circ\text{C}$ ,  $E = 2328$  Па. При относительной влажности в помещении  $\varphi = 45\%$  действительная упругость водяного пара  $e$  в помещении будет составлять только 45% от  $E$ , т.е.  $e = 2328 \cdot 0,45 = 1047,6$  Па. Находим по прилож.8 для значения  $E = 1047,6$  Па соответствующее значение температуры, которое и будет являться температурой точки росы. В нашем случае  $\tau_{\text{р}} = 7,5^\circ\text{C}$ .

Следовательно, в рассматриваемом примере  $\tau_{\text{int}} = 18,9^\circ\text{C} > \tau_{\text{р}} = 7,5^\circ\text{C}$ , и образование влаги на внутренней поверхности стены не произойдет.

**В летних условиях** в районах со среднемесячной температурой в июле  $21^\circ\text{C}$  и выше необходима проверка ограждающих конструкций на **теплоустойчивость**.

Под теплоустойчивостью ограждающей конструкции подразумевают её свойство сохранять относительное постоянство температуры на поверхности, обращенной в помещение, при периодическом воздействии на наружную поверхность колебаний температур воздушной среды.

В целях обеспечения оптимальных или допустимых параметров температуры в помещениях теплоустойчивость ограждающих конструкций нормируют. В качестве нормируемого показателя принята амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций  $A_{\tau_{\text{int}}}^{\text{reg}}$ ,  $^\circ\text{C}$ .

Так, для ограждающих конструкций (наружные стены, перекрытия и покрытия) зданий жилых, больничных учреждений, домов интернатов для престарелых и инвалидов, детских садов и детских домов расчётная амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций  $A_{\tau_{\text{int}}}^{\text{des}}$ ,  $^\circ\text{C}$ , не должна превышать нормируемое значение  $A_{\tau_{\text{int}}}^{\text{reg}}$ , определяемое по формуле

$$A_{\tau_{\text{int}}}^{\text{reg}} = 2,5 - 0,1(t_{\text{ext}} - 21), \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (12)$$

где  $t_{ext}$  – средняя месячная температура наружного воздуха за июль, °С, принимаемая по прил. 9 или СНиП [8];

Расчётное значение амплитуды колебаний температуры на внутренней поверхности ограждения  $A_{\tau_{int}}^{des}$  зависит от многих факторов: от количества солнечной радиации, приходящейся на ограждение с учётом его ориентации; амплитуды колебаний температуры наружного воздуха; свойств строительных материалов слоёв ограждения поглощать, сохранять и изменять существующее распределение температур внутри конструкции.

Колебания температуры на наружной поверхности ограждения в летнее время распространяются в его толщу и постепенно затухают.

Характеристикой затухания колебаний температуры внутри ограждений конструкции является безразмерная величина  $D$ , называемая показателем тепловой инерции или условной толщиной ограждения.

Для однородного ограждения величина  $D$  определяется выражением

$$D = R \cdot S, \quad (13)$$

где  $R$  – термическое сопротивление однородного (однослойного) ограждения,

определяемое как  $R = \frac{\delta}{\lambda}$ ,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$ ; т.е. представляющее

отношение толщины ограждения  $\delta$ , м, к коэффициенту тепло-

проводности материала ограждения  $\lambda$ ,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$ ;

$S$  – коэффициент теплоусвоения материала ограждения,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}$ ,

представляющий собой максимальное изменение амплитуды колебаний потока тепла, Вт, отнесенное к единице поверхности ограждения,  $\text{м}^2$ , и единице времени, ч, и вызванное нагревом или остыванием слоёв конструкции, при периодических колебаниях температуры её поверхности с амплитудой  $1^\circ\text{С}$ .

Для многослойного ограждения величину  $D$  приближённо выражают суммой условных толщин отдельных слоёв:

$$D = R_1 \cdot S_1 + R_2 \cdot S_2 + \dots + R_n \cdot S_n, \quad (14)$$

где  $R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1}$ ,  $R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2}$ , ...,  $R_n = \frac{\delta_n}{\lambda_n}$  – термические сопротивления слоёв ограждения.

Эта формула приближённа, т.к. не учитывает порядок расположения в конструкции отдельных слоёв с различными физическими свойствами.

Значения коэффициентов теплопроводности  $\lambda$  и теплоусвоения  $S$  материалов слоёв конструкции ограждения в формуле (14) принимают по прил. 5 с учётом условий эксплуатации (А и Б).

Расчётное значение амплитуды колебаний температуры, °С, внутренней поверхности ограждающей конструкции определяют по формуле

$$A_{\tau_{int}}^{des} = \frac{A_{t_{ext}}^{расч.}}{\nu}, \quad (15)$$

в котором  $A_{t_{ext}}^{расч.}$  – расчётная амплитуда колебаний температуры, °С, наружного воздуха в июле и определяемая по формуле

$$A_{t_{ext}}^{расч.} = 0,5A_{t_{ext}} + \frac{\rho(J_{max} - J_{cp})}{\alpha_{ext}}, \quad (16)$$

где  $A_{t_{ext}}$  – максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха, °С, в июле, принимается по прил. 2;

$J_{max}, J_{cp}$  – соответственно максимальное и среднее значения суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации, Вт/м<sup>2</sup>, принимаемые по табл. 11 для наружных стен и покрытий в зависимости от географической широты района строительства и их ориентации;

$\rho$  – коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по прил. 10;

$\alpha_{ext}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции по летним условиям,  $\frac{Вт}{м^2 \cdot °С}$ , определяемый по формуле

$$\alpha_{ext} = 1,16(5 + 10\sqrt{\nu}), \quad (17)$$

где  $\nu$  – минимальная из средних скоростей ветра, м/с, по румбам за июль (см. прил. 9).

Т а б л и ц а 11

Средние и максимальные значения суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной) на вертикальную поверхность западной и восточной ориентации при безоблачном небе, Вт/м<sup>2</sup>, в июле

Ориентация	Географические широты, град.с.ш.							
	40	44	48	52	56	60	64	68
З; В	<u>169</u>	<u>180</u>	<u>184</u>	<u>194</u>	<u>201</u>	<u>206</u>	215	<u>239</u>
	740	756	764	781	786	781	789	812

П р и м е ч а н и я .

1. В числителе приведены средние, а в знаменателе – максимальные значения суммарной солнечной радиации.

2. Значения солнечной радиации на промежуточных географических широтах могут быть приняты по интерполяции.

В формуле (15) показатель  $\nu$  означает величину затухания расчётной температуры наружного воздуха  $A_{t_{ext}}^{расч.}$  в ограждающей конструкции. Его определяют по нижеприведённой формуле в последовательности от внутренней к наружной поверхности ограждения:

$$\nu = 0,9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{(S_1 + \alpha_{int}) \cdot (S_2 + Y_1) \cdot \dots \cdot (S_n + Y_{n-1}) \cdot (\alpha_{ext} + Y_n)}{(S_1 + Y_1) \cdot (S_2 + Y_2) \cdot \dots \cdot (S_n + Y_n) \cdot \alpha_{ext}}, \quad (18)$$

где  $e=2,718$  – основание натуральных логарифмов;

$D$  – тепловая инерция, определяемая по формуле (13) или (14);

$S_1, S_2 \dots S_n$  – расчётные коэффициенты теплоусвоения материала отдельных слоёв ограждающей конструкции,  $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$ , по

прил. 5;

$Y_1, Y_2 \dots Y_n$  – коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности отдельных слоёв ограждающей конструкции,  $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$ ,

определяемые по формулам:

для первого слоя

$$Y_1 = \frac{R_1 \cdot S_1^2 + S_2}{1 + R_1 \cdot S_2}, \quad (19)$$

для  $i$ -го слоя

$$Y_i = \frac{R_i \cdot S_i^2 + Y_{i-1}}{1 + R_i \cdot Y_{i-1}}, \quad (20)$$

Для определения коэффициентов теплоусвоения наружной поверхности слоёв ограждения предварительно находят показатели их тепловой инерции  $D$ . При этом для слоя с тепловой инерцией  $D \geq 1$  следует принимать  $Y=S$ .

Расчёт затухания температурных колебаний в ограждении с воздушными прослойками ведётся также по формуле (18), в которой для воздуха принимается  $S=0$ .

Результаты расчёта на теплоустойчивость могут показать, что ограждающая конструкция не будет отвечать нормативному требованию, то есть  $A_{\tau_{int}}^{des} > A_{\tau_{int}}^{reg}$ .

В этом случае для повышения теплоустойчивости ограждения в соответствии с формулами (16) и (18) необходимо либо увеличить показатель тепловой инерции  $D$ , либо назначить в качестве наружного отделочного слоя материал с меньшим коэффициентом поглощения солнечной радиации  $\rho$ .

**Пример.** Необходимо проверить соответствие требованиям теплоустойчивости конструкции наружной стены из керамзитобетона толщиной 230 мм для климатических условий г. Краснодара.

**Исходные данные:**

1. Стена ориентирована на западную сторону горизонта. Стена имеет основной конструктивный слой толщиной 230 мм из керамзитобетона плотностью  $1000 \text{ кг/м}^3$  и наружный слой толщиной 20 мм из цементно-песчаного раствора плотностью  $1800 \text{ кг/м}^3$ .

2. Климатические данные по летним условиям для г.Краснодар:

– среднемесячная температура июля  $t_{ext}=23,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

– максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле  $A_{t_{ext}}=22,5^\circ\text{C}$ ;

– максимальное и среднее значение суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации для вертикальных поверхностей западной ориентации (г.Краснодар расположен на широте 46 градусов с.ш.)  $J_{max}=775 \text{ Вт/м}^2$ ,  $J_{cp}=186 \text{ Вт/м}^2$ ;

– расчётная скорость ветра  $v=0$ ;

– коэффициент поглощения солнечной радиации наружным слоем из цементно-песчаной штукатурки  $\rho=0,7$ .

3. Теплотехнические характеристики материалов стены приняты по условиям эксплуатации А:

– для керамзитобетона  $\lambda=0,41 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ ;  $S=5,49 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ ;

– для цементно-песчаного наружного слоя  $\lambda=0,761 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ ;  $S=9,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ .

**Порядок расчёта:**

1. Определяем требуемую амплитуду колебаний температуры внутренней поверхности, используя формулу (12):

$$A_{\tau_{int}}^{reg} = 2,5 - 0,1 \cdot (23,3 - 21) = 2,5 - 0,23 = 2,27 \text{ }^\circ\text{C}.$$

2. Определяем расчётную амплитуду колебаний температуры внутренней поверхности стены  $A_{\tau_{int}}^{des}$ , используя выражение (15), для чего предварительно определяем расчётные значения амплитуды колебаний температуры наружного воздуха по формуле (16) и затухание расчётной амплитуды колебаний по формуле (18).

Согласно формуле (16):

$$A_{t_{ext}}^{расч} = 0,5 \cdot 22,5 + \frac{0,7(775 - 186)}{5,8} = 11,25 + 71,03 = 82,3 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Значение  $\alpha_{ext}$  определено по формуле (17):

$$\alpha_{ext} = 1,16(5 + 10\sqrt{0}) = 5,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}.$$

Для определения коэффициента затухания  $\nu$  по формуле (18) под- считываем значение показателя тепловой инерции  $D$  по формуле (14) и коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности слоёв ограждения по формулам (19) и (20).

Показатель тепловой инерции наружной стены составляет

$$D = \frac{0,23}{0,41} \cdot 5,49 + \frac{0,02}{0,76} \cdot 9,6 = 3,08 + 0,25 = 3,33.$$

Коэффициент теплоусвоения 1-го слоя из керамзитобетона  $Y_1 = S_1 = 5,49 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ , т.к.  $D_1 \geq 3,08 > 1$ .

Коэффициент теплоусвоения для защитного отделочного слоя из цементно-песчаного раствора согласно формулы (20) составляет

$$Y_2 = \frac{\frac{0,02}{0,76} \cdot 9,6^2 + 5,49}{1 + \left( \frac{0,02}{0,76} \cdot 5,49 \right)} = \frac{1,84 + 5,49}{1 + 1,09} = 3,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}.$$

Величина затухания расчётной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в конструкции стены согласно формуле (18) составляет

$$\begin{aligned} \nu &= 0,9 \cdot 2,71^{\frac{3,33}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{(5,49 + 8,7)(9,6 + 5,49)(5,8 + 3,5)}{(5,49 + 5,49)(9,6 + 3,5) \cdot 5,8} = \\ &= 0,9 \cdot 2,71^{2,36} \cdot \frac{14,2 \cdot 15,1 \cdot 9,3}{10,98 \cdot 13,1 \cdot 5,8} = \\ &0,9 \cdot 10,59 \cdot \frac{2007,9}{835,8} = 9,53 \cdot 2,40 = 22,9. \end{aligned}$$

Расчётная амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности стены составит (см. формулу (15)):

$$A_{\tau_{int}}^{des} = \frac{82,3}{22,9} = 3,59 \text{°C},$$

что превышает  $A_{\tau_{int}}^{reg} = 2,27 \text{°C}$ , и, следовательно, принятый вариант конст- рукции наружной стены не удовлетворяет требованиям теплоустойчивости.

Для повышения теплоустойчивости ограждения до нормируемых значений необходимо либо увеличить показатель тепловой инерции  $D$  за



счёт утолщения основного слоя ( $\delta$ ) или за счёт применения в качестве основного слоя другого материала с меньшим коэффициентом теплопроводности  $\lambda$  и теплоусвоения  $S$ , например, использования газо- и пенобетона с объёмной плотностью  $\gamma_0=600-800 \text{ кг/м}^3$ .

**Расчёт наружных ограждений на воздухопроницаемость.** Наружные ограждения, особенно в зимних условиях, подвергаются интенсивной инфильтрации воздуха. Причинами этому являются разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций и воздействие ветра. Практика эксплуатации зданий показывает, что в условиях низких температур и воздействия ветра теплотери через наружные стены жилых зданий увеличиваются на 30-40 %.

В целях ограничения воздухопроницаемости наружных ограждений её нормируют.

Фактическое сопротивление воздухопроницанию  $R_{inf}^{des}$  ограждающих конструкций, за исключением заполнений окон, балконных дверей и фонарей, должно быть не менее нормируемого сопротивления воздухопроницанию  $R_{inf}^{reg}$ , т.е.

$$R_{inf}^{des} \geq R_{inf}^{reg}, \frac{(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})}{\text{кг}}. \quad (21)$$

Нормируемое значение сопротивления воздухопроницанию определяют по формуле

$$R_{inf}^{des} = \frac{\Delta P}{G_n}, \frac{(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})}{\text{кг}}. \quad (22)$$

В этой формуле разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций  $\Delta P$ , Па, определяется выражением

$$\Delta P = 0,55H(\gamma_{ext} - \gamma_{int}) + 0,03\gamma_{ext} \cdot v^2, \quad (23)$$

где  $H$  – высота здания от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты, м;

$\gamma_{ext}$  и  $\gamma_{int}$  – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха,  $\text{Н/м}^3$ , определяемый по формуле

$$\gamma = \frac{3463}{(273 + t)}, \quad (23)$$

здесь  $t$  – температура воздуха: внутреннего  $t_{int}$  – принимается согласно оптимальным параметрам помещения здания (см. табл.5); наружного  $t_{ext}$  – равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 (см. прил. 6);

$v$  – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более (прил.6); для

зданий высотой свыше 60 м и принимают с учётом коэффициента изменчивости скорости ветра по высоте по своду специальных правил.

В формуле (22) нормируемую воздухопроницаемость материалов и конструкций  $G_n$ ,  $\frac{\text{кг}}{(\text{м}^2 \cdot \text{ч})}$ , ограждающей конструкции зданий принимают по табл. 11.

Т а б л и ц а 11

Нормируемая воздухопроницаемость ограждающих конструкций

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 б) производственных зданий	0,5* 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

П р и м е ч а н и е . \*В кг/(м·ч).

Фактическое значение сопротивления воздухопроницанию многослойных ограждающих конструкций  $R_{inf}^{des}$ ,  $\frac{(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})}{\text{кг}}$ , в формуле (21) определяют из выражения

$$R_{inf}^{des} = R_{inf1}^{des} + R_{inf2}^{des} + \dots + R_{inf n}^{des},$$

где  $R_{inf1}^{des} + R_{inf2}^{des} + \dots + R_{inf n}^{des}$  – сопротивления воздухопроницанию конструктивных слоёв ограждения,  $\frac{(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})}{\text{кг}}$ , принимаемые в соответствии с прил. 11.

Сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей жилых и общественных зданий, а также окон и фонарей производственных зданий  $R_{inf}^{des}$  должно быть не менее нормируемого сопротивления воздухопроницанию  $R_{inf}^{reg}$ ,  $\frac{(m^2 \cdot ч \cdot Па)}{кг}$ , определяемого по формуле

$$R_{inf}^{reg} = \left( \frac{1}{G_n} \right) \cdot \left( \frac{\Delta P}{\Delta P_0} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (26)$$

где  $\Delta P$  – то же, что и в формуле (23);

$\Delta P_0=10$  Па – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях светопрозрачных ограждающих конструкций, при которой определяется сопротивление воздухопроницанию  $R_{inf}^{des}$ .

**Пример.** Требуется произвести проверку соответствия требованиям воздухопроницания наружной стены жилого дома, возводимого в г. Пензе. Высота здания от пола первого этажа до верха вытяжной шахты 24 м. Конструкция стены принята согласно рис.18.

**Исходные данные:**

Средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92  $t_{ext} = -29$  °С, максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь  $v = 5,6$  м/с; расчётная температура внутреннего воздуха  $t_{int} = 20$  °С.

Сопротивление воздухопроницанию отдельных слоёв конструкции наружной стены составляет (прил.10):

- гипсовая сухая штукатурка  $R_{inf1}^{des} = 20 \frac{(m^2 \cdot ч \cdot Па)}{кг}$ ;
- кирпичная кладка толщиной 510 мм.  $R_{inf2}^{des} = 18 \frac{(m^2 \cdot ч \cdot Па)}{кг}$ ;
- минеральная вата (жёсткие плиты)  $R_{inf3}^{des} = 2 \frac{(m^2 \cdot ч \cdot Па)}{кг}$ ;
- штукатурка цементно-песчаная  $R_{inf4}^{des} = 373 \frac{(m^2 \cdot ч \cdot Па)}{кг}$ .

**Порядок расчёта:**

1. Определяем фактическое сопротивление воздухопроницанию стены, используя формулу (25):

$$R_{inf}^{des} = 20 + 18 + 2 + 373 = 413 \frac{(m^2 \cdot ч \cdot Па)}{кг}.$$

2. Находим удельный вес наружного и внутреннего воздуха из выражения (24):

$$\gamma_{ext} = \frac{3463}{273 - 29} = \frac{3463}{244} = 14,2 \text{ н/м}^2;$$

$$\gamma_{int} = \frac{3463}{273 + 20} = \frac{3463}{293} = 11,8 \text{ н/м}^2.$$

3. Определяем разность давлений  $\Delta P$  на наружной и внутренней поверхностях стены по формуле (23):

$$\Delta P = 0,55 \cdot 24(14,2 - 11,8) + 0,03 \cdot 14,2 \cdot 5,6^2 = 31,7 + 13,6 = 45,3 \text{ Па.}$$

4. С использованием формулы (22) и табл.11 определяем нормируемое сопротивление воздухопроницанию наружной стены

$$R_{inf}^{reg} = \frac{\Delta P}{G_n} = \frac{45,3}{0,5} = 90,6 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{кг}}.$$

$$\text{В рассматриваемом примере } R_{inf}^{des} = 413 > R_{inf}^{reg} = 90,6 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{кг}}.$$

Следовательно, конструкция стены по условиям воздухопроницаемости удовлетворяет нормативным требованиям.

### Защита ограждающих конструкций от переувлажнения

В холодный период года температура воздуха в отапливаемом помещении значительно выше температуры наружного воздуха. Тёплый воздух всегда содержит большее количество водяного пара, чем холодный. В связи с этим парциальное давление водяного пара  $e_{int}$  будет больше давления наружного воздуха  $e_{ext}$ .

Под влиянием разности парциальных давлений ( $e_{int} - e_{ext}$ ) возникает поток водяного пара, направленный от внутренней поверхности конструкции к наружной.

Наружное ограждение считается удовлетворяющим требованиям паропроницаемости, если его сопротивление  $R_{vp}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$  (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации) будет не менее наибольшего из следующих нормируемых сопротивлений паропроницанию:

а) нормируемого сопротивления паропроницанию  $R_{vp1}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$ , из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации, определяемого по формуле

$$R_{vp1}^{reg} = \frac{(e_{int} - E) \cdot R_{vp}^e}{(E - e_{ext})}; \quad (27)$$

б) нормируемого сопротивления паропроницанию  $R_{vp2}^{reg}, \frac{м^2 \cdot ч \cdot Па}{мг}$ , из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха, определяемого по формуле

$$R_{vp2}^{reg} = \frac{0,0024z_0(e_{int} - E_0) \cdot R_{vp}^e}{\rho_w \cdot \delta_w \cdot \Delta w_{av} + \eta}, \quad (28)$$

где  $e_{int}$  – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчётной температуре и относительной влажности этого воздуха (см. табл. 5), определяемое по формуле

$$e_{int} = \left( \frac{\varphi_{int}}{100} \right) \cdot E_{int}, \quad (29)$$

где  $E_{int}$  – парциальное давление насыщенного водяного пара внутреннего воздуха, Па, при температуре  $t_{int}$  (см. прил. 8);

$\varphi_{int}$  – относительная влажность внутреннего воздуха, %, помещений здания различного назначения (для жилых помещений см. табл. 5);

$R_{vp}^e$  – сопротивление паропроницанию,  $\frac{м^2 \cdot ч \cdot Па}{мг}$ , части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью возможной конденсации, определяемое по формуле

$$R_{vp}^e = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\mu_n}, \quad (30)$$

здесь  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$  и  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$  – соответственно толщины слоёв ограждения, м, и коэффициенты паропроницаемости материалов слоёв по прил. 5. Коэффициент  $\mu$  показывает способность материала пропускать диффундирующий водяной пар и представляет собой количество влаги, мг, которое проходит за единицу времени в 1 час через слой материала ограждения площадью  $1 м^2$  и толщиной 1 м при разности парциальных давлений водяного пара у наружной и внутренней поверхностей, равной 1 Па;

$e_{ext}$  – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, за годовой период по СНиП [6];

$z_0$  – продолжительность, сут, периода влагонакопления, принимая равной периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха по прил. 1;

$E_0$  – парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации, определяемое при средней температуре наружного воздуха

периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами с использованием прил.8;

$\rho_w$  – плотность материала увлажняемого слоя в сухом состоянии,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ,

принимается по прил.5;

$\delta_w$  – толщина увлажняемого слоя ограждения, м, принимаемая равной толщине стены или теплоизоляционного слоя (утеплителя) многослойной конструкции ограждения;

$\Delta w_{av}$  – предельно допустимое приращение расчётного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя, %, за период влагонакопления  $z_0$ , принимаемое по прил.12;

$E$  – парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации, определяемое по формуле

$$E = \frac{1}{12}(E_1 \cdot z_1 + E_2 \cdot z_2 + E_3 \cdot z_3) \quad (31)$$

В этой формуле  $E_1, E_2, E_3$  – парциальные давления пара, Па, принимаемые по прил.8 в плоскости возможной конденсации по средней температуре наружного воздуха соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов;

$z_1, z_2, z_3$  – продолжительность, сут, этих периодов, принимаемая по прил. 6 и 9 или СНиП [6] с учётом того, что к зимнему, весенне-осеннему, летнему периодам относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха соответственно ниже  $-5$ , от  $-5$  до  $+5$ , выше  $+5^\circ\text{C}$ ;

$\eta$  – коэффициент, определяемый по формуле

$$\eta = \frac{0,0024(E_0 - e_0^{ext}) \cdot z_0}{R_{vp}^e}, \quad (32)$$

где  $e_0^{ext}$  – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, принимается по СНиП [12].

Сопротивление паропрооницанию  $R_{vp}$ ,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$ , чердачного перекрытия

или части конструкции вентилируемого покрытия, расположенной между внутренней поверхностью покрытия и воздушной прослойкой, в зданиях со скатами кровли шириной до 24 м должно быть не менее нормируемого со-

противления паропрооницанию  $R_{vp}^{reg}$ ,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$ , определяемого по формуле

$$R_{vp}^{reg} = 0,012(e_{int} - e_0^{ext}), \quad (33)$$

где  $e_{int}$  и  $e_0^{ext}$  – то же, что и в формулах (27) и (32).

Проверке на выполнение норм по паропроницанию не подлежат ограждающие конструкции:

а) однородные (однослойные) наружные стены помещений с сухим и нормальным режимами;

б) двухслойные наружные стены помещений с сухим и нормальным режимами, если внутренний слой стены имеет сопротивление паропроницанию более  $1,6 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$ ;

в) ограждающие конструкции, имеющие сильно проницаемую наружную часть;

г) наружные стены с вентилируемой воздушной прослойкой под наружным защитным слоем или экраном.

Для защиты от увлажнения теплоизоляционного слоя (утеплителя) в покрытиях зданий с влажным или мокрым режимом должна быть предусмотрена пароизоляция, располагаемая ниже теплоизоляционного слоя. Пароизоляцию следует учитывать при определении сопротивления паропроницанию покрытия (см. формулу (30)).

**Пример.** Требуется определить сопротивление паропроницанию и его соответствие нормативным требованиям невентилируемого покрытия промышленного здания, состоящего из железобетонной ребристой плиты толщиной 120 мм, утепляющего слоя из жёсткой минеральной плиты толщиной 120 мм и 3-х слоёв рубероида на битумной мастике по цементно-песчаной стяжке толщиной 20 мм.

Место строительства – г. Пенза.

**Исходные данные:**

1. Климатические параметры для г. Пензы:

– среднегодовая температура наружного воздуха  $t_{ext}^{год} = 4,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;

– среднегодовая относительная влажность наружного воздуха  $\varphi_{ext}^{год} = 75,5\%$ ;

– среднегодовое значение парциального давления наружного воздуха  $e_{ext}^{год} = 710 \text{ Па}$ .

2. Параметры микроклимата помещения:

– температура воздуха в помещении  $t_{int} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;

– относительная влажность воздуха  $\varphi_{int} = 60\%$ ;

– парциальное давление  $e_{int} = 1397 \text{ Па}$ .

3. Теплотехнические характеристики материалов конструкции покрытия:

– железобетонная плита ( $\gamma = 2500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ): коэффициент паропроницаемости

$$\mu = 0,03 \frac{\text{МГ}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}, \text{ сопротивление паропроницанию } R_{vp1} = 4,0 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{МГ}};$$

– утеплитель из минеральной ваты ( $\gamma = 200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ): коэффициент паро-

проницаемости  $\mu = 0,49 \frac{\text{МГ}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}$ , сопротивление паропроницанию

$$R_{vp2} = 0,24 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{МГ}};$$

– цементно-песчаная стяжка ( $\gamma = 1800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ): коэффициент паропроницаемо-

сти  $\mu = 0,09 \frac{\text{МГ}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}$ , сопротивление паропроницанию  $R_{vp3} = 0,2 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{МГ}}$ ;

– кровля из 3 слоёв рубероида: сопротивление паропроницанию принято

$$R_{vp4} = 4,2 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{МГ}}.$$

### Порядок расчёта

1. Определяем сопротивление паропроницанию  $R_{vp}$  части конструкции покрытия в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации. В нашем примере плоскость конденсации водяного пара расположена между цементно-песчаной стяжкой и кровельным ковром.

$$R_{vp} = R_{vp1} + R_{vp2} + R_{vp3} = 4,0 + 0,24 + 0,2 = 4,44 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{МГ}}.$$

2. Находим нормируемое сопротивление паропроницанию  $R_{vp1}^{reg}$  из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации по формуле (27), предварительно определив парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации за годовой период  $E$ . Значение  $E$  определяем по формуле (31).

Для использования этой формулы находим продолжительность и среднее значение температуры наружного воздуха в зимний, осенне-весенний и летний периоды, а также температуры в плоскости возможной конденсации. В эти периоды, согласно прил. 1, для г.Пензы: средняя температура зимнего периода (ниже  $-5^\circ\text{C}$ ) продолжительностью  $z_1=4$  месяца составляет

$$t_{\text{зим}}^{\text{ср}} = \frac{-9,1 + (-12,2) + (-11,3) + (-5,6)}{4} = -9,5^\circ\text{C};$$



средняя температура осенне-весеннего периода (от -5 до +5°C) продолжительностью  $z_2=3$  месяца составляет

$$t_{o-b}^{cp} = \frac{-2,9 + 4,9 + 4,4}{3} = 2,1^\circ\text{C}$$

и для летнего периода (температура выше +5°C) продолжительностью  $z_3=5$  месяцев составляет

$$t_{o-b}^{cp} = \frac{13,5 + 17,6 + 19,6 + 18,0 + 11,9}{5} = 16,1^\circ\text{C}.$$

Для определения температуры в плоскости возможной конденсации по формуле (10) находим сопротивление теплопередаче ограждения по формуле (2).

Согласно формуле (2), сопротивление теплопередаче конструкции покрытия составляет

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,12}{1,92} + \frac{0,12}{0,076} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{0,02}{0,17} + \frac{1}{23} = \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}.$$

$$= 0,11 + 0,06 + 1,58 + 0,02 + 0,12 + 0,04 = 1,93$$

Температуру в плоскости возможной конденсации находим по формуле (35):

$$\tau_3 = t_{ext} - \frac{(t_{ext} - t_{зим}^{cp})}{R_0} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_г} + R_1 + R_2 + R_3 \right),$$

в которой  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  – термические сопротивления теплопередаче железобетонной плиты, утеплителя и цементно-песчаной стяжки:

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,12}{1,92} = 0,06 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}; \quad R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,12}{0,076} = 1,58 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}};$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,2}{0,76} = 1,12 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}.$$

В зимний период температура в плоскости возможной конденсации под кровельным ковром составит:

$$\tau_3 = 20 - \frac{(20 + 9,5)}{1,93} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 0,06 + 1,58 + 0,12 \right) = 20 - 29,2 = -9,2^\circ\text{C};$$

в осенне-весенний период

$$\tau_{o-b} = 20 - \frac{(20 - 2,1)}{1,93} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 0,06 + 1,58 + 0,12 \right) = 20 - 16,9 = 3,1^\circ\text{C};$$

в летний период  $\tau_{л}$  принимаем равной средней температуре летнего периода ( $\tau_{л}=16,1^{\circ}\text{C}$ ).

По этим значениям температур по прил. 8 находим значения  $E_1$ ,  $E_2$  и  $E_3$ :

$$E_1=279 \text{ Па}; E_2=814 \text{ Па}; E_3=1826 \text{ Па}.$$

Парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации  $E$  находим по формуле (31):

$$E = \frac{1}{12} \cdot (279 \cdot 4 + 814 \cdot 3 + 1826 \cdot 5) = 1057 \text{ Па}.$$

Согласно формуле (27), нормированное сопротивление паропрооницанию из условия недопустимости накопления влаги в конструкции покрытия за годовой период эксплуатации составит

$$R_{vp1}^{reg} = \left( \frac{1397 - 1057 \cdot 4,2}{(1057 - 710)} \right) = \frac{1438}{347} = 4,1 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}.$$

3. Определяем нормированное сопротивление паропрооницанию  $R_{vp2}^{reg}$  из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха по формуле (28), предварительно определив значения  $z_0$ ,  $\rho_w$ ,  $\delta_w$ ,  $\Delta w_{av}$ ,  $E_0$  и  $\eta$ .

Продолжительность, сут периода влагонакопления  $z_0$ , принимаем равной продолжительности периода с отрицательными месячными температурами наружного воздуха. Такой период в г. Пензе составляют январь (31 сут), февраль (28 сут), март (31 сут), ноябрь (30 сут) и декабрь (31 сут):

$$z_0 = 31 + 28 + 31 + 30 + 31 = 151 \text{ сут}.$$

Толщина увлажняемого слоя  $\delta_w$  в нашем примере соответствует толщине утепляющего слоя, т.е.  $\delta_w = 0,12 \text{ м}$ .

Плотность материала увлажняющего слоя из минеральной ваты  $\rho_w$  принимаем равной её плотности по прил.5, т.е.  $\rho_w = 200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

Предельно допустимое приращение расчётного массового отношения влаги в слое минеральной ваты согласно прил. 12 составляет  $\Delta w_{av} = 3 \%$ .

Для определения коэффициента  $\eta$  по формуле (32) находим значение  $E_0$  по прил. 8 согласно средней температуре наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами. Для г.Пензы

$$t_3^{cp} = \frac{-9,1 + (-12,2) + (-11,3) + (-5,6) + (-2,9)}{5} = -8,2^{\circ}\text{C}.$$

При  $t_3^{cp} = -8,2^{\circ}\text{C}$  значение  $E_0 = 304 \text{ Па}$ .

Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха  $e_0^{ext}$  периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами  $t_3^{cp} = -8,2^\circ\text{C}$  согласно формуле (11), составляет  $e_0^{ext} = 228 \text{ Па}$ .

При этих значениях  $e_0^{ext}$ ,  $z_0$  и  $R_{vp}^e = 4,2 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$  значение коэффициента  $\eta$  в формуле (32) составляет

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (304 - 228) \cdot 151}{4,2} = \frac{2,75}{4,2} = 0,65.$$

При расчёте коэффициента  $\eta$  в формуле (32) значение  $R_{vp}^e$  принято равным сопротивлению паропроницанию слоя рулонного ковра.

Нормируемое сопротивление паропроницанию  $R_{vp2}^{reg}$  из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха согласно формуле (28) составит

$$R_{vp2}^{reg} = \frac{0,0024 \cdot 151 \cdot (1397 - 304)}{200 \cdot 0,12 \cdot 3 + 0,65} = \frac{396}{72,65} = 5,5 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}};$$

### **В ы в о д ы**

Поскольку  $R_{vp2}^{reg} = 5,5 > R_{vp1}^{reg} = 4,1 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$  в качестве нормируемого сопротивления паропроницанию принимаем значение  $R_{vp2}^{reg} = 5,5 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$ .

В рассматриваемом примере сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации  $R_{vp} = 4,44 > R_{vp1}^e = 4,1$  и  $< R_{vp2}^e = 5,5 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$  является недостаточным по условиям ограничения влаги в ограждающей конструкции.

Для повышения сопротивления паропроницанию конструкции покрытия между железобетонной плитой и слоем утеплителя необходимо предусмотреть пароизоляцию, например, из слоя толи или рубероида, уложенных внахлестку не менее чем на 1/3 ширины листа.

### **Градоаналитический метод расчёта влажностного состояния ограждающих конструкций**

Этот метод используют для определения возможности появления конденсата в материале ограждения в условиях стационарного режима диффузии водяного пара.

Сущность метода состоит в построении на поперечном разрезе ограждающей конструкции линий изменения температуры, действительной и максимальной упругости водяного пара (рис.19).

Значения величин температур и упругости водяного пара  $\tau$ ,  $e$  и  $E$  определяют на границе слоёв или в условных плоскостях, на которые разбивают однородные (однослойные) ограждения.

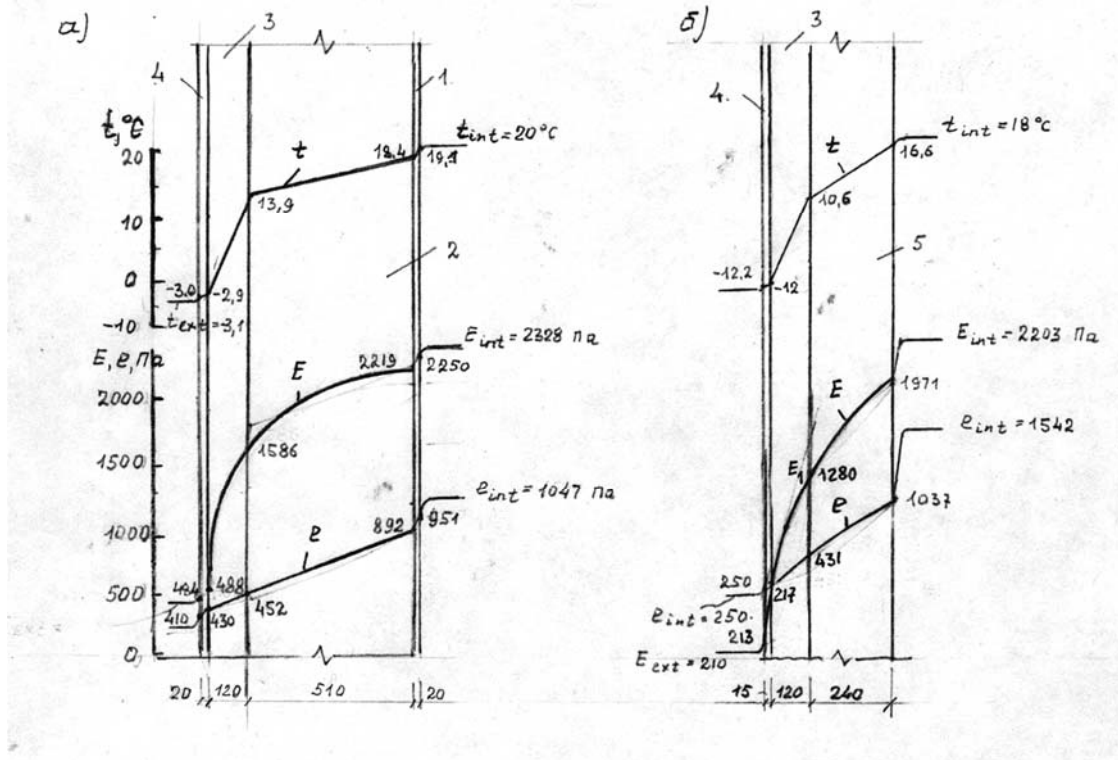


Рис.19. К примеру определения границ конденсации в наружных стенах:  
 а – многослойной кирпичной; б – двухслойной керамзитобетонной панели;  
 1 – гипсокартон; 2 – кирпичная кладка; 3 – жёсткие минераловатные плиты;  
 4 – цементно-песчаная штукатурка; 5 – керамзитобетон

Значение температуры на внутренней поверхности  $\tau_{int}$  и на границах слоёв ограждения или в условной плоскости ограждения  $\tau_i$  определяют по формулам:

$$\tau_{int} = t_{int} - \frac{t_{int} - t_{ext}}{R_0^{расч}}, \quad (34)$$

$$\tau_i = t_{int} - \frac{t_{int} - t_{ext}}{R_0^{расч}} \left( \frac{1}{\alpha_e} + \sum R_i \right). \quad (35)$$

В этих формулах значения температуры наружного воздуха  $t_{ext}$  и упругости водяного пара  $e_{ext}$  принимают в зависимости от показателя тепловой инерции  $D$  (см. формулы (13) и (14)). При значении  $D > 7$  (массивные конструкции) в расчётах принимают вышеуказанные параметры как

средние за весь холодный период; при значении  $4 < D < 7$  (конструкции средней массивности) – за наиболее холодный месяц; при  $D < 4$  (конструкции лёгкой массивности) – за наиболее холодный двухнедельный период.

Расчётное сопротивление теплопередаче  $R_0^{\text{расч}}$  в формулах (34) и (35) определяют по выражению (2), а термические сопротивления отдельных  $i$ -слоёв  $R_i$  – по выражению  $R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$ , где  $\delta_i$  и  $\lambda_i$  – соответственно толщины и коэффициенты теплопроводности материала слоёв конструкции.

Значения действительной упругости водяного пара, Па, на поверхностях и в толще ограждения на границах слоёв  $e$  находят по формуле

$$e_i = e_{\text{int}} - \frac{e_{\text{int}} - e_{\text{ext}}}{R_{\text{vp}}^e} \cdot \left( \sum R_{\text{vi}}^e \right), \quad (36)$$

где  $R_{\text{vi}}^e$  – сопротивление паропроницанию  $i$ -го слоя ограждающей конструкции,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{Мг}}$ , исчисляемой от внутренней поверхности ограждающей конструкции.

Значения  $t_{\text{int}}$  и  $e_{\text{int}}$  в формулах (34) и (35) принимают по нормам проектирования соответствующих зданий, а значение  $\alpha_s$  – то же, что и в формуле (2).

Кривую упругости насыщенного водяного пара  $E$  строят по полученным значениям температур с использованием прил.8.

При построении линий  $e$  и  $E$  внутри конструкции может оказаться два варианта: первый, когда во всех расчётных точках на границах слоёв значение  $e$  будет меньше  $E$ , следовательно, образование конденсата не происходит (рис. 19,а); второй, когда линия  $e$  внутри конструкции пересекается с линией  $E$ , что указывает на возможность конденсации влаги (рис. 19,б). Зона возможной конденсации в этом случае будет располагаться между точками касания прямых, проведённых из точек  $e_{\tau_{\text{int}}}$  и  $e_{\tau_{\text{ext}}}$  к линии  $E$ .

Количество конденсированной в материале влаги  $P_k, \frac{\text{Мг}}{(\text{м}^2 \cdot \text{ч})}$  определяют как разность входящего в конструкцию  $P_1$  и выходящего из неё в атмосферу  $P_2$  потоков пара:

$$P_k = P_1 - P_2. \quad (37)$$

Значение  $P_1$  и  $P_2, \frac{\text{Мг}}{(\text{м}^2 \cdot \text{ч})}$ , допускается определять по формуле

$$P = (e_{\text{int}} - e_{\text{ext}}) \cdot \frac{\mu}{\delta} \cdot F \cdot z. \quad (38)$$

Если в ней принять  $F = 1 \text{ м}^2$  и  $z = 1$  ч, а  $e_{ext} = E_1$  и  $E_2$ , тогда

$$P_1 = \frac{e_{int} - E_1}{R_{П_1}}, \quad (39)$$

$$P_2 = \frac{e_{int} - E_2}{R_{П_2}}. \quad (40)$$

В этих выражениях:

$E_1$  и  $E_2$  – значения максимальной упругости водяного пара, Па, определяемые соответственно в плоскостях начала и конца зоны конденсации;

$R_{П_1}$  и  $R_{П_2}$  сопротивления паропрооницанию,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$ , слоёв конструкции, расположенных соответственно до и после зоны конденсации.

Рациональным считается такое конструктивное решение наружного ограждения, в котором обеспечивается условие  $P_2 \geq P_1$  или допускается такое количество влагонакопления, которое удовлетворяет условию

$$\Delta\omega \leq \Delta\omega^{reg}, \quad (41)$$

где  $\Delta\omega$  – приращение расчётного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя, %, за период влагонакопления:

$$\Delta\omega = \frac{P}{\gamma_{ув} \cdot \delta_{ув}}, \quad (42)$$

здесь  $\gamma_{ув}$  и  $\delta_{ув}$  – соответственно плотность,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , и толщина, м, увлажняемого слоя, ограниченного зоной возможной конденсации;

$P$  – количество конденсационной влаги в материале увлажняемого слоя,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , за период влагонакопления:

$$P = 720(P_1 - P_2) \cdot z, \quad (43)$$

где  $z$  – продолжительность (в месяцах) периода влагонакопления, равная периоду с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха и принимаемая по прил.1.

Предельно допустимое приращение расчётного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя  $\Delta\omega^{reg}$ , %, в условии (41) определяют по прил.12 или СНиП [9].

**Пример.** Требуется проверить конструкцию наружной стены жилого дома в г.Пензе на случай возможного образования конденсата в материале ограждения в условиях стационарного режима диффузии водяного пара.

Для решения примера используем графоаналитический метод (рис.19,а).

**Исходные данные:**

1. Конструкция наружной стены принята из следующих материалов с теплотехническими характеристиками:

– гипсокартон (внутренний слой) толщиной  $\delta_1=0,02$  м;  $\gamma_0=800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  
 $\lambda_A=0,19 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$ ;  $S_A=3,34 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ ;  $\mu=0,075 \frac{\text{мг}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}$ ;

– кирпичная кладка толщиной  $\delta_2=0,51$  м;  $\gamma_0=1800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  $\lambda_A=0,70 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$ ;  
 $S_A=9,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ ;  $\mu=0,11 \frac{\text{мг}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}$ ;

– минераловатные жесткие плиты толщиной  $\delta_3=0,12$  м;  $\gamma_0=100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  
 $\lambda_A=0,06 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$ ;  $S_A=0,64 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ ;  $\mu=0,56 \frac{\text{мг}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}$ ;

– цементно-песчаная штукатурка толщиной  $\delta_4=0,02$  м;  $\gamma_0=1800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  
 $\lambda_A=0,76 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$ ;  $S_A=9,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ ;  $\mu=0,09 \frac{\text{мг}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}$ .

2. Климатические данные (г.Пенза):

– расчётная температура наружного воздуха  $t_{ext}=-3,1^\circ\text{C}$ , т.е. средняя за весь холодный период, т.к. показатель тепловой инерции данной конструкции  $D=8,5>7$  (массивная конструкция). За холодный период приняты 7 месяцев со средней температурой ниже  $8^\circ\text{C}$ ;

– расчётное значение упругости водяного пара наружного воздуха за холодный период  $e_{ext}=410$  Па.

3. Параметры внутреннего воздуха:

– расчётная температура  $t_{int}=20^\circ\text{C}$ ;

– расчётная упругость водяного пара при относительной влажности  $\varphi=45\%$   $e_{int}=1047$  Па.

**Порядок расчёта:**

1. Определяем значения температуры на поверхностях ограждения и на границах её слоёв, используя формулу (10), предварительно определив термические сопротивления материала слоёв и общее сопротивление теплопередаче всего ограждения (см. формулу (1)).

Термическое сопротивление

слоя гипсокартона  $R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,02}{0,19} = 0,11 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$ ;

слоя кирпичной кладки  $R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,51}{0,70} = 0,67 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$ ;

слоя минеральной ваты  $R_3 = \frac{0,12}{0,06} = 2,0 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$ ;

слоя штукатурки  $R_4 = \frac{0,02}{0,76} = 0,03 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$ .

Общее сопротивление теплопередаче ограждения

$$R_0^{\text{расч.}} = \frac{1}{8,7} + 0,11 + 0,67 + 2,0 + 0,03 + \frac{1}{23} = 2,96 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}.$$

Температура на внутренней поверхности стены составляет:

$$\tau_{\text{int}} = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0^{\text{расч.}}} \cdot \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} = 20 - \frac{20 + 3,1}{2,96} \cdot \frac{1}{8,7} = 20 - \frac{23,1}{25,2} = 20 - 0,9 = 19,1 \text{°C}.$$

Значения температуры на границах слоёв:

гипсокартона и кирпичной кладки

$$\begin{aligned} \tau_1 &= t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0^{\text{расч.}}} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + R_1 \right) = 20 - \frac{(20 + 3,1)}{2,96} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 0,11 \right) = \\ &= 20 - 1,6 = 18,4 \text{°C}; \end{aligned}$$

кирпичной кладки и минераловатного утеплителя

$$\begin{aligned} \tau_2 &= t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0^{\text{расч.}}} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + R_1 + R_2 \right) = \\ &= 20 - \frac{(20 + 3,1)}{2,9} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 0,11 + 0,67 \right) = 20 - 7,1 = 13,9 \text{°C}; \end{aligned}$$

минеральной ваты и штукатурки

$$\begin{aligned} \tau_3 &= t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0^{\text{расч.}}} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + R_1 + R_2 + R_3 \right) = \\ &= 20 - \frac{(20 + 3,1)}{2,9} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 0,11 + 0,67 + 2,0 \right) = 20 - 22,9 = -2,9 \text{°C}. \end{aligned}$$



На наружной поверхности ограждения

$$\begin{aligned} \tau_{ext} &= t_{int} - \frac{t_{int} - t_{ext}}{R_0^{расч}} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_{int}} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \right) = \\ &= 20 - \frac{(20 + 3,1)}{2,9} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 0,11 + 0,67 + 2,0 + 0,03 \right) = 20 - 23,0 = -3^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

По значениям  $t_{int}$ ,  $\tau_{int}$ ,  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$ ,  $\tau_{ext}$  и  $t_{ext}$  строим на рис.19,а линию распределения температур в принятом масштабе.

2. По полученным значениям температур находим соответствующие значения максимальной упругости водяного пара  $E$  (см. прил.8) и строим кривую на рис. 19,а.

$$\begin{aligned} E_{t_{int}} &= 2328 \text{ Па}; & E_{\tau_{int}} &= 2250 \text{ Па}; & E_{\tau_1} &= 2219 \text{ Па}; & E_{\tau_2} &= 1586 \text{ Па}; \\ E_{\tau_3} &= 488 \text{ Па}; & E_{\tau_{ext}} &= 484 \text{ Па}; & E_{t_{ext}} &= 480 \text{ Па}. \end{aligned}$$

3. Находим в расчётных точках значения действительной упругости водяного пара, используя формулу (36) и предварительно определив сопротивления паропрооницанию конструктивных слоёв и ограждения в целом по формуле (30).

Сопротивление паропрооницанию отдельных слоёв составляет:

$$\text{слоя гипсокартона } R_{v_1}^e = \frac{\delta_1}{\mu_1} = \frac{0,12}{0,075} = 1,6 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}};$$

$$\text{слоя кирпичной кладки } R_{v_2}^e = \frac{\delta_2}{\mu_2} = \frac{0,51}{0,11} = 4,6 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}};$$

$$\text{слоя минеральной ваты } R_{v_3}^e = \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0,12}{0,56} = 0,2 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}};$$

$$\text{слоя штукатурки } R_{v_4}^e = \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0,02}{0,09} = 0,2 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}};$$

$$R_{vp}^e = 1,6 + 4,6 + 0,2 + 0,2 = 6,6 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}.$$

Значение  $e_{\tau_{int}}, e_{\tau_1}, e_{\tau_2}, e_{\tau_3}, e_{\tau_{ext}}$ , согласно формуле (36) составит:

$$e_{\tau_{int}} = 1047 - \frac{1047 - 410}{6,6} = 1047 - 96 = 951 \text{ Па};$$

$$e_{\tau_1} = 1047 - \frac{1047 - 410}{6,6} \cdot 1,6 = 1047 - 154 = 893 \text{ Па};$$

$$e_{\tau_2} = 1047 - \frac{1047 - 410}{6,6} \cdot (1,6 + 4,6) = 1047 - 595 = 452 \text{ Па};$$

$$e_{\tau_3} = 1047 - \frac{1047 - 410}{6,6} \cdot (1,6 + 4,6 + 0,2) = 1047 - 617 = 430 \text{ Па};$$

$$e_{\tau_{ext}} = 1047 - \frac{1047 - 410}{6,6} \cdot (1,6 + 4,6 + 0,2 + 0,2) = 1047 - 637 = 410 \text{ Па};$$

Наносим полученные значения на рис.19, а и строим кривую  $e$ .

В рассмотренном примере во всех расчётных точках получилось, что  $e < E$ , это свидетельствует о том, что в предлагаемой конструкции стены конденсации влаги не происходит.

Рассмотрим другой пример.

**Пример.** Рассчитать влажностный режим стены из керамзитобетона плотностью  $\gamma = 1200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  толщиной 240 мм, утеплённую с наружной стороны полужёсткими минераловатными плитами  $\gamma = 100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  толщиной 120 мм и оштукатуренную цементно-песчаным раствором ( $\gamma = 1800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ) толщиной 15 мм (рис. 19,б).

Место строительства – г.Пенза. Температура воздуха в помещении  $t_{int} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ , относительная влажность воздуха  $\phi_{int} = 70\%$ .

Теплотехнические характеристики материала стены:

$$\text{керамзитобетон } \gamma_0 = 1200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad \lambda_B = 0,52 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C}}; \quad S_B = 7,57 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}};$$

$$\mu = 0,11 \frac{\text{мг}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}};$$

$$\text{минераловатные плиты (полужёсткие) } \gamma = 100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad \lambda_B = 0,07 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C}};$$

$$S_B = 0,64 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}}; \quad \mu = 0,56 \frac{\text{мг}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}};$$

$$\text{цементно-песчаная штукатурка } \gamma = 1800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad \lambda_B = 0,87 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C}};$$

$$S_B = 8,95 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}}; \quad \mu = 0,09 \frac{\text{мг}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}};$$

Климатические данные г.Пензы:

– расчётная температура наружного воздуха принята равной средней температуре наиболее холодного месяца  $t_{ext} = -12,2 \text{ }^\circ\text{C}$ , т.к. показатель тепловой инерции конструкции  $D = 5,4$ , что больше 4 и меньше 7 (конструкция средней массивности);

– упругость водяного пара наиболее холодного месяца  $e_{ext} = 250 \text{ Па}$ .

Параметры внутреннего воздуха: при  $t_{int}=18^{\circ}\text{C}$  и  $\phi_{int}=70\%$ . значение

$$e_{int} = \frac{E \cdot \phi}{100} = \frac{2203 \cdot 70}{100} = 1542 \text{ Па.}$$

### Порядок расчёта:

1. Определяем значения температур  $\tau_{int}$ ,  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$ , и  $\tau_{ext}$ , предварительно определив значения термических сопротивлений слоёв конструкций и общее сопротивление теплопередаче стены в целом по формуле (1).

Термические сопротивления слоёв стены составляют:

$$\text{керамзитобетона } R_1 = \frac{0,24}{0,52} = 0,46 \frac{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}};$$

$$\text{минераловаты } R_2 = \frac{0,12}{0,07} = 1,7 \frac{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}};$$

$$\text{штукатурного слоя } R_3 = \frac{0,015}{0,87} = 0,02 \frac{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}};$$

$$R_0^{\text{расч.}} = \frac{1}{8,7} + 0,46 + 1,7 + 0,02 + \frac{1}{23} = 2,33 \frac{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}.$$

Значения  $\tau_{int}$ ,  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$ , и  $\tau_{ext}$ , согласно формуле (10) составляют:

$$\tau_{int} = t_{int} - \frac{t_{int} - t_{ext}}{R_0^{\text{расч.}}} \cdot \frac{1}{\alpha_{int}} = 18 - \frac{18 - 12,2}{2,33} \cdot \frac{1}{8,7} = 18 - 1,4 = 16,6^{\circ}\text{C};$$

$$\tau_1 = 18 - \frac{(18 - 12,2)}{2,33} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 0,46 \right) = 18 - 7,4 = 10,6^{\circ}\text{C};$$

$$\tau_2 = 18 - \frac{(18 - 12,2)}{2,33} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 0,46 + 1,7 \right) = 18 - 30 = -12^{\circ}\text{C};$$

$$\tau_{ext} = 18 - \frac{(18 - 12,2)}{2,33} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 0,46 + 1,7 + 0,02 \right) = 18 - 30,2 = -12,2^{\circ}\text{C}.$$

Наносим эти значения на рис.19,б.

2. По значениям  $t_{int}$ ,  $\tau_{int}$ ,  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_{ext}$  и  $t_{ext}$  находим по прил.8 значения  $E$  и строим по этим значениям кривую на рис.19,б.

$$E_{t_{int}} = 2203 \text{ Па}; \quad E_{\tau_{int}} = 1971 \text{ Па}; \quad E_{\tau_1} = 1280 \text{ Па}; \quad E_{\tau_2} = 217 \text{ Па}; \\ E_{\tau_{ext}} = 213 \text{ Па}; \quad E_{t_{ext}} = 210 \text{ Па}.$$

3. Определяем значение  $e$  по формуле (36), предварительно определив сопротивления паропроницанию материала слоёв ограждения и ограждения в целом по формуле (30).

Сопротивление паропрооницанию слоёв ограждения составляет:

$$\text{керамзитобетона } R_{v_1}^e = \frac{\delta_1}{\mu_1} = \frac{0,24}{0,11} = 2,2 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{МГ}};$$

$$\text{минераловатной плиты } R_{v_2}^e = \frac{\delta_2}{\mu_2} = \frac{0,12}{0,56} = 0,2 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{МГ}};$$

$$\text{цементно-песчаной штукатурки } R_{v_3}^e = \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0,015}{0,09} = 0,16 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{МГ}};$$

$$R_{vp}^e = 2,2 + 0,2 + 0,16 = 2,56 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{МГ}}.$$

Значения действительной упругости водяного пара:

$$e_{\tau_{\text{int}}} = 1542 - \frac{(1542 - 250)}{2,56} = 1542 - 505 = 1037 \text{ Па};$$

$$e_{\tau_1} = 1542 - \frac{(1542 - 250)}{2,56} \cdot 2,2 = 1542 - 1111 = 431 \text{ Па};$$

$$e_{\tau_2} = 1542 - \frac{(1542 - 250)}{2,56} \cdot (2,2 + 0,2) = 1542 - 1212 = 330 \text{ Па};$$

$$e_{\tau_{\text{ext}}} = 1542 - \frac{(1542 - 250)}{2,56} \cdot (2,2 + 0,2 + 0,16) = 1542 - 1292 = 250 \text{ Па}.$$

Наносим эти значения на рис. 19, б и строим кривую  $e$ .

Для определения границ зоны конденсации проводим из точки  $e_{\tau_{\text{ext}}}$  касательную к кривой  $E$ . В нашем случае возможно касание только в одной точке (прямая  $e_{\tau_{\text{ext}}} - E_1$ ). Поэтому зоной конденсации будем считать участок стены, заключённый между наружной поверхностью стены и точкой  $E_1$ .

Согласно произведённым расчётам и графическим построениям видно, что на участке стены, начиная от наружной ее поверхности до места расположения минеральной ваты, возможна конденсация влаги.

4. Для определения количества конденсированной в материале влаги по формуле (37) предварительно находим значения  $P_1$  и  $P_2$  по формуле (39) и (40):

$$P_1 = \frac{1542 - 213}{2,56} = 519,1 \frac{\text{МГ}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}, \text{ т.к. начало зоны конденсации совпадает с}$$

наружной поверхностью ограждения значение  $R_1 = R_{vp}^p = 2,56 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{МГ}},$

$$P_2 = \frac{1542 - 1280}{2,2} = 48,8 \frac{\text{МГ}}{\text{М}^2 \cdot \text{ч}},$$

где  $R_{\Pi_2} = R_{v1}^e = 2,2 \frac{\text{М}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{МГ}}$ .

$E_2=1280$  Па, т.к. граница слоя конденсата совпадает с плоскостью примыкания слоёв из керамзитобетона и минеральной ваты.

Согласно формуле (37) количество конденсированной влаги в зоне конденсации составит

$$P_k = P_1 - P_2 = 519,1 - 48,8 = 470,3 \frac{\text{МГ}}{\text{М}^2 \cdot \text{ч}}.$$

Выводы. В рассмотренном примере для предотвращения образования конденсата в толще ограждения необходимо либо повысить температуру во всех слоях ограждения, что использовать в первую очередь увеличением толщины слоя утеплителя, либо принять материалы менее паропроницаемые.

## 6. ЕСТЕСТВЕННАЯ АКУСТИКА ЗРИТЕЛЬНЫХ ЗАЛОВ

Архитектурная акустика изучает явления, связанные с распространением звука, а также методы акустических расчетов, позволяющие прогнозировать результаты проектирования в соответствии с критериями предпочтительности озвучивания залов различного назначения.

Театр, как сооружение, приспособленное для драматических представлений, получил правильное устройство впервые в древней Греции, а по его образцу позже и в Риме. Античный театр состоял из трёх главных частей:

- 1) зрительного пространства с сидениями, расположенными полукругом и концентрическими рядами и ярусами;
- 2) оркестра, места выступления и плясок хора;
- 3) сцены, приподнятой задней части оркестры (помоста), на которой выступали актёры.

Представления давались при дневном свете, в Греции часто состязания драматургов при постановке трилогий длились 2–3 дня. Женские роли исполнялись юношами, а актёрам для создания определенного образа своего персонажа (негодяй или герой, юноша или человек почтенного возраста) надевали маски. В средние века духовные театральные представления первоначально давались в церквах, затем появились странствующие труппы актёров и фокусников, игравшие на ярмарках во временных постройках. Постоянные театры в Западной Европе возникли в период с XV по XVI век. К началу XIX века выработался современный тип театрального здания:

- 1) полукруглый зрительный зал с слегка наклоненным полом, который занят рядами кресел (партер) и несколькими ярусами галерей, занятыми рядами лож, балкона и отдельных мест;
- 2) узкое и длинное пространство для оркестра между партером и сценой;
- 3) сцена, возвышенное над партером пространство, предназначенное для выступлений актёров. От зрительного зала сцена отделяется несколькими занавесами. Перед первым занавесом на полу помещается ряд ламп (рампа) для освещения сцены. Сцена обставляется рядом декораций – это кулисы. С 1896 года вводится вращающаяся сцена, которая дает возможность менять обстановку сцены чрезвычайно быстро и незаметно.

Появление закрытых театров стало ступенью в развитии драматического и музыкального искусства. Ограниченный объём театрального помещения позволял обеспечить разборчивое восприятие речи при сравнительно небольших мощностях голоса актёра; стало возможным увеличение темпа речи и расширение динамического диапазона, позволяющего переходить с крика на шёпот.

Колыбелью современного театра является Италия, где до XVII века строились деревянные театры, которые носили характер открытых греческих театров с полукруглым амфитеатром и сценой. Но этот театр был уже под крышей.

В конце XVIII века в Италии создается тип здания музыкального театра, который распространяется по всему миру. Итальянский театр имел преимущественно овальную форму зрительного зала в плане с расположенными по периметру ярусами. Овальная форма предполагает неравномерное распределение звуковой энергии при гладких поверхностях стен. Однако для устранения этого акустического явления по вертикали устраивались выступающие в зал ярусы (до 6–7) глубиной до 3 метров, хорошо рассеивающих звуковую энергию. Размещение зрителей на ярусах в виде чередующихся в 2–3 ряда «лент» повышало степень рассеивания звуковой энергии. Такая многоярусная схема планировки зрительного зала позволяла иметь на относительно небольшой площади большую вместимость.

Т а б л и ц а 1 2

Наименование театра	Количество ярусов	Число зрителей	Объём, м <sup>3</sup>	Время реверберации, с	Максимальная удаленность последнего ряда, м
Ла-Скала (Милан)	6	2290	16000	1,3	26
Большой театр (Москва)	5	2100	13800	1,55	24
Оперный театр (Одесса)	5	1700	12000	1,6	23,5
Национальная опера (Париж)	4	2130	15000	1,45	22
Королевская опера (Лондон)	4	1710	10000	1,4	24

Кроме того в отделке залов использовалось большое количество бархата, что создало значительное звукопоглощение и как следствие – короткое время реверберации. По отзывам специалистов, залы Большого театра в Москве и Королевской оперы в Лондоне суховаты с точки зрения звучания музыки и хороши для вокала.

На рубеже XX столетия в строительстве стали использоваться железобетонные конструкции, позволяющие перекрывать большие пролеты. Появляется новый тип безъярусного театра, характерной чертой которого становится устройство балконов в задней части зала.

Архитекторы У. Сэбин, Л. Карбюзье и другие начинают исследовательские работы по акустическим проблемам и используют их результаты в практическом строительстве.

При возведении зала частной оперы в Чикаго использованы рекомендации У. Сэбина. Объём зала – 2400 м<sup>3</sup>, вместимость – 3600 человек, время реверберации для заполненного зала  $T_{500} = 1,9$  с. Архитектурные формы зрительного зала считаются близким к удовлетворительным: в плане зал почти секторной формы, задняя стенка имеет малую кривизну, потолок расчленен мелкими архитектурными элементами, для передней части

потолка над сценой устроен козырек, позволяющий отражать звуковую энергию в глубину театрального помещения.

Концертный зал Плейели в Париже имеет объём 22000 м<sup>3</sup>, вместимость 3000 чел. и время реверберации заполненного слушателями зрительного зала  $T_{500} = 1,5$  с. Форма плана секторная, зал имеет наклонные боковые стены. Потолку придается параболическая кривизна с фокусом возле эстрады. Однако этот экспериментальный зал имеет акустические дефекты. В частности, криволинейная поверхность акустического потолка концентрирует различные шумы на эстраде, что мешает слаженной работе музыкантов, а поэтому переднюю часть потолка пришлось обработать звукопоглощающими материалами, что снизило время реверберации. Кроме того, вследствие большой высоты в передние и средние ряды приходят сильно запаздывающие отражения звуковой энергии, что создает неразборчивость музыкальных фраз.

Колонный зал Дома Союзов в Москве считается одним из лучших в акустическом отношении музыкальных залов в Европе. Прямоугольный по форме зал имеет по периметру стен мраморные колонны диаметром 90 см, благодаря чему создается высокая степень однородности звукового поля. Объём зала – 12500 м<sup>3</sup>, вместимость – 1600 чел., время реверберации при полном заполнении  $T_{500} = 1,6$  с.

Схожее архитектурное решение имеет зал государственной филармонии в Санкт-Петербурге. При объёме зрительного зала 16380 м<sup>3</sup> и вместимости 1400 чел. создается прекрасная акустическая обстановка. Высокая степень однородности звука достигается большим количеством колонн диаметром 100 см по периметру зала и большими висячими люстрами на горизонтальном потолке. Время реверберации в пустом зале  $T_{200} = 2,2$  с и  $T_{1000} = 1,8$  с.

Концертный зал имени Чайковского в Москве имеет объём зрительного зала 18000 м<sup>3</sup> и вмещает 1700 зрителей. Овальная форма плана не способствует равномерному распределению звуковой энергии, время реверберации для прослушивания музыкальных программ удовлетворительное.

Большой зал консерватории в Москве имеет объём 17000 м<sup>3</sup> и вместимость 2150 зрителей. Время реверберации для заполненного слушателями зала  $T_{500} = 2,2$  с. Акустика зала вполне удовлетворительная для звучания органной и симфонической музыки.

В театральных залах, построенных в первой половине и середине XX века, проектировщиками преследовалась единственная цель – выдержать время реверберации в пределах рекомендуемых значений в зависимости от объёма помещения соответствующего назначения [1, 12, 13, 16].

Однако удовлетворительная акустика, ограничения прослушивания музыкальных программ (орган, симфонический оркестр, вокал) имеют причину в недостаточной проработке архитектуры помещения. Время реверберации в концертных залах больше, чем для любых иных залов. Однако время реверберации не всегда полностью определяет акустические свойства залов. Например, в малом зале Московской консерватории



акустические свойства прекрасны, а время реверберации составляет 2 с. В то же время, если следовать рекомендациям, для объема зрительного зала 2550 м<sup>3</sup> время реверберации должно быть около 1,35 с. Решающим фактором здесь является структура ранних отражений.

Т а б л и ц а 13

Наименование театра	Объём, м <sup>3</sup>	Объём на одного человека, м <sup>3</sup>	Вместимость, чел.	Время реверберации $T_{500}$ , с
Вагнеровский театр, Байрет	113000	8,4	1345	2,2
Зал частной оперы, Чикаго	24000	6,7	3600	1,9
Концертный зал в Плейели, Париж	22000	7,3	3000	1,5
Зал Куинс-Холл, Лондон	12000	6	2026	1,4
Колонный зал Дома Союзов, Москва	12500	7,8	1600	1,6
Зал государственной филармонии, Санкт-Петербург	16380	11,7	1400	1,8
Концертный зал им. Чайковского, Москва	1800-	10	1700	2,2
Большой зал консерватории, Москва	17000	7,9	2150	2,2
Бетховен-Халле, Бонн	16000	11	1420	1,8
Большой зал Лидер-Халле, Штудгарт	16000	8	2000	1,9
Средний зал Лидер-Халле, Штудгарт	5500	7	800	1,8
Королевский зал британского фестиваля, Лондон	18000	6	3000	1,7

Звукоотражающие экраны на потолке, расчленение стен по вертикали ярусами лож и выступающих балконов, на которых размещается до 40 % зрителей, создают хорошие условия для рассеивания звуковой энергии, формирования диффузного звукового поля и характерны для зрительных залов старого типа. Современные решения больших концертных залов характеризуются преимущественно круговым размещением слушателей перед эстрадой, но иногда с нарушением симметрии размещения относительно центральной продольной оси и комбинированием плоских, вогнутых и выпуклых поверхностей внутренних стен. Это делается для того, чтобы выпуклая часть стены равномерно рассеивала звуковую энергию и особенности звуков одной части оркестра, где расположена, например, группа скрипачей и виолончелистов. Для устранения опасности фокусирования звуковой энергии и лучшего рассеивания отраженного звука вся вогнутая поверхность расчленяется уступами до 1 м глубиной и шагом в 3-4 м, что обеспечивает рассеивание звука вплоть до частот 100 Гц. В связи с этим, студентам рекомендуется рассмотреть обобщенный опыт проектирования театральных залов за последние 10–15 лет в России и за рубежом [1, 12, 13, 16].

## 7. АКУСТИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗАЛАМ

Следует помнить о том, что естественный источник звука (музыкальный инструмент, голос исполнителя) имеет ограничения по громкости. Поэтому для закрытого помещения необходимо предусмотреть такую форму потолка и стен, которая отражала бы основную часть звука в конце зала. Это требование вытекает из неравномерности распределения звуковой энергии по залу. В передних рядах она велика, а по мере удаления от источника – уменьшается за счет поглощения слушателями.

**Величину общего объема** зала определяют в соответствии с назначением зала и его вместимостью. В соответствии с п.13.2 [12] в зрительном зале должны быть выдержаны следующие требования по удельному воздушному объёму, приходящемуся на одного слушателя в м<sup>3</sup>:

- в залах драмтеатров, учебных аудиториях и конференц-залах.....4–5;
- в залах музыкально-драматических театров(оперетта).....5–7;
- в залах театров оперы и балета .....6–8;
- в концертных залах камерной музыки .....6–8;
- в концертных залах симфонической музыки .....8–10;
- в залах для хоровых и органых концертов .....10–12;
- в концертных залах современной эстрадной музыки  
(киноконцертных залах).....4–6

В целях обеспечения акустического комфорта не рекомендуется превышать следующие предельные значения глубины зрительного зала в метрах:

- в драмтеатрах, учебных аудиториях  
и конференц-залах .....24–25;
- в театрах оперетты .....28–29;
- в театрах оперы и балета .....0–32;
- в концертных залах камерной музыки .....20–22;
- в концертных залах симфонической музыки, хоровых  
и органых концертов .....42–46;
- в многоцелевых залах вместимостью более 1000 мест .....30–34;
- в концертных залах современной эстрадной музыки.....48–50

Для залов многоцелевого назначения средней вместимости (до 1000 мест) рекомендуемая величина принимается в пределах 4–6 м<sup>3</sup> на слушательское место. Основная трудность акустического проектирования залов многоцелевого назначения большей вместимости заключается в том, что для речи и музыки требуется различный звуковой режим, который достичь известными приемами (например, изменяя соотношение площадей отражающих и поглощающих поверхностей) не представляется возможным ввиду интенсивного поглощения звуковой энергии в воздухе (особенно на

высоких частотах) и ограниченной мощности источника звука. Изменить ситуацию можно, используя для этого электроакустические системы.

В основу композиционного построения многих произведений искусства, начиная с архитектуры античности, положено такое соотношение средних значений длины, ширины и высоты помещений, зданий и пр., как ряд чисел Фибоначчи (3:5:8). Модуль отношения  $X$  определяется по формуле (43):

$$X = \frac{\sqrt[3]{V}}{4,94}, \quad (43)$$

где  $V$  – объем помещения, здания,  $\text{м}^3$ .

Линейные размеры – длина, ширина и высота зала – определяются через модуль, соответственно как  $8X$ ;  $5X$ ;  $3X$ .

Важно то, что для достижения гармоничной пропорции зала необходимо следовать следующему правилу: соотношения длины и ширины, ширины и высоты помещения должны быть не более 2 единиц и не менее 1, длина при этом не должна превышать 30 м. В зависимости от объемно-планировочного решения зала допускается увеличение или уменьшение указанных величин до 20 %.

В случае устройства балкона в зрительном зале глубина подбалконного пространства не должна превышать 4-5 рядов зрительских мест. В этом случае высоту над последним рядом не следует допускать менее 3 м, а у входа в подбалконное пространство – не менее 4 м (рис. 20). Отношение выноса балкона  $a_1$  к средней высоте подбалконной пазухи  $h_1$  должно быть не менее 1,5; для надбалконной пазухи соотношение  $a_2$  к  $h_2$  может быть увеличено до 2.

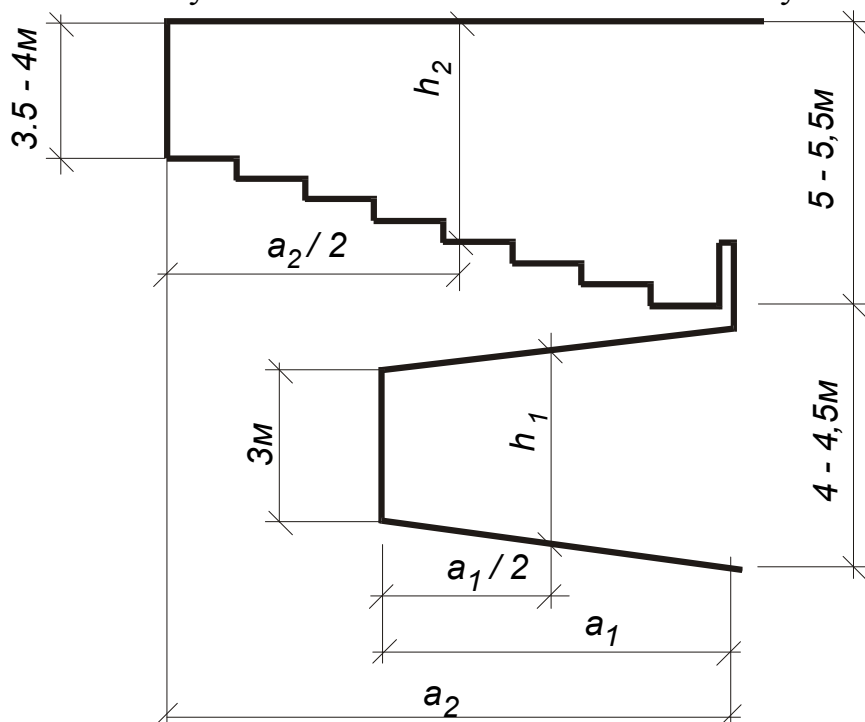


Рис. 20. Размещение балкона в зрительном зале

У границы зоны зрительских мест устраиваются отдельные, отгороженные барьерами, ложи: служебные – со входом из помещений, обслуживающих сцену и гостевые – со входом из специальных гостевых помещений. На барьерах балконов предусматриваются устройства, предохраняющие от падения предметов с высоты. С внутренней стороны барьеров балконов и лож целесообразно предусматривать углубления для ног зрителей, сидящих в первом ряду.

Студент самостоятельно решает вопрос о выборе планировочного решения зрительного зала и его профиля, при необходимости используя известные [1, 12, 13, 15] аналитические расчеты, если они не противоречат возможностям конструктивного решения. Архитекторы должны иметь достаточно выдумки и фантазии, чтобы уже на начальном этапе проекта установить надлежащие объем и основные очертания зала.

**Форма и размеры зрительного зала** должны способствовать улучшению слышимости музыки и речи. Нежелательно проектировать помещения круглой, овальной, подковообразной формы в плане (рис. 21), способствующей концентрации звука в точке  $F$ , если источник звука (ИЗ) расположен на сцене.

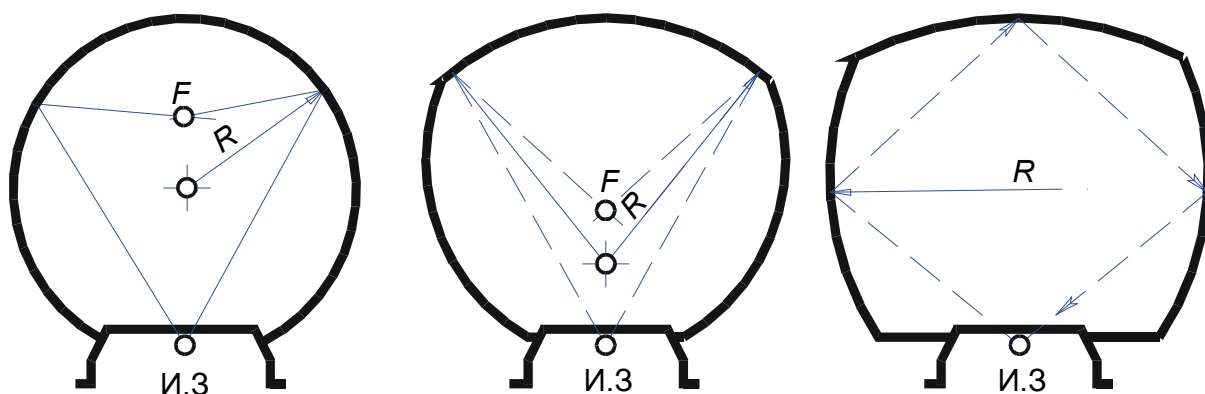


Рис. 21. Отражение звука ограждающими поверхностями разной формы

Такое очертание допустимо лишь при специальном расчленении вогнутых поверхностей слегка наклонными стенами для отражения в сторону слушателей и декоративными поясами для решения задачи рассеивания отраженного звука.

Выпуклые поверхности наоборот создают рассеянное отражение звука и повышают его диффузность в зале.

Гладкие поверхности, параллельные друг другу, не способствуют достижению однородности звукового поля. В результате отражения возникают точки или зоны сильной концентрации звука, в которых эти усиления повторяются с особой четкостью. Подобное явление («порхающее эхо») может быть устранено небольшим (до  $2,5-4^\circ$ ) отклонением стен от параллельности, устройством на их плоскости рассеивающих архитектурных деталей, радиус

кривизны или размеры которых соизмеримы с длиной волны. В области слухового восприятия длины волн составляют от 3 м до 3 см. Для низких частот необходимы элементы, близкие по размерам барьерам балконов, пилястр, колонн, глубоким дверным и оконным нишам. На средних и высоких частотах нетрудно создать эффективное рассеяние малозаметными структурами в виде рельефных углублений размером около 30 см, волнистых элементов (с длиной волны более 10 см), уступов, горизонтальных поясов, бордюров (рис. 22). Если их очертание подвергнуть дальнейшему членению или придать им выпуклую форму, то будет достигнуто рассеивание в широком диапазоне частот.

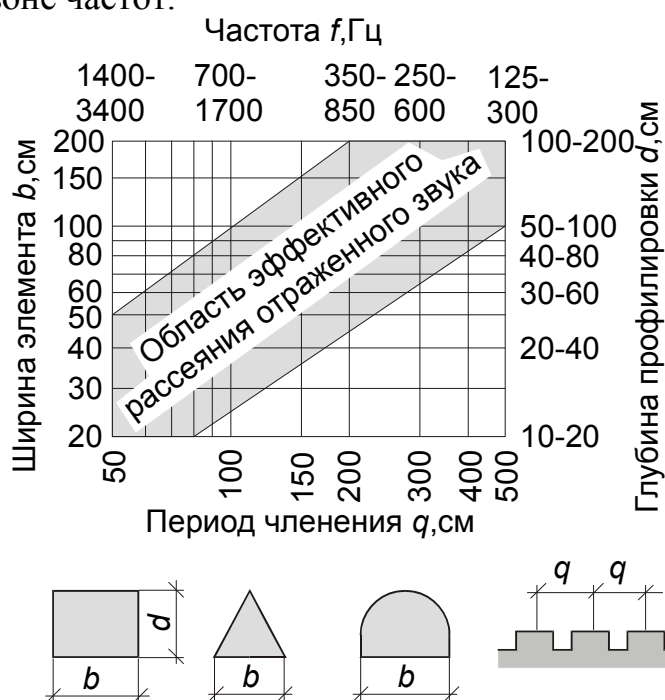


Рис. 22. Размеры периодических членений, обеспечивающих рассеивание звука в частотном диапазоне 125-3400 Гц

**Размещение оборудования** в зале (устройство сцены, эстрады или небольшого подиума для лекторского стола и трибуны, подвеска экрана для демонстрации кинофильмов, установка кресел, оркестровой ямы, зрительских лож и балконов) должно быть увязано как с вопросами благоприятного слухового восприятия, так и соответствующих условий (беспрепятственных, частично ограниченных, ограниченных) видимости, заполнением зрительного зала слушателями и их безопасной эвакуации из него в обычных или аварийных условиях [23].

Расстояние между передней границей эстрады, сцены или барьера оркестровой ямы и спинками кресел 1-го ряда зрительских мест следует принимать не менее 1,5 м, а в зрительных залах вместимостью до 300 мест – не менее 1,2 м. Высоту уровня планшета эстрады (сцены) над уровнем пола 1-го ряда зрительских мест следует предусматривать не более 1 м, а в зрительских залах вместимостью до 500 мест – не более 0,8 м. В лекционных аудиториях

высота лекторского стола не должна превышать 0,8 м, а расстояние от него до спинок сидений 1-го ряда слушателей должно быть не менее 1,5 м.

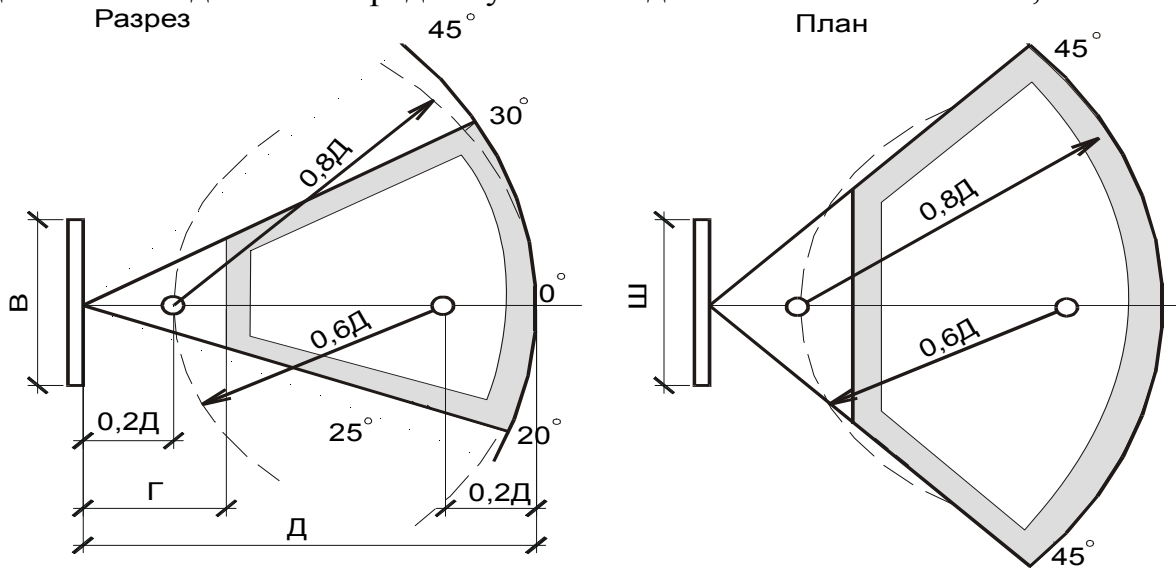


Рис. 23. Зона расположения зрителей перед киноэкраном:

В – высота рабочего поля киноэкрана;  
 Ш – ширина рабочего поля киноэкрана;  
 Г – расстояние от киноэкрана до спинки кресел первого ряда зрительских мест;  
 Д – глубина зрительного зала

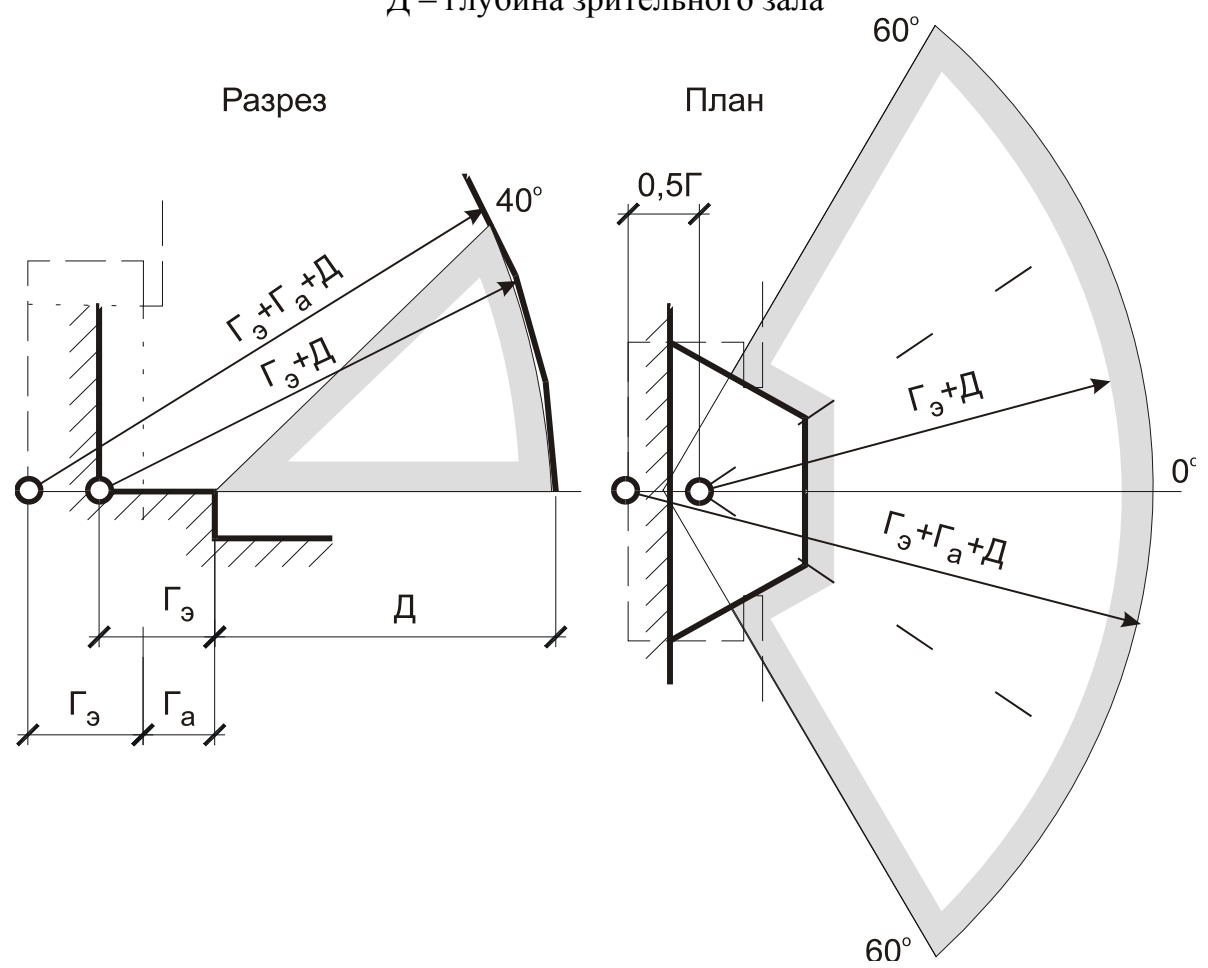


Рис.24. Зона размещения зрителей перед эстрадой:  
 Г<sub>а</sub> – глубина авансцены; Г<sub>э</sub> – глубина эстрады

Зрительные залы рекомендуется проектировать с учетом установки в них кресел с откидными сидениями. Исключения могут быть сделаны для лекционных залов учебных заведений, залов ожидания на вокзалах и на трибунах спортивных сооружений. В креслах, стульях и скамьях в зрительных залах предусматриваются устройства для крепления их к полу. В театральных залах рекомендуется применять мягкие или полумягкие кресла. Крайние кресла ряда в проходах возможно оборудовать откидными сидениями (строфонтемами) с пружинными устройствами, обеспечивающими их самопрокидывание. В ложах и на балконах глубиной не более двух рядов возможно устанавливать стулья или скамьи со спинками. При перепаде уровней пола соседних рядов более 0,7 м рекомендуется устанавливать между рядами ограждение, предохраняющее зрителей от падения при проходе их на место.

Профиль линии размещения зрительских мест, как и места в зрительном зале, необходимо проектировать в соответствии с условиями видимости объекта, расположенного на сцене (эстраде).

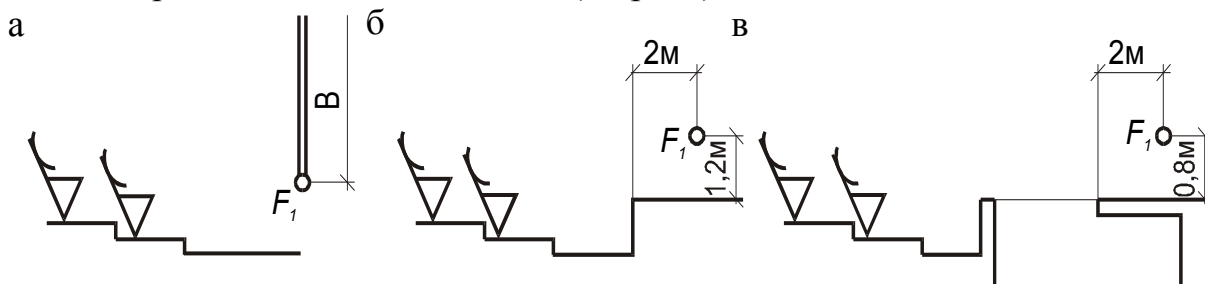


Рис. 25. Положение расчетных точек наблюдения:  
 а – кинотеатр; б – эстрада; в – театральная сцена;  
 В – высота рабочего поля киноэкрана

При проектировании в составе демонстрационного комплекса сцен рекомендуется размеры и требования принимать согласно табл. 14.

Т а б л и ц а 1 4

Вместимость зрительного зала, мест	Типы сцены
до 600	С-1–С-4
от 500 до 800	С-5–С-6
от 700 до 1200	С-7
от 1100 до 1500	С-8
от 1500 и более	С-9

Размеры оркестровой ямы в театрах следует принимать по табл. 15.

Т а б л и ц а 1 5

Театры	Ширина, м	Ширина проема, м	Высота, м
Драматический и музыкально-драматический	3,0	2,0	2,1–2,4
Музыкальной комедии	4,5	3,5	2,1–2,4
Оперы и балета	6,0	4,5	2,1–2,4

Для того чтобы зритель беспрепятственно видел объект, необходимо создать ему такие условия, при которых он мог бы обозревать данный объект над головами впереди сидящих зрителей. Если соединить прямой линией объект различения, находящийся в расчетной (например, на планшете сцены) точке видимого поля, с глазом зрителя, сидящего на удаленном ряду в глубине зрительного зала, то головы всех людей, находящиеся перед данным зрителем, должны быть расположены ниже этой линии.

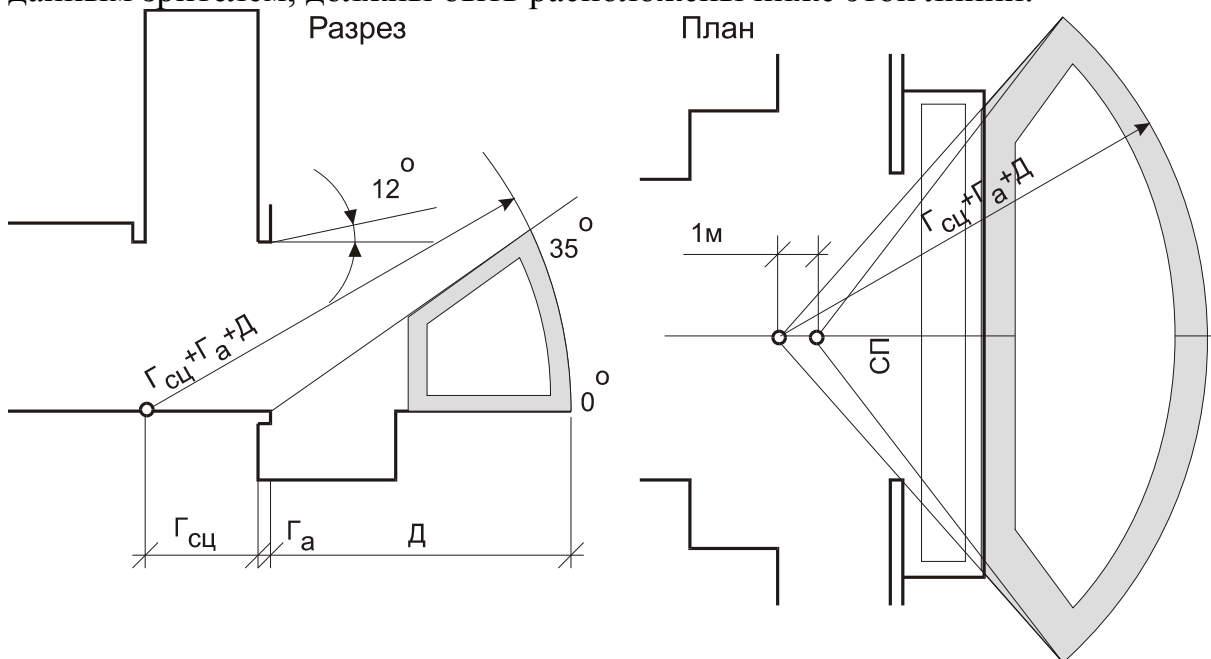


Рис. 26. Зона расположения зрителей перед сценой:  
 $\Gamma_a$  – глубина авансцены;  
 $\Gamma_{сц}$  – глубина сцены;  
 СП – строительный портал

Построение профиля по отрезкам ломаной линии следует определять с обеспечением заданного превышения  $C=0,14$  м, что соответствует условиям беспрепятственной видимости. При ограниченной видимости для зрителя каждого последующего ряда, начиная от первого, на любом из отрезков  $C = 0,07$  м. Число отрезков нужно принимать равным числу десятков рядов всего профиля.

Количество рядов на первом ближайшем к сцене или эстраде отрезке определяют как частное от деления расстояния по горизонтали от расчетной точки  $F_1$  до глаза зрителя первого ряда на величину глубины ряда  $d = 0,95$  м, а число рядов на каждом последующем отрезке увеличивают в 1,5–1,6 раза по сравнению с предыдущим. Однако допускается равное число рядов на каждом отрезке в целях упрощения расчетов.

Для удобства расчетов вводится система координат  $X-Y$ , начало которой располагается в расчетной точке  $F_1$ . На рис. 27 приводится пример построения профиля по кривой наименьшего подъема методом вычисления высотных отметок  $Y_i$  через координаты зрителя, сидящего на первом ряду каждого из назначенных для расчета участков.



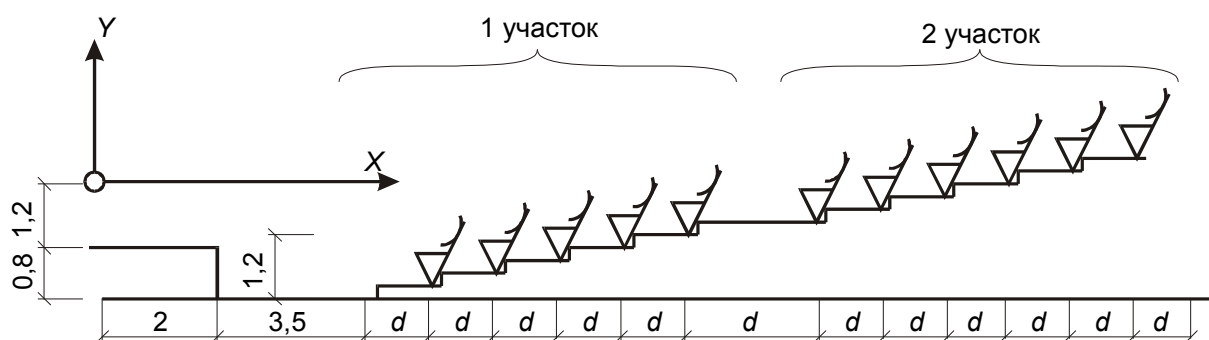


Рис. 27. Построение профиля зрительских мест методом отрезков

Превышение последнего ряда над первым на первом отрезке определяется по формуле

$$y_1 = \frac{x_1}{x_0} \cdot (c \cdot n_1 + y_0),$$

где  $x_0, y_0, x_1, y_1$  – соответственно координаты глаз зрителя первого и последнего ряда на первом отрезке;

$n_1$  – число промежутков между рядами.

В соответствии с рис. 27 и принятыми значениями имеем:

$d_1 = 1,5$  м – продольный проход в зрительном зале;

$$x_0 = 2 + 3,5 = 5,5 \text{ м};$$

$$x_1 = x_0 + d \cdot n_1 = 10,25 \text{ м};$$

$$y_0 = -0,8 \text{ м};$$

$$y_1 = \frac{10,25}{5,5} \cdot (0,14 \cdot 5 - 0,8) = -0,19 \text{ м}.$$

Просчитаем результат на втором отрезке:

$$x_1 = 10,25 \text{ м};$$

$$y_1 = -0,19 \text{ м}$$

$$x_2 = 10,25 + 6 \cdot 0,95 + d_1 = 17,45 \text{ м};$$

$$y_2 = \frac{17,45}{10,25} \cdot (0,14 \cdot 6 - 0,19) = 1,1 \text{ м}.$$

Высота подъема зрительских мест последнего ряда соответствует

$$H = y_2 - y_0 = 1,81 \text{ м},$$

а высота ступеней подъема каждого ряда на 1 и 2 отрезках составит:

$$r_1 = \frac{y_1 - y_0}{5} = 0,12 \text{ м}; \quad r_2 = 0,2 \text{ м}.$$

Для организации продольного прохода в зрительном зале высоту подступенков принимаем соответственно  $r_1$  и  $r_2$  для каждого из отрезков. Решение аналогичной задачи по кривой наименьшего подъема описано в [15].

## 8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРЬЕРА ЗАЛА С ЕСТЕСТВЕННОЙ АКУСТИКОЙ

Правильное распределение ранних (первых) отражений от поверхностей зала способно улучшить слышимость и разборчивость звуков. Существует интервал времени между приходящими прямыми и отраженными звуками, когда они воспринимаются без разрыва. Если интервал времени меньше критического, явление отражения звуков воспринимается как реверберация, больше – как эхо. Критический интервал времени в зависимости от характера звуков и дискретности составляет 20–100 мс.

Графический анализ плана и поперечного разреза зрительного зала выполняют с целью исследования времени поступления ранних отражений в зоны расположения зрительских мест при заданных положениях источника звука.

Допустимость применения геометрических отражений зависит от размеров отражающих поверхностей и длины звуковой волны. **Применение геометрических отражений считается допустимым, если наименьшая сторона отражателя не менее 1,5–2 м.**

Радиус действия прямого звука  $r_{пр}$  составляет: для речи 8–9 м, музыки – 10–12 м. На зрительские места в пределах  $r_{пр}$  усиление прямого звука с помощью направленных интенсивных отражений не требуется. Начиная с  $r_{пр}$  интенсивные первые отражения должны перекрывать всю зону зрительских мест. Если поверхность потолка или стен состоят из отдельных секций, конфигурацию членений следует выполнить так, чтобы отражения от соседних элементов перекрывали друг друга, не оставляя «мертвых зон», лишенных отраженного звука.

После завершения графического анализа чертежей и создания в зале оптимальной структуры ранних отражений не занятые для этой цели поверхности должны быть использованы для формирования диффузного звукового поля путем их эффективного расчленения различной формы звукорассеивающими элементами для создания рассеянного, ненаправленного отражения звука. Это достигается расчленением поверхностей балконами, пилястрами, нишами и т.п. неровностями.

Балконы, ложи, скошенные стены повышают диффузность звукового поля на низких частотах, а применяемые в архитектурной практике пилястры – в основном в области средних и высоких частот.

Лучевой эскиз позволяет дать оценку этому явлению. Если расстояние от источника звука  $q$  (рис. 28) до слушателя  $N$  превышает 8 м, необходим, кроме прямого звука, приход в эту точку малозапаздывающего первого отражения. Рекомендуется задержка прихода последнего в искомую точку не более, чем на 20 мс, что соответствует разности хода (около 7 м) прямого  $q$   $N$  и отраженного от поверхности  $q \cdot K + K \cdot N$  звуков. Допускается разница ходов прямого и отраженного звуков  $(q \cdot K + KN - q \cdot N)$  равная 10 м (30 мс) [1].

Для оценки времени запаздывания первых отражений от поверхности стен и потолка используется метод мнимых источников (рис. 28). Чтобы построить мнимый источник, необходимо опустить перпендикуляр к отражающей поверхности и на его продолжении построить отрезок  $qP = q'P$ .

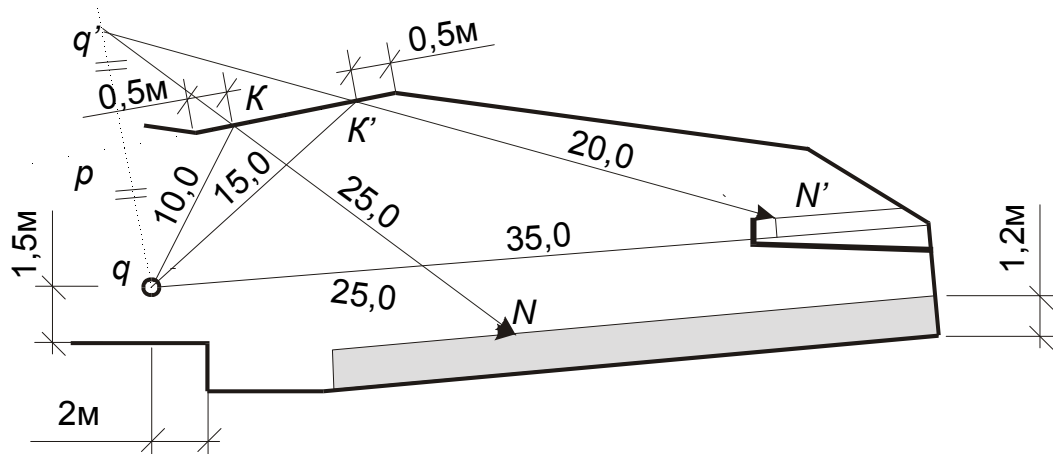


Рис. 28. Построение геометрических отражений методом построения звукового луча из мнимого источника

Прямые, проведенные из мнимого источника т.  $q'$ , будут являться искомыми отраженными лучами от действительного источника т.  $q$ . Аналогичным образом поступают в случае криволинейных поверхностей, отступив 0,5 м от края звукоотражающего экрана.

Размеры, форма и очертания поверхностей (потолок, боковые стены, балконы, специальные звукоотражатели) залов и аудиторий должны способствовать равномерному распределению ранних интенсивных отражений по зоне зрительских мест, повышению диффузности звукового поля и исключать возможность возникновения концентрации звуковых отражений (особенно поздних).

Плоская горизонтальная форма потолка является оптимальной. Отражения звука от потолка в случае расположения источника на авансцене (рис. 29) будут попадать на зрительские места удаленной половины зала (так называемые ранние отражения), частично – на вертикальную заднюю стену, время запаздывания которых  $\Delta t_4 > 30$  мс. Эти отражения создают отчетливое эхо – повторы речи, музыкальных фраз. Такие поверхности следует выполнять из эффективного звукопоглощающего материала.

При перемещении источника звука вглубь сцены портал препятствует приходу отражений в ближнюю половину зрительских мест. При этом слабый по мощности звук вызовет повышенный шум публики в этой части зала, что повлечет за собой снижение разборчивости звука в удаленной половине помещения. Распределить отражения передней части потолка в направлении наиболее удаленных мест можно с помощью специального отражателя, укрепленного над эстрадой или авансценой. Форма отражателя (рис. 30) должна иметь выпуклое очертание с большим радиусом кривизны,

что обеспечит одинаково рассеянное отражение независимо от места отражения источника звука на сцене.

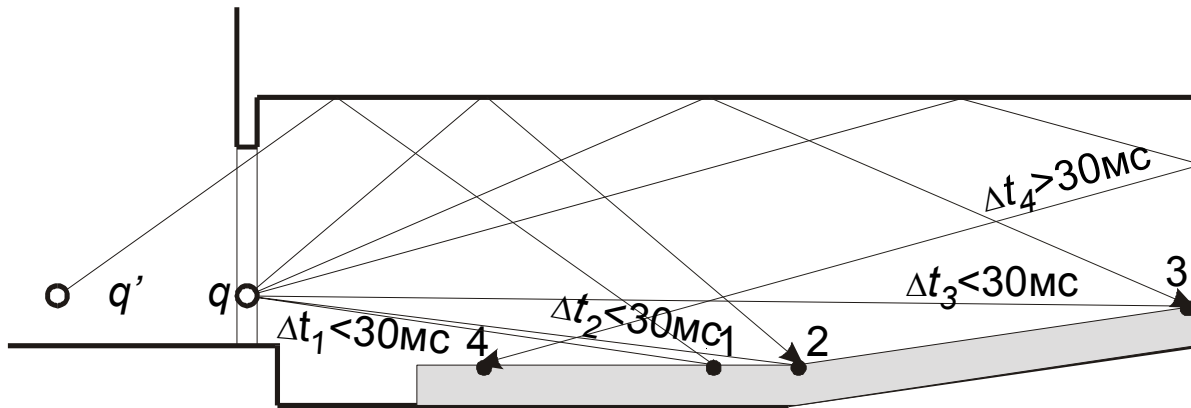


Рис. 29. Отражение от горизонтального потолка

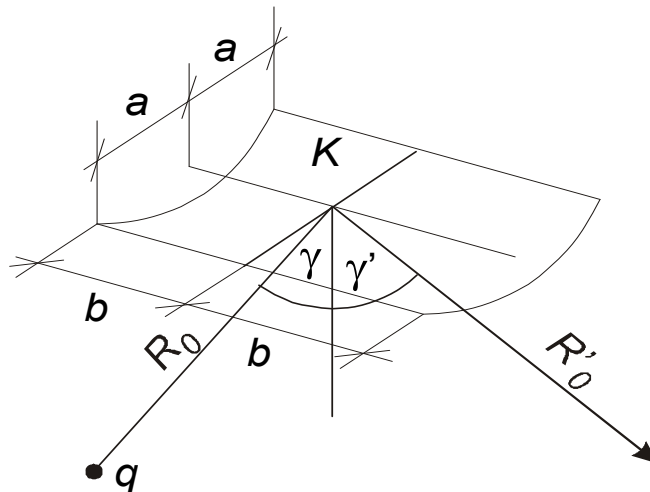


Рис. 30. Построение лучевого эскиза от выпуклого отражателя шириной  $2a$  и длиной  $2b$

Материалом отражателя может быть железобетон, штукатурка по металлической сетке, дерево или иной конструкционный материал с коэффициентом звукопоглощения не более 0,1 и поверхностной плотностью не менее  $20 \text{ кг/м}^2$ . Малая сторона отражателя должна не менее чем в 1,5 раза превышать длину волны по крайней мере на частотах 300–400 Гц [1].

На рис. 31 отражающая поверхность имеет выпуклую форму. Отражение звуковой волны – в т.  $K$ , находящейся на продольной оси зрительного зала. Расстояние от источника звука до т.  $K$  –  $R_0$ , от т.  $K$  до т.  $N$  –  $R'_0$ ;  $\square$  и  $\gamma'_1$  – углы падения и отражения равны между собой.

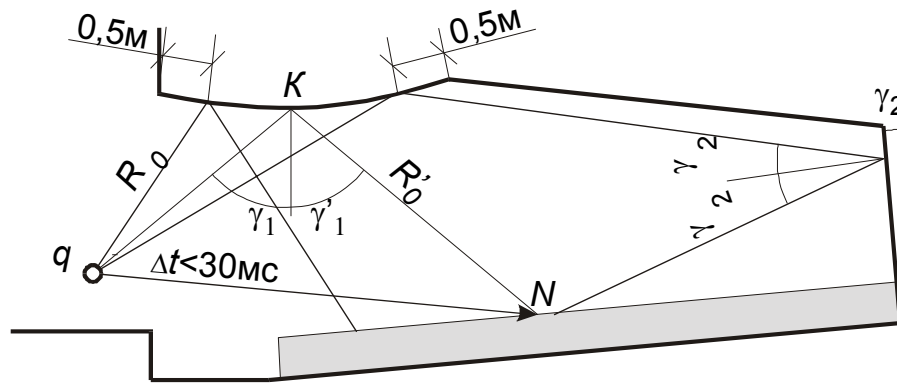


Рис. 31. Распределение отражений выпуклой поверхностью потолка и наклонной плоскостью стены

Если ввести безразмерные величины

$$u = a \cdot \cos \gamma_1 \cdot \sqrt{\frac{2}{\lambda} \cdot \left( \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R'_0} \right)}; \quad (44)$$

$$w = b \cdot \sqrt{\frac{2}{\lambda} \cdot \left( \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R'_0} \right)}, \quad (45)$$

то абсолютное отклонение фактического уровня звукового давления в т. О от уровня, соответствующего строго геометрическому отражению, можно рассчитать по формуле (4), приведенной ниже.

$$\Delta L = 4,4 \cdot \left( \frac{1}{u} + \frac{1}{w} \right). \quad (16)$$

Если  $\Delta L < 5$  дБ, то применение геометрических отражений для оценки отражения звуковых волн в помещении вполне допустимо.

Хорошее распределение звуковых отражений дает правильное расчленение потока секциями (рис. 32, а, б, в). При этом секции в зависимости от формы, размеров, расположения отражателя по отношению к источнику звука должны направлять звуковые лучи таким образом на зрительные места, чтобы они перекрывали друг друга, а запаздывания с приходом отражений к слушателю не превышали критического интервала 20–30 мс.

Полезным оказывается использование наклонной поверхности задней части потолка (рис. 32, г). Такой прием позволяет улучшить слышимость на задних рядах зала.

Размещение поверхностей, отделочные материалы которых имеют коэффициент звукопоглощения  $\alpha > 0,2$ , должно быть сделано в соответствии с их ролью в формировании диффузного звукового поля. От одних участков к слушателям приходят звуковые волны после одного отражения, от других – после двукратного и более. В первом случае волны приходят с небольшим запазданием по сравнению с прямой волной и с уменьшенной амплитудой

колебания за счет первого поглощения отражающей поверхностью. В другом – время запаздывания значительно увеличивается с одновременным уменьшением энергии (значительными).

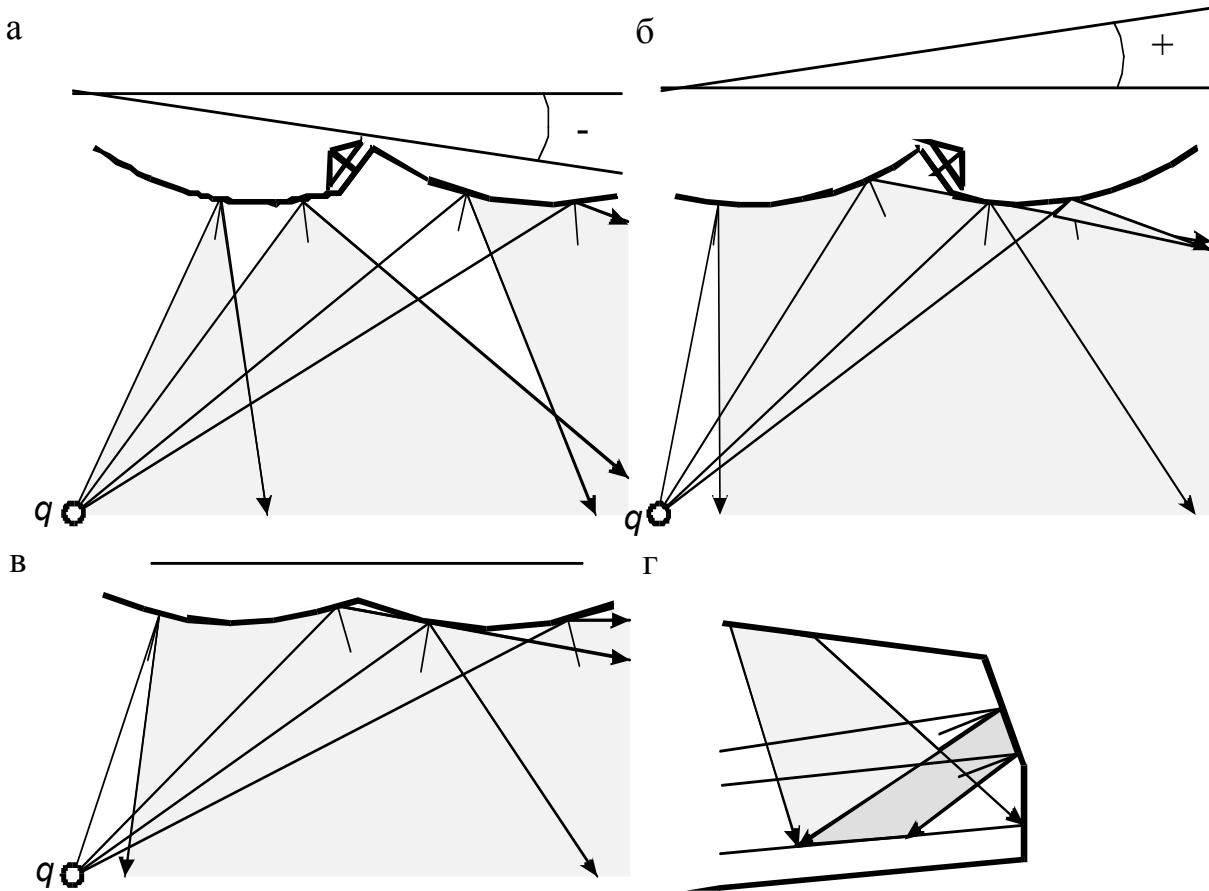


Рис. 32. Распределение отражений при расчленении поверхности:  
 а – потолка, выпуклыми секциями при отрицательных углах наклона;  
 б – то же, при положительных углах; в – то же, при нулевых углах;  
 г – потолка и стены

На рис. 33, а показано построение такого участка на горизонтальном плоском потолке. Из мнимого источника  $q'$  проводятся лучи к вершинам участка со слушателями. При этом на пересечении этих лучей с плоскостью потолка выявляются 4 точки:  $a'$ ,  $b'$ ,  $c'$ ,  $d'$  – вертикальные проекции четырехугольника  $abcd$ , являющегося площадкой первых отражений на поверхности потолка при положении источника звука в точке  $q$ . Следует отметить, что положение источника – крайняя левая возможная точка. Мысленно переместив ее в противоположное положение относительно центральной продольной оси  $q_1$ , можно представить границы участка первых отражений на потолке.

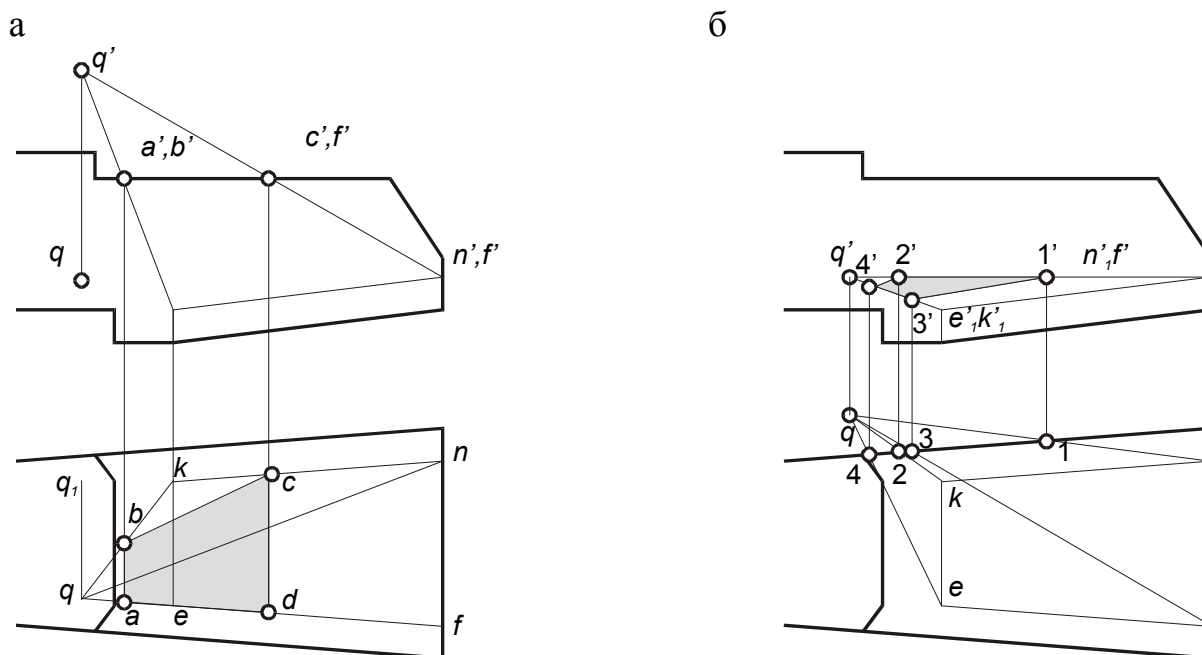


Рис.33. Построение площадок первых отражений:  
а – на поверхности потолка; б – на поверхности стен

Аналогично находится участок первых отражений на боковой поверхности стен (рис. 14,б).

**Реверберацией** называется процесс медленного «замирания» звука в закрытых помещениях после выключения его источника. Воздушный объем зала представляет собой колебательную систему с большим числом собственных частот. Каждое из собственных колебаний имеет свой коэффициент затухания, зависящий от поглощения и отражения звука внутренними поверхностями, а также от частоты.

Отраженные от поверхности волны суммируются с прямыми, следствием чего является лавинное нарастание интенсивности звука в помещении. Процесс нарастания мог бы продолжаться до бесконечности, не будь частичного поглощения энергии падающих волн теми же поверхностями и вязкое трение воздушной среды.

В результате наступает акустическое равновесие, которое нарушается тотчас же после отключения источника звука. Однако звуковые волны затихают не сразу. Время, в течение которого в помещении сохраняется остаточное звучание, называется **временем реверберации**.

Время реверберации оказывает большое влияние на качество звучания. Малое время реверберации делает звук сухим и безжизненным, а музыку – невыразительной, требующей от исполнителя повышенной громкости исполнения. При большом времени реверберации звук становится бубнящим, неразборчивым, а музыка – гудящей и превращается в дисгармоничную смесь звуков.

Оптимальное время реверберации установлено экспериментальными исследованиями залов различного объема в зависимости от характера звуков (рис. 34).

Время реверберации рассматривается как многопараметрическая функция, определяемая не только объемом помещения  $V$ , площадью ограничивающих поверхностей  $S_i$  с соответствующими коэффициентами звукопоглощения  $\alpha_i$ , но и начальной плотностью звуковой энергии  $P_0$ . Очевидно, что чем больше значение этой величины, тем больше требуется времени для затухания до фонового уровня звукового давления.

Для того чтобы реверберационный процесс характеризовал только акустические свойства помещения вне зависимости от величины излучаемой источником звуковой энергии, пользуются понятием оптимального времени реверберации [1, 12, 15], которое сравнивается с расчетным.

Для проверки допустимости применения в расчетах методов статистической акустики (метод У. Сэбина) в нормируемом диапазоне частот следует рассчитать т.н. критическую частоту  $f_{кр}$ , Гц, выше которой наблюдается достаточное количество собственных частот (мод) воздушного объема по формуле

$$f_{кр} = 125 \cdot \sqrt[3]{180/V}. \quad (47)$$

Если расчет показал, что  $f_{кр} \leq 125$  Гц, то время реверберации в секундах следует определять в шести октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Гц по следующим выражениям:

- в диапазоне 125–1000 Гц по формуле

$$T = \frac{0,163 \cdot V}{S_{общ} \cdot \ln(1 - \bar{\alpha})} = \frac{0,163 \cdot V}{S_{общ} \cdot \varphi(\bar{\alpha})}; \quad (48)$$

- в диапазоне частот 2000–4000 Гц по формуле:

$$T = \frac{0,163 \cdot V}{S_{общ} \cdot \ln(1 - \bar{\alpha}) + m_v \cdot V} = \frac{0,163 \cdot V}{S_{общ} \cdot \varphi(\bar{\alpha}) + m_v \cdot V}, \quad (49)$$

где  $\bar{\alpha} = \alpha_1 \frac{S_1}{S_{общ}} + \alpha_2 \frac{S_2}{S_{общ}} + \dots + \alpha_n \frac{S_n}{S_{общ}}$  – средний коэффициент зву-

копоглощения из числа  $i$  поверхностей отражения (поглощения) звука в зрительном зале. Коэффициенты звукопоглощения  $\alpha_i$  наиболее распространенных в строительной практике материалов приведены в прил. 13;

$m_v$  – коэффициент затухания звука в воздухе в зависимости от относительной влажности [1].

Для практических целей вычисление времени реверберации свыше 4000 Гц не проводится, так как поглощение в воздухе становится большим, что



исключает возможность регулирования времени реверберации за счет изменения общего звукопоглощения ограждающих поверхностей.

Оптимальные значения времени реверберации в области средних частот 500–1000 Гц для залов различного назначения приведены на соответствующей номограмме [1, 12, 15]. Допустимое отклонение от приведенных величин проверяется на соответствующих графиках по коридору отклонений в  $\pm 10\%$ . Кроме того, в октавной полосе 125 Гц допускается превышение времени реверберации, но не более чем на 20 %.

Если  $f_{кр} > 125$  Гц, то результат, полученной по вышеуказанной формуле для частоты 125 Гц, следует считать ориентировочным.

Как видно из рис. 34, с увеличением объема зрительного зала время реверберации увеличивается. Залы, где первостепенное значение имеют четкость и разборчивость речи, должны иметь меньшее значение времени реверберации, в сравнении с залами для прослушивания музыкальных программ.

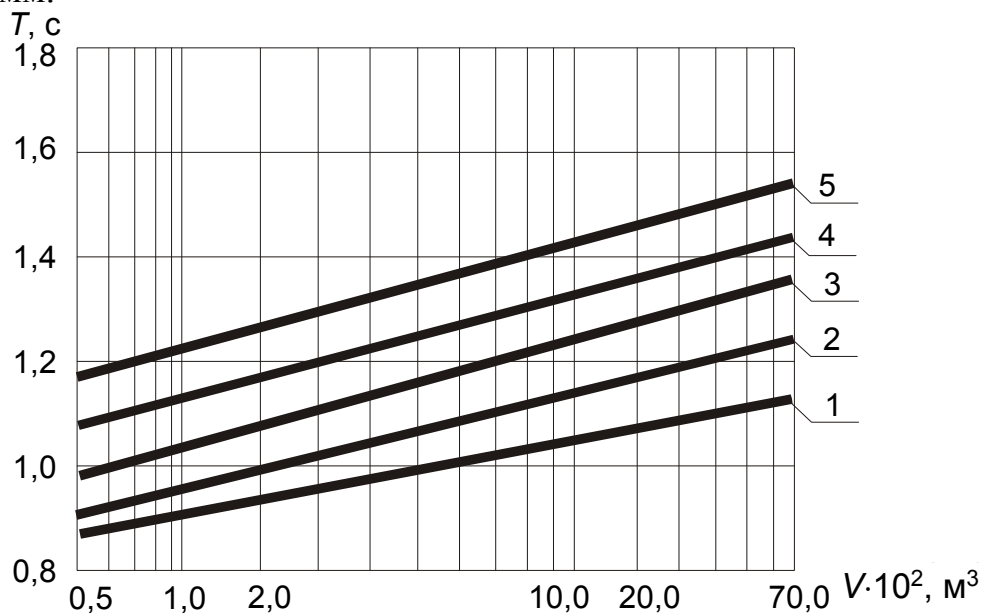


Рис. 34. Рекомендуемое время реверберации для залов различного назначения в зависимости от объема на частотах 500–4000 Гц:

- 1 – лекционные залы; 2 – залы драматических театров, залов многоцелевого назначения; 3 – концертные залы, залы оперы и балета;
- 4 – спортивные залы; 5 – кинотеатр

## 9. РАЗРАБОТКА ЦВЕТОВОГО РЕШЕНИЯ ИНТЕРЬЕРА ЗРИТЕЛЬНОГО ЗАЛА

Вместе с решением задачи проектирования естественной акустики зала обязательным условием для архитектора является правильное оформление интерьера зала.

В курсовой работе предлагается разработать цветовое решение зрительного зала. При подборе цветов нельзя подходить только технически, так как с помощью техники художественно оформить помещение невозможно. При цветовом оформлении зрительного зала необходимо учитывать, что каждому цвету свойственна своя эмоциональная функция. Цвета могут создавать впечатление лёгкости, высоты, тяжести, широты, создавать веселые и грустные настроения.

В целом, для учреждений культуры в качестве доминирующего цвета можно рекомендовать светлую гамму желтых цветов: желтовато-зелёный – желтый – желтовато-оранжевый. В комбинации с синим цветом (особенно декоративных тканей) эти цвета производят приятное впечатление. В то время, как большие желтые поверхности оказывают оживляющее, активизирующее воздействие и создают радостно-праздничное настроение, синий цвет призывает к сдержанности. Если желтый цвет сопровождается красным, то помещение производит праздничное и очень привлекательное впечатление.

Сочетание желтого цвета с красным и красного с синим наиболее активизирующее. Но эти сочетания цветов становятся тем менее действенными, чем меньше степень их насыщенности и чем больше они приближаются к серому цвету.

Для освещения целесообразно применять рассеянный свет теплого тона.

Цвета в интерьере театрального зала, будучи нейтральными, способствуют установлению контакта зрителя со сценой.

При цветовом решении театрального зала должна быть создана атмосфера, способствующая наиболее полному восприятию представления интеллектуально и эмоционально. Психическая напряженность у зрителя должна получить своё разрешение в воздействии цветов, использованных в оформлении зала. Этого можно достичь таким сочетанием красок, при котором ослабление тонов сменяется их усилением, т.е. когда цветовое оформление привлекает внимание зрителя к сцене.

Стены и потолки в театральном зале должны быть не просто раскрашенными поверхностями, а сочетанием форм, которое создает подъём настроения. Потолок, сливаясь со стенами и сценой, способствует полной связи и общению зрителя со сценой. Чтобы цветовым способом решать эти задачи, динамически создать переход тёплых тонов в холодные, приглушение контрастов и т.п., цвета должны быть резкими, а динамичность их сочетаний на должна приводить к ощущению неуверенности в зале.

В зале кинотеатра цвета должны активно охватить зрителя. Цветовое оформление кинозала воспринимается недолго. Когда выключается свет и начинается просмотр фильма, цвета, в которые окрашены стены, должны способствовать переключению внимания на экран. Применяя цветовое освещение, возможно создать чередование красочных эффектов.

Если в театре и кино цветовое оформление должно учитывать разнообразие спектаклей и фильмов, то в концертном зале посетителю предлагается только музыка, которую зритель слушает в освещенном зале. Концертный зал должен быть окрашен в нейтральные тона, так как сама музыка богата красками. Но белый цвет обычно утомляет слушателя. Фон для музыки должен быть конкретным. Можно считать, что в концертном зале в оформлении фона, перед которым расположен оркестр, более применима нейтральная «золотая» окраска, чем сплошной белый цвет. Но есть лучший цвет – синий, особенно когда он контрастирует с золотом. Для восприятия музыки это оформление лучше, чем сочетание красного с золотом или белый цвет, вызывающий скуку.

## 10. ПРИМЕР АКУСТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КОНЦЕРТНОГО ЗАЛА ВМЕСТИМОСТЬЮ $N = 325$ МЕСТ

В соответствии с принятой методикой проектирование зала ведется в несколько этапов.

### 10.1. Определение базовых размеров зала

Оптимальный объем воздуха на одного зрителя принимается  $V_T = 8 \text{ м}^3$ ;  
Требуемый объем зала

$$V = V_T \cdot N = 8 \cdot 325 = 2600 \text{ м}^3.$$

Расчет основных размеров зала производится через модуль «золотого сечения» линейных размеров, который определяется по формуле (43):

$$X = \frac{\sqrt[3]{2600}}{4,94} = 2,78 \text{ м.}$$

Средние размеры зала могут быть назначены в соответствии с пропорцией 3:5:8 (высота 8 м, ширина 14 м, глубина 23 м).

### 10.2. Задача построения профиля размещения зрительских мест

Задача решается одним из двух предлагаемых вариантов: по отрезкам ломаной линии либо по кривой наименьшего подъема [15].

В первом приближении форму зала (по продольному разрезу) можно принять за правильный параллелепипед (рис. 35), что в дальнейшем дает возможность вносить изменения отдельно для стен, потолка с целью выбора оптимального варианта.

Рекомендации, изложенные в [15], позволяют рассчитывать параметры зрительного зала.

Зал оборудуется сценой типа С-1 (согласно табл. 14); расчетная точка (р.т.), видимая зрителями как первого, так и последнего рядов, находится в двух метрах от края стены на высоте 1,5 м. Эта точка будет одновременно служить началом координатной плоскости  $X-Y$ .

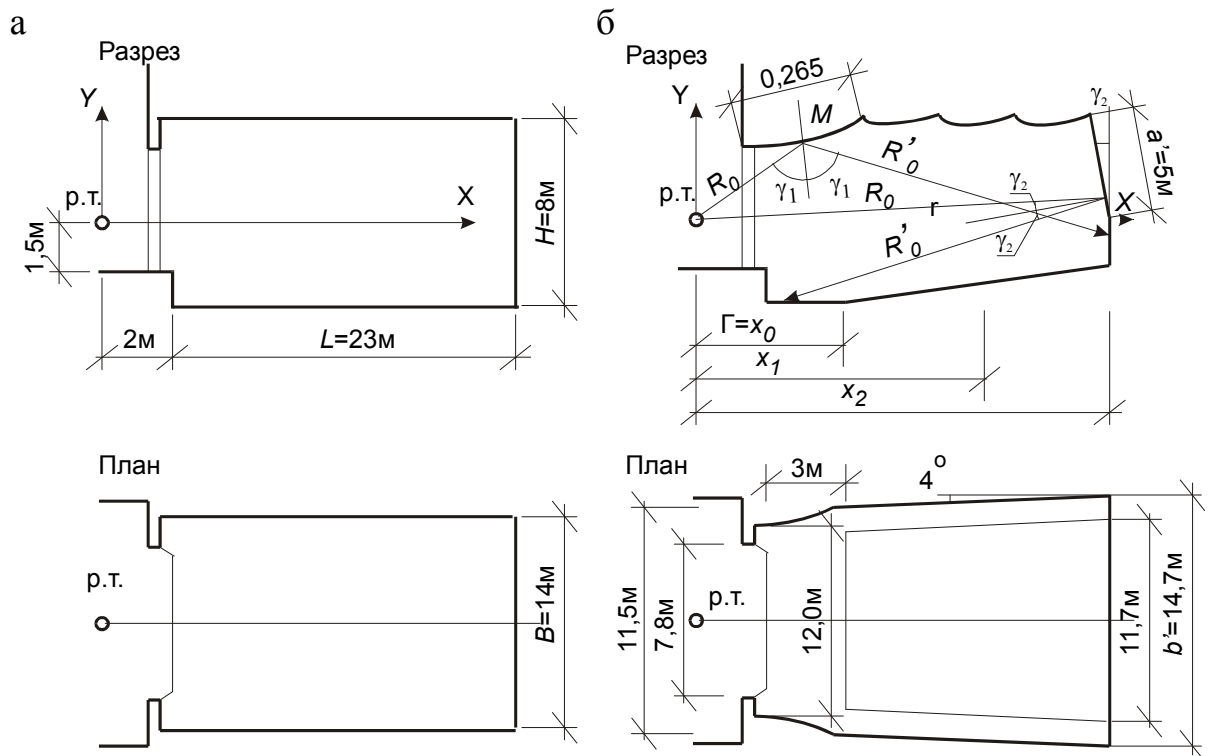


Рис. 35. Этапы проектирования зрительного зала:  
 а – определение базовых размеров зала по формуле (43);  
 б – уточнение размеров и формы поверхностей зала согласно п. 10.2

Превышение луча зрения, направленного на расчетную точку наблюдения над уровнем глаз впереди сидящего зрителя, следует принять  $C = 0,14$  м, глубину ряда  $d = 0,95$  м, расстояние до первого ряда зрительских мест от обреза сцены – 3 м.

Общая высота

$$H_1 = (y_2 - y_1) + (y_1 - y_0) = y_2 - y_0 = 1,878 \text{ м.}$$

Высота подступёнок первого ряда:

- на первом отрезке

$$r_1 = \frac{-0,596 + 1,3}{9} = 0,078 \text{ м;}$$

- на втором отрезке

$$r_2 = \frac{1,282 + 0,596}{11} = 0,171 \text{ м.}$$

Форму и размеры ступеней в боковых проходах можно принять равными  $r_1$  и  $r_2$  при  $d = 0,95$ , что согласуется с нормальными условиями движения по наклонной вверх и вниз.

Расчет мест в зрительном зале выполняют согласно [14, 15], предусматривая два эвакуационных прохода по 1,5 м шириной вдоль продольной оси

зала. Ширину и глубину кресел назначают равными соответственно 0,65 и 0,5 м.

В целях улучшения акустических качеств зала можно отклонить продольные стены на  $4^\circ$  от параллельной линии [1]; задней торцовой стене придать наклон в сторону зала  $\alpha_1 = 26,5^\circ$  (см. рис. 35).

Таким образом, окончательно принимают: размеры зала у задней стены – 14,7 м; у портала 11,45 м (осредненная ширина – 13,078 м); высоту – 7,36 м; глубину зала – 23 м.

Осредненное количество кресел в ряду принимают

$$m = \frac{11,7 + 7,8}{2 \cdot 0,65} = 15 \text{ мест.}$$

Тогда общее количество кресел в зале

$$N = 21 \cdot 15 = 315 \text{ мест.}$$

При назначении средних размеров зала объем воздуха на одного зрителя составит:

$$V_1 = \frac{23 \cdot 13,078 \cdot 7,36}{325} = 6,81 \text{ м}^3.$$

Назначенные размеры зала удовлетворяют требованиям [12], а разница количества мест устраняется путем устройства дополнительного нулевого ряда из 10 кресел.

### 10.3. Проверка допустимости применения геометрических отражений для построения лучевых эскизов

Радиус кривизны покрытия над сценой более чем в два раза превосходит принимаемую для расчета и графического построения длину звуковой волны  $\lambda = 1$  м, наименьшая его сторона  $2a' = 5,3$  м значительно превышает  $\lambda$ , что свидетельствует о корректности подхода.

Исходные данные (см. рис. 35):

$$R_p = 7 \text{ м}; R = 14,3 \text{ м}; \gamma_1 = 43^\circ; a = 2,65 \text{ м}; b' = 5,7 \text{ м}; \lambda = 1 \text{ м.}$$

Расчетные значения  $u$  и  $w$  определяют по формулам (2) и (3):

$$u = 2,65 \cdot 0,729 \cdot \sqrt{2 \cdot \left( \frac{1}{7} + \frac{1}{43} \right)} = 1,26;$$

$$w = 12 \cdot \sqrt{\frac{2}{1} \cdot \left( \frac{1}{7} + \frac{1}{43} \right)} = 6,71.$$

Отклонение геометрического отражения в т.  $M$  составит по формуле (46):

$$\Delta L = 4,4 \cdot \left( \frac{1}{1,26} + \frac{1}{6,71} \right) = 3,49 \text{ дБ.}$$

Аналогично для наклонного участка потолка:

$$R_0 = 23,1 \text{ м; } R_0' = 5,2 \text{ м; } \gamma_2 = 19,6^\circ; a' = 5,0 \text{ м; } b' = 14,7 \text{ м.}$$

$$u = 5,0 \cdot 0,942 \cdot \sqrt{2 \cdot \left( \frac{1}{23,1} + \frac{1}{5,2} \right)} = 3,23;$$

$$w = 14,7 \cdot \sqrt{\frac{2}{1} \cdot \left( \frac{1}{23,1} + \frac{1}{5,2} \right)} = 10,08;$$

$$\Delta L = 4,4 \cdot \left( \frac{1}{3,23} + \frac{1}{10,08} \right) = 1,8 \text{ дБ.}$$

Таким образом, для отражателя над сценой и для наклонного участка потолка  $\Delta\lambda$  не превышает 5 дБ и применение метода геометрических отражений допустимо.

#### 10.4. Подсчет площадей внутренних поверхностей зала

Площадь задней стены – 108,2 м<sup>2</sup>;

Площадь боковых стен – 338,56 м<sup>2</sup>;

Площадь пола – 300,7 м<sup>2</sup>;

Площадь пола, не занятого креслами, – 81,3 м<sup>2</sup>;

Площадь поверхности потолка – 340 м<sup>2</sup>;

Площадь открытого проема сцены – 71 м<sup>2</sup>.

#### 10.5. Расчет времени реверберации

Рекомендуемое время реверберации для концертного зала объемом 2210,35 м<sup>3</sup> составляет на частотах 500–1000 Гц  $T_p = 1,25$  с; на частоте 125 Гц допускается увеличение времени реверберации на 20 % [1] и принимается  $T_p = 1,5$  с.

Для частот 125, 500, 2000 Гц рассчитываем средний коэффициент звукопоглощения  $\bar{\alpha}$  и общую эквивалентную площадь звукопоглощения (ЭПЗ) зала по формулам (48) и (49):

– на частоте 125 Гц

$$\varphi(\bar{\alpha}) = 0,226; \bar{\alpha} = 0,203; A_{\text{общ}} = 190,64 \text{ м}^2;$$

– на частоте 500 Гц

$$\varphi(\bar{\alpha}) = 0,3; \bar{\alpha} = 0,26; A_{\text{общ}} = 244,17 \text{ м}^2;$$

– на частоте 2000 Гц

$$\varphi(\bar{\alpha}) = 0,284; \bar{\alpha} = 0,245; A_{\text{общ}} = 230 \text{ м}^2.$$

Таким образом, ЭПЗ зала при 70 % заполнения и предполагаемой отделке незначительно, в пределах 10 %, отличается от рекомендуемой, а поэтому может быть принята в качестве базового варианта (табл. 16).

Определение времени реверберации на расчетных частотах:

– на частоте 125 Гц

$$\bar{\alpha} = 0,22; \varphi(\bar{\alpha}) = 0,25; T = 1,53 \text{ с};$$

– на частоте 250 Гц

$$\bar{\alpha} = 0,272; \varphi(\bar{\alpha}) = 0,325; T = 1,18 \text{ с};$$

– на частоте 500 Гц

$$\bar{\alpha} = 0,289; \varphi(\bar{\alpha}) = 0,341; T = 1,13 \text{ с};$$

– на частоте 1000 Гц

$$\bar{\alpha} = 0,29; \varphi(\bar{\alpha}) = 0,34; T = 1,128 \text{ с};$$

– на частоте 2000 Гц

$$\bar{\alpha} = 0,26; \varphi(\bar{\alpha}) = 0,3; T = 1,2 \text{ с};$$

– на частоте 4000 Гц

$$\bar{\alpha} = 0,23; \varphi(\bar{\alpha}) = 0,26; T = 1,36 \text{ с}.$$

Для анализа полученных данных строим графики, на которых заштрихованная область – зона допустимых отклонений расчетных значений от оптимального времени реверберации

Расчетные значения времени реверберации существенно отличаются от рекомендуемых значений. Для исправления необходима корректировка п. 3 табл. 17 в соотношении звукоотражающих – звукопоглощающих материалов интерьера. В соответствии с этим вносятся изменения величин эквивалентной площади звукопоглощения (пп. 7, 9, 11 табл. 17).



Таблица 16

№ п/п	Наименование поверхностей	S, м <sup>2</sup>	125 Гц		250 Гц		500 Гц		1000 Гц		2000 Гц		4000 Гц	
			α	α×S	α	α×S	α	α×S	α	α×S	α	α×S	α	α×S
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Подвесной потолок (штукатурка)	340,0	0,04	13,6	0,05	17,0	0,06	20,4	0,08	27,2	0,04	13,6	0,06	20,4
2	Стены оштукатурены	338,56,9	0,01	3,4	0,01	3,4	0,02	6,8	0,02	6,8	0,02	6,8	0,02	6,8
3	Стены «Мелодия»	108,2	0,25	27,1	0,50	54,1	0,60	64,9	0,45	48,7	0,3	32,5	0,30	32,46
4	Пол паркетный	81,3	0,04	3,25	0,04	3,32	0,07	5,69	0,06	4,88	0,06	4,88	0,07	5,69
5	Проем сцены	71,0	0,2	14,2	0,30	21,3	0,30	21,3	0,3	21,3	0,3	21,3	0,30	21,3
6	Добавочное звукопоглощение	939,1	0,09	84,5	0,09	84,5	0,05	46,95	0,05	46,95	0,05	46,95	0,022	20,66
7	Зрители в полумягких креслах, (70 %)	228,0	0,25	57,0	0,3	68,4	0,4	91,2	0,45	102,6	0,45	102,6	0,4	91,2
8	Свободные полумягкие кресла	97,0	0,08	7,76	0,1	9,7	0,15	14,55	0,15	14,55	0,2	19,4	0,2	19,4
	A <sub>общ</sub> (70 %)			210,81		261,7		271,79		272,98		248,03		217,9
9	Зрители в полумягких креслах (50 %)	163	0,25	47,5	0,3	48,9	0,4	65,2	0,45	73,35	0,45	73,35	0,4	65,2
	A <sub>общ</sub> (50 %)							255,69						
10	Зрители в полумягких креслах (100 %)	335	0,25	83,75	0,3	100,5	0,4	134	0,45	150,75	0,45	150,75	0,4	134,0
	A <sub>общ</sub> (100 %)							300						

Таблица 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Стены, закрытые ПА/Д гладкими с воздушной прослойкой 100 мм	108,2	0,25	27,05	0,4	43,28	0,2	21,53
	$A_{\text{общ}}$ , м <sup>2</sup> при 70 % заполнении			210,81		250,88		228,53
	$A_{\text{общ}}$ , м <sup>2</sup> при 50 % заполнении					234,07		
	$A_{\text{общ}}$ , м <sup>2</sup> при 100 % заполнении					278,42		

При 70 % заполнения зала время реверберации имеет значения 1,51 с, 1,238 с, 1,38 с на частотах 125, 250, 500 Гц (рис. 36, пунктирная линия). На частоте 500 Гц (рис. 37, пунктирная линия) время реверберации при 50 и 100 % заполнения зала зрителями составит соответственно 1,3 с и 1,0 с.

$T$ , с

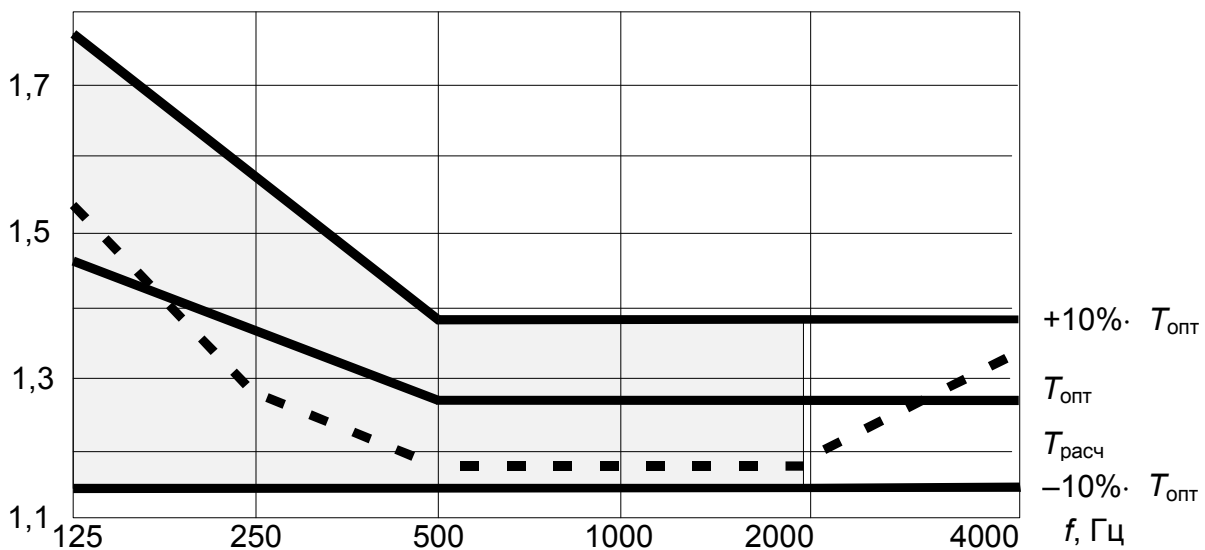


Рис. 36. График зависимости времени реверберации от частоты  $T$ , с

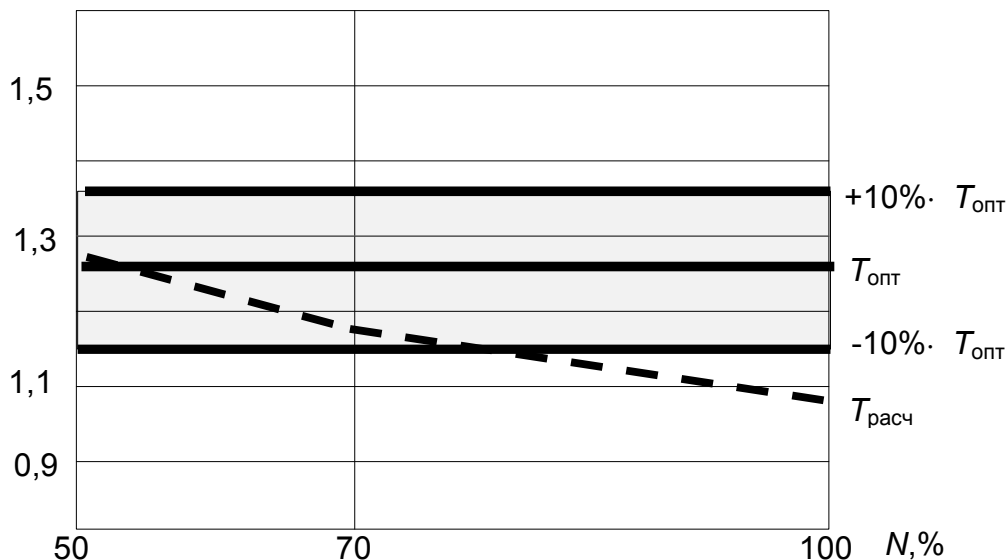


Рис. 37. График зависимости времени реверберации от заполнения зала  
 Таким образом, результаты сравнения расчетных и нормативных значений времени реверберации указывают на правильный выбор материалов интерьера, формы зала и отдельных конструкций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем учебном издании систематизирована информация о методах анализа климата и возможности использования его особенностей при разработке архитектурно-строительной части проектов зданий и проектировании застройки населенных мест. Климатический анализ нужно рассматривать как метод обоснования принимаемых архитектурных и инженерных решений. В пособии доступно изложена методика решения естественной акустики зрительных помещений, что актуально при проектировании современных залов различного назначения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архитектурная физика [Текст] / под ред. Н.В. Оболенского – М.: Стройиздат, 2003-2003-с.286-430.
2. Михеев А. П. Проектирование зданий и застройки населенных мест с учетом климата и энергосбережения [Текст] / А.П. Михеев, А.М. Береговой, Л.Н. Петрянина. – М: АСВ, 2002.
3. Холщевников В.В. Климат местности и микроклимат помещений [Текст] / В.В. Холщевников, А.В. Луков – М.: АСВ, 2001.
4. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата помещений [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2013.
5. ГОСТ 11214-2003. Блоки оконные деревянные с листовым остеклением [Текст]. – М.: Госстрой России, ФГУП ЦТП, 2014.
6. ГОСТ 30674-99. Блоки оконные из поливинилхлоридных профилей. Технические условия [Текст]. – ГУП ЦТП, 2000.
7. СанПиН 2.2.1/2.1.11278-03. Санитарные правила и нормы. (Гигиенические требования к естественному, искусственному освещению жилых и общественных зданий) [Текст]. – М.: МИЭЭ, 2003.
8. СП 131.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\* Строительная климатология [Текст]. – М.: Минрегион России, 2010.
9. СП 50.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий [Текст]. – М.: Минрегион России, 2012
10. СП 42.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89\*. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений [Текст]. – М.: Минрегион России, 2012.
11. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика [Текст]. – М.: Стройиздат, 1983.
12. СП 51.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» [Текст]. – М.: Минрегион России, 2010.
13. Ковригин С.Д. Архитектурно-строительная акустика [Текст] / С.Д. Ковригин, С.И. Крышов. – М: Высшая школа, 1986. – С. 237-242.
14. СНиП 21-01-97\*. Пожарная безопасность зданий и сооружений [Текст]. – М.: Стройиздат, 1989. – С.25-31.
15. Архитектура гражданских и промышленных зданий [Текст]/ под ред. А.В. Захарова. – М.: Стройиздат, 1933. – С.178-181.
16. ТСН 31-317-99. Культурно-зрелищные сооружения. Нормы проектирования [Текст]. – М.: Госгражданстрой, 2000.
17. Михеев А.П. Климат и архитектурно-строительное проектирование [Текст]/ А.П. Михеев, О.В. Карпова, Л.Н.Петрянина. – Пенза, ПГУАС, 2006.
18. Разживин В.М. Проектирование залов с естественной акустикой [Текст]/ В.М. Разживин, О.Л. Викторова, Л.Н. Петрянина. – Пенза, ПГУАС, 2003.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

### Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С

Республика, край, область, пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Го- до- вая
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ</b>													
Майкоп	-1,4	0,3	4,1	11,3	16,5	19,7	22,2	21,9	17,1	11,2	6,2	1,4	10,9
Барнаул	-17,5	-16,1	-9,1	2,1	11,4	17,7	19,8	16,9	10,8	2,5	-7,9	-15,0	1,3
Благовещенск	-24,1	-18,7	-9,1	2,7	11,1	17,9	21,4	19,1	12,2	2,2	-11,5	-21,8	0,1
Архангельск	-12,9	-12,5	-8,0	-0,9	6,0	12,4	15,6	13,6	7,9	1,5	-4,1	-9,5	0,8
Астрахань	-6,7	-5,6	0,4	9,9	18,0	22,8	25,3	23,6	17,3	9,6	2,4	-3,2	9,5
Уфа	-14,9	-13,7	-6,7	4,4	13,3	17,3	18,9	16,8	11,1	2,8	-5,1	-11,2	2,8
Белгород	-8,5	-6,4	-2,5	7,5	14,6	17,9	19,9	18,7	12,9	6,4	0,3	-4,5	6,4
Брянск	-9,1	-8,4	-3,2	5,9	12,8	16,7	18,1	16,9	11,5	5,0	-0,4	-5,2	5,1
Улан-Удэ	-24,8	-21,0	-10,2	1,1	8,7	16,0	19,3	16,4	8,7	-0,2	-12,4	-21,4	-1,7
Владимир	-11,1	-10,0	-4,3	4,9	12,2	16,6	17,9	16,4	10,7	3,7	-2,7	-7,5	3,9
Волгоград	-9,1	-7,6	-1,4	10,0	17,0	21,0	23,4	22,0	16,2	7,5	1,4	-4,2	8,0
Вологда	-12,6	-11,6	-5,9	2,3	9,6	14,9	16,8	15,0	9,1	2,5	-3,5	-8,9	2,3
Воронеж	-9,8	-9,6	-3,7	6,6	14,6	17,9	19,9	18,6	13,0	5,9	-0,6	-6,2	5,6
Махачкала	-0,5	0,2	3,5	9,4	16,3	21,5	24,6	24,1	19,4	13,4	7,2	2,6	11,8
Иваново	-11,9	-10,9	-5,1	4,1	11,4	15,8	17,6	15,8	10,1	3,5	-3,1	-8,1	3,3
Иркутск	-20,6	-18,1	-9,4	1,0	8,5	14,8	17,6	15,0	8,2	0,5	-10,4	-18,4	-0,9
Нальчик	-4,0	-2,8	1,8	9,5	15,4	19,1	21,6	21,0	16,0	9,4	3,8	-1,3	9,1
Калининград	-3,1	-2,5	0,6	6,2	11,6	15,2	17,3	16,7	13,0	7,8	2,9	-0,9	7,1
Элиста	-6,8	-6,2	-0,3	9,5	16,9	21,5	24,4	23,2	16,8	8,9	2,1	-2,9	8,9
Калуга	-10,1	-8,9	-3,9	4,8	12,3	16,2	18,0	16,5	11,0	4,7	-1,5	-6,5	4,4
Петропавловск- Камчатский	-7,5	-7,5	-4,8	-0,5	3,8	8,3	12,2	13,2	10,1	4,8	-1,7	-5,5	2,1
Петрозаводск	-11,1	-10,4	-5,4	1,3	7,6	13,6	15,7	14,1	8,9	2,9	-2,6	-7,2	2,3
Кемерово	-18,8	-16,9	-9,8	1,0	9,7	16,3	18,8	15,4	9,5	1,3	-9,6	-16,9	0,0
Вятка	-14,4	-12,9	-6,7	2,2	10,0	15,4	17,9	15,3	9,0	1,5	-5,7	-11,8	1,6
Сыктывкар	-15,6	-14,1	-7,7	1,0	7,6	14,0	16,7	14,0	7,8	0,3	-6,7	-12,9	0,4
Кострома	-11,8	-11,1	-5,3	3,2	10,9	15,5	17,8	16,1	10,0	3,2	-2,9	-8,7	3,1
Краснодар	-1,6	-0,6	4,3	11,3	17,0	20,7	23,3	22,7	17,6	11,4	5,6	1,1	11,1
Сочи	5,9	6,1	8,2	11,7	16,1	19,9	22,8	23,1	19,9	15,7	11,7	8,2	14,1
Красноярск	-18,2	-16,8	-7,8	2,6	9,4	16,6	19,1	15,7	9,4	1,5	-8,8	-16,3	0,5
Тура-Эвенкийс- кий АО	-36,5	-32,4	-19,5	-7,0	3,0	12,4	16,3	12,3	5,0	-6,8	-25,8	-33,5	-9,4
Липецк	-10,3	-9,5	-4,4	5,5	13,8	18,0	20,2	18,5	12,5	5,5	-1,5	-7,1	5,1
Санкт-Петер- бург	-7,8	-7,8	-3,9	3,1	9,8	15,0	17,8	16,0	10,9	4,9	-0,3	-5,0	4,4
Магадан (Нагае- ва бухта)	-17,0	-16,0	-12,6	-5,7	1,3	6,6	11,2	11,5	7,1	-2,4	-11,4	-15,0	-3,5

## Окончание прил 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Йошкар-Ола	-14,0	-12,9	-6,4	3,6	11,6	16,2	18,0	16,2	10,2	2,7	-4,3	-9,8	2,6	
Саранск	-12,3	-11,7	-5,9	4,8	13,1	17,3	19,2	17,7	11,6	4,1	-3,0	-8,7	3,9	
Москва	-10,2	-9,2	-4,3	4,4	11,9	16,0	18,1	16,3	10,7	4,3	-1,9	-7,3	4,1	
Мурманск	-10,5	-10,8	-6,9	-1,6	3,4	9,3	12,6	11,3	6,6	0,7	-4,2	-7,8	0,2	
Нижний Новгород	-	-11,8	-11,1	-5,0	4,2	12,0	16,4	18,4	16,9	11,0	3,6	-2,8	-8,9	3,6
Новгород														
Новгород	-8,7	-8,7	-4,3	3,3	10,4	15,2	17,3	15,4	10,3	4,2	-0,9	-5,9	4,0	
Новосибирск	-18,8	-17,3	-10,1	1,5	10,3	16,7	19,0	15,8	10,1	1,9	-9,2	-16,5	0,2	
Омск	-19,0	-17,6	-10,1	2,8	11,4	17,1	18,9	15,8	10,6	1,9	-8,5	-16,0	0,6	
Оренбург	-14,8	-14,2	-7,3	5,2	15,0	19,7	21,9	20,0	13,4	4,5	-4,0	-11,2	4,0	
Орел	-9,7	-8,8	-4,0	5,6	13,0	16,9	18,5	17,1	11,7	5,1	-0,9	-5,6	4,9	
Пенза	-12,2	-11,3	-5,6	4,9	13,5	17,6	19,6	18,0	11,9	4,4	-2,9	-9,1	4,2	
Пермь	-15,3	-13,4	-6,9	2,6	10,2	15,7	18,0	15,4	9,3	1,4	-6,3	-12,7	1,5	
Владивосток	-13,1	-9,8	-2,4	4,8	9,9	13,8	18,5	21,0	16,8	9,7	-0,3	-9,2	5,0	
Псков	-7,5	-7,5	-3,4	4,2	11,3	15,5	17,4	15,7	10,9	5,3	0,0	-4,5	4,8	
Ростов-на-Дону	-5,7	-4,8	0,6	9,4	16,2	20,2	23,0	22,1	16,3	9,2	2,5	-2,6	8,9	
Рязань	-11,0	-10,0	-4,7	5,2	12,9	17,3	18,5	17,2	11,6	4,4	-2,2	-7,0	4,3	
Самара	-13,5	-12,6	-5,8	5,8	14,3	18,6	20,4	19,0	12,8	4,2	-3,4	-9,6	4,2	
Саратов	-11,0	-11,4	-4,8	6,6	15,0	19,4	21,4	19,9	14,0	5,4	-2,0	-8,3	5,3	
Южно-Сахалинск	-13,7	-12,8	-6,6	1,3	6,7	11,2	15,6	16,9	12,9	6,0	-2,3	-9,1	2,2	
Екатеринбург	-15,5	-13,6	-6,9	2,7	10,0	15,1	17,2	14,9	9,2	1,2	-6,8	-13,1	1,2	
Владикавказ	-4,4	-3,0	1,4	9,0	14,2	17,6	19,9	19,3	14,8	8,7	3,1	-1,6	8,1	
Смоленск	-9,4	-8,4	-4,0	4,4	11,6	15,7	17,1	15,9	10,4	4,5	-1,0	-5,8	4,3	
Ставрополь	-3,2	-2,3	1,3	9,3	15,3	19,3	21,9	21,2	16,1	9,6	4,1	-0,5	9,1	
Тамбов	-10,9	-10,3	-4,6	6,0	14,1	18,1	19,8	18,6	12,5	5,2	-1,4	-7,3	5,0	
Казань	-13,5	-13,1	-6,5	3,7	12,4	17,0	19,1	17,5	11,2	3,4	-3,8	-10,4	3,1	
Тверь	-10,5	-9,4	-4,6	4,1	11,2	15,7	17,3	15,8	10,2	4,0	-1,8	-6,6	3,8	
Томск	-19,1	-16,9	-9,9	0,0	8,7	15,4	18,3	15,1	9,3	0,8	-10,1	-17,3	-0,5	
Кызыл	-32,1	-28,0	-15,2	2,2	11,4	17,9	19,8	17,0	10,0	0,0	-15,6	-28,4	-3,4	
Тула	-19,9	-9,5	-4,1	5,0	12,9	16,7	18,6	17,2	11,6	5,0	-1,1	-6,7	4,7	
Тюмень	-17,4	-16,1	-7,7	3,2	11,0	15,7	18,2	14,8	9,7	1,0	-7,9	-13,7	0,9	
Ижевск	-14,6	-13,3	-6,7	3,3	11,3	16,4	18,5	16,4	10,1	2,1	-5,1	-11,6	2,3	
Ульяновск	-13,8	-18,2	-6,8	4,1	12,6	17,6	19,6	17,6	11,4	3,8	-4,1	-10,4	3,2	
Хабаровск	-22,3	-17,2	-8,5	3,1	11,1	17,4	21,1	20,0	13,9	4,7	-8,1	-18,5	1	
Абакан	-25,5	-18,5	-8,5	2,9	10,5	17,3	19,5	16,4	9,9	1,6	-9,5	-17,9	0	
Челябинск	-15,8	-14,3	-7,4	3,9	11,9	16,8	18,4	16,2	10,7	2,4	-6,2	-12,9	2	
Грозный	-3,8	-2,0	2,8	10,3	16,9	21,2	23,9	23,2	17,8	10,4	4,5	-0,7	10	
Чита	-26,2	-22,2	-11,1	-0,4	8,4	15,7	17,8	15,2	7,7	-1,8	-14,3	-23,5	-2,9	
Чебоксары	-13,0	-12,4	-6,0	3,6	12,0	16,5	18,6	16,9	10,8	3,3	-3,7	-10,0	3,0	
Якутск	-42,6	-35,9	-22,2	-7,2	5,8	15,4	18,7	14,9	6,2	-8,0	-28,3	-39,5	-10,2	
Нарьян-Мар	-16,9	-17,3	-14,3	-6,7	-0,3	7,4	12,7	11,0	5,6	-1,6	-8,4	-13,7	-3,5	

Приложение 2

Средние и максимальные амплитуды  
суточных колебаний температуры наружного воздуха

Наименование пункта	Средние амплитуды колебаний температуры в °С по месяцам											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Барнаул	10,3	11,4	11,3	10,9	13,2	12,8	11,8	12,1	12,3	9,3	8,3	9,1
Благовещенск	10,3	11,6	12,2	11,3	12,7	11,4	10,1	10,4	11,5	11,0	9,4	9,7
Архангельск	6,9	6,7	8,7	8,4	8,6	9,6	9,8	8,8	6,2	4,3	4,4	5,8
Астрахань	7,3	7,6	8,0	11,6	13,2	13,5	13,3	13,6	13,2	10,0	7,2	5,8
Уфа	6,8	8,0	8,4	9,1	11,3	11,8	10,8	11,4	10,1	6,7	6,0	6,7
Улан-Удэ	9,7	12,7	13,8	12,9	15,2	14,9	12,9	12,3	12,4	11,3	9,7	9,0
Волгоград	7,3	7,4	7,7	10,3	12,9	13,4	13,2	13,3	13,1	9,1	6,6	5,9
Вологда	6,6	8,3	9,6	9,6	11,3	11,8	11,5	11,5	8,9	5,4	4,8	5,9
Воронеж	6,7	6,7	7,0	9,1	11,9	12,0	11,8	11,6	10,6	7,6	5,5	5,2
Н-Новгород	6,0	6,8	7,0	7,7	9,6	10,0	9,5	9,4	7,9	5,4	4,8	5,3
Махачкала	5,1	5,3	6,0	7,4	8,0	7,9	7,6	7,2	6,7	6,0	5,1	5,2
Иркутск	9,8	12,6	13,7	12,9	15,3	15,1	13,4	12,6	12,8	11,4	10,1	9,1
Калининград	5,2	5,8	7,3	8,7	10,6	9,7	9,0	9,0	8,6	6,9	4,5	4,1
Тверь	6,9	8,0	9,6	9,0	11,2	11,4	11,5	11,1	9,5	6,2	5,0	5,3
Элиста	5,6	6,0	7,7	11,5	12,8	12,9	13,1	13,1	12,5	9,7	6,9	5,5
Калуга	7,3	8,3	8,6	9,9	12,4	12,7	12,4	12,1	10,7	7,3	5,4	5,7
Петропавловск (Камчатская обл.)	5,7	5,6	5,5	4,6	4,9	5,4	5,8	5,8	6,0	5,5	4,8	5,1
Кемерово	9,7	11,0	11,3	10,0	13,1	13,2	12,4	12,1	11,8	8,6	8,1	9,3
Вятка	6,3	7,1	8,1	8,1	10,4	10,6	9,8	9,6	7,6	5,2	5,1	6,2
Воркута	8,6	8,9	9,9	8,5	7,0	9,2	10,3	8,8	6,8	5,6	7,9	8,1
Кострома	6,1	7,1	7,4	7,8	9,9	10,4	10,0	10,0	8,3	5,4	4,7	5,4
Краснодар	7,4	8,3	9,5	12,1	12,5	12,6	13,0	13,4	13,8	11,9	9,5	8,1
Красноярск	7,9	8,9	9,4	9,5	11,4	11,6	10,9	10,2	9,3	7,6	7,1	7,6
Самара	6,6	7,4	7,6	9,0	11,0	11,3	10,7	11,0	10,1	7,1	5,8	6,1
Курган	9,1	10,0	10,7	10,7	12,9	13,4	12,0	12,4	11,1	8,5	7,7	8,7
Курск	5,8	6,0	6,3	8,5	10,6	10,9	10,4	10,4	9,6	7,1	5,0	4,7
С-Петербург	5,4	6,4	7,3	7,8	9,3	8,9	8,7	8,1	6,9	4,9	3,8	4,4
Магадан	5,5	6,0	7,3	6,7	6,5	6,4	6,2	6,1	6,2	5,9	5,3	5,1
Йошкар-Ола	7,4	9,0	9,8	9,5	11,6	12,8	11,8	11,7	9,6	6,5	5,8	6,7
Саранск	6,7	7,4	7,9	9,0	11,9	12,4	11,6	11,5	10,1	6,8	5,9	6,0
Москва	6,2	6,9	7,4	8,5	10,4	10,7	10,4	10,0	8,6	5,7	4,6	5,1
Мурманск	6,4	6,2	7,0	6,4	6,8	8,2	8,9	7,6	5,2	4,2	4,9	6,0
Новгород	6,6	7,3	8,8	8,9	10,7	10,4	10,2	9,6	8,0	5,4	4,4	5,2
Новосибирск	9,3	10,0	10,5	9,9	12,8	12,6	11,4	11,0	11,0	8,5	7,7	8,8
Омск	8,9	9,6	10,1	10,0	13,4	13,4	12,1	12,1	11,4	8,2	7,7	8,5

## Окончание прил. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Оренбург	7,8	8,6	9,0	10,7	13,5	13,7	13,5	14,0	13,0	9,7	7,4	7,3
Орёл	6,2	6,8	7,0	8,8	11,8	11,8	11,5	11,1	10,4	7,3	5,0	5,2
Пенза	6,6	7,3	7,8	8,9	11,2	11,4	10,9	10,8	9,9	6,6	5,6	5,8
Пермь	6,7	7,9	8,8	8,9	11,0	11,6	11,1	10,6	8,3	5,2	5,3	6,5
Владивосток	8,2	8,5	7,6	7,7	8,0	6,9	5,5	5,6	6,8	7,4	7,1	7,3
Псков	6,1	6,9	8,2	8,3	11,1	11,0	10,6	10,4	9,1	6,1	4,3	4,8
Ростов-на-Дону	6,0	6,7	8,3	11,7	13,1	13,2	13,2	13,4	13,0	10,1	7,1	6,0
Рязань	6,8	7,1	7,3	8,0	10,8	11,5	11,1	10,9	9,6	6,4	5,0	5,5
Саратов	6,8	6,8	7,2	9,9	11,6	12,0	11,9	11,9	11,0	8,1	6,1	6,1
Южно-Сахалинск	11,0	11,9	11,2	8,7	11,4	10,4	9,4	9,3	10,5	11,3	9,6	10,1
Екатеринбург	6,8	8,6	9,4	9,9	11,6	11,8	10,6	10,3	8,7	6,2	5,9	6,5
Смоленск	6,3	7,1	7,9	8,9	11,0	11,2	10,8	10,5	9,2	6,4	4,8	5,2
Тамбов	6,9	7,6	7,8	9,4	12,0	12,2	11,9	11,8	11,1	7,8	5,8	5,8
Казань	6,5	7,6	8,0	8,1	10,7	11,9	11,1	10,8	9,2	6,1	5,2	6,2
Томск	8,7	10,0	11,1	10,2	11,5	11,9	11,0	10,3	9,9	7,5	7,6	8,5
Тула	6,8	7,2	7,4	8,7	11,4	12,0	11,4	11,4	10,1	6,9	5,1	5,3
Тюмень	8,3	9,6	10,3	10,0	12,4	12,5	11,0	10,9	10,0	7,2	7,1	8,0
Ижевск	6,5	7,8	8,5	9,0	11,3	11,8	11,0	10,8	8,8	5,8	5,6	6,4
Ульяновск	7,4	8,2	8,4	9,5	12,0	12,8	11,8	11,9	11,3	7,8	6,0	6,6
Хабаровск	7,5	9,0	9,5	9,4	10,3	9,6	8,5	7,9	8,1	8,6	7,5	7,1
Челябинск	8,4	9,8	9,8	10,0	12,2	12,0	10,6	10,8	10,4	7,5	7,4	8,2
Грозный	7,0	7,9	10,0	14,0	13,6	13,4	12,9	13,4	12,4	10,8	7,6	6,5
Чита	13,5	16,6	16,8	14,7	16,7	16,2	14,0	13,4	13,7	12,8	12,3	12,1
Якутск	8,0	12,0	16,5	14,3	12,6	14,3	14,1	13,8	11,8	9,3	9,9	8,3
Ярославль	6,2	7,4	8,3	8,5	9,9	10,3	9,8	9,6	8,1	5,4	4,6	5,4



Влажность наружного воздуха

Наименование пунктов	Средняя относительная влажность воздуха в % по месяцам												Средняя амплитуда суточных колебаний относительной влажности наиболее жаркого месяца в %
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Архангельск	88	86	82	76	70	70	73	79	86	88	90	89	26
Астрахань	84	82	77	60	56	53	54	58	64	73	82	85	33
Барнаул	79	78	77	69	57	62	70	71	72	74	79	80	30
Белгород	87	86	85	72	62	62	66	67	70	78	85	88	25
Благовещенск	72	70	65	57	57	69	77	77	75	65	70	75	26
Брянск	86	84	82	73	66	68	72	76	80	84	86	88	31
Владивосток	64	64	67	69	77	88	92	88	78	68	62	63	17
Владимир	86	84	78	72	66	67	72	76	80	83	86	88	35
Волгоград	85	85	84	65	56	49	47	51	57	71	82	86	27
Вологда	85	84	79	74	68	71	76	81	84	86	88	88	31
Воронеж	85	83	83	72	60	60	64	67	70	79	84	87	38
Вятка	88	84	79	72	62	62	69	74	81	86	87	88	31
Грозный	90	87	82	74	71	68	66	68	75	82	88	90	35
Екатеринбург	80	76	71	64	58	60	68	72	75	77	79	81	28
Иваново	86	84	79	72	66	68	72	77	82	85	86	87	33
Игарка	78	78	76	72	72	67	68	77	82	85	80	78	-
Ижевск	86	82	78	72	60	61	68	71	77	83	86	86	28
Иркутск	80	73	68	59	56	67	74	78	78	76	81	86	36

## Продолжение прил. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Йошкар-Ола	84	81	79	74	66	67	72	76	79	84	85	85	33
Казань	84	81	80	73	62	62	68	71	75	81	84	85	29
Калининград	86	84	79	76	72	73	77	80	83	84	88	87	27
Калуга	86	83	82	75	69	72	76	80	82	84	86	88	33
Кемерово	82	81	80	73	62	66	73	77	78	80	82	83	33
Кострома	85	82	78	72	66	70	75	77	82	86	86	86	33
Краснодар	85	82	77	68	67	66	64	63	68	76	82	84	34
Красноярск	72	71	65	57	53	62	71	76	75	68	71	72	33
Курган	80	78	78	70	57	60	68	72	75	77	80	81	-
Курск	88	88	86	73	63	62	68	68	70	80	87	90	32
Липецк	85	83	84	74	63	62	66	70	73	81	85	87	29
Магадан	70	68	68	71	72	80	80	82	79	72	69	68	26
Майкоп	81	80	75	68	70	69	67	67	72	78	81	82	37
Махачкала	84	83	81	75	70	62	62	65	71	78	83	84	10
Москва	84	81	78	66	58	59	63	68	73	78	82	85	24
Нальчик	86	86	82	73	73	70	68	69	76	81	85	86	24
Нижний Новгород	85	81	78	70	62	63	70	73	76	82	86	86	28
Новгород	86	85	81	76	67	71	76	81	85	87	89	88	29
Новосибирск	80	78	78	70	59	66	72	76	76	77	82	82	31
Омск	82	81	82	71	56	59	67	70	70	76	83	82	30
Орел	87	86	86	77	67	66	69	73	78	84	86	88	39
Оренбург	81	80	82	70	55	54	56	55	61	73	82	83	31
Пенза	86	83	80	70	60	61	66	68	70	79	84	87	25
Пермь	82	78	75	68	60	62	68	72	78	83	83	83	-
Петрозаводск	86	84	76	70	65	68	73	78	83	85	88	88	21
Петропавловск-Камчатский	67	64	65	69	74	80	82	82	78	69	68	67	12
Псков	87	86	81	74	66	68	74	79	83	86	89	88	30

## Окончание прил. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ростов-на-Дону	87	85	81	67	60	60	56	56	62	74	84	87	29
Рязань	85	82	82	76	64	64	68	72	76	82	86	87	29
Самара	85	82	82	69	54	56	62	62	68	76	84	86	24
Санкт-Петербург	86	84	78	73	66	68	71	77	81	84	87	88	30
Саранск	84	83	82	72	60	61	67	70	73	80	84	85	29
Саратов	85	82	82	66	54	52	54	55	60	72	82	86	25
Смоленск	89	87	84	78	74	72	76	79	83	86	90	90	32
Сочи	74	74	75	76	79	79	78	78	78	78	77	73	19
Ставрополь	82	81	78	67	65	62	59	58	66	74	80	81	20
Сыктывкар	82	80	74	70	64	62	69	76	83	85	85	83	28
Тамбов	85	84	83	72	60	60	65	68	72	80	84	86	35
Тверь	86	84	80	75	68	71	75	79	82	85	86	87	32
Томск	80	77	73	66	60	68	74	79	78	78	82	81	29
Тула	84	82	81	76	65	65	70	73	76	82	84	86	32
Тура	78	78	72	65	61	64	70	76	78	80	79	78	36
Тюмень	81	80	72	68	59	66	74	78	79	81	82	83	30
Улан-Удэ	75	72	64	54	49	57	65	69	69	68	75	78	30
Ульяновск	82	80	80	72	61	60	66	68	71	79	84	84	32
Уфа	82	80	78	71	59	62	71	72	75	81	83	85	-
Хабаровск	75	71	67	62	63	72	78	81	77	66	68	74	24
Чебоксары	84	82	79	74	64	64	70	75	79	84	86	87	23
Челябинск	80	76	76	67	56	60	69	71	72	75	77	79	-
Чита	75	73	64	49	76	58	68	72	70	66	74	78	35
Элиста	92	90	84	68	58	52	48	51	59	74	86	91	26
Южно-Сахалинск	80	80	80	78	77	82	86	86	84	80	78	80	23
Якутск	73	73	68	59	53	55	59	66	70	77	77	74	34
Ярославль	84	82	80	74	68	70	74	78	82	84	86	86	32

Приложение 4

Повторяемость скорости ветра

Наименование пункта	Повторяемость ветра/средняя скорость ветра в м/сек по направлениям и повторяемость штилей в %																								Скорость ветра в м/сек возможная один раз за число лет				
	январь												июль												лет				
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	штиль	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	штиль	1	5	10	15	20						
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	штиль	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	штиль	1	5	10	15	20						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24						
Барнаул	4/2,6	14/2,6	3/2,0	8/2,1	17/3,2	37/5,9	14/3,6	3/3,0	25	10/3,1	17/3,2	8/2,7	12/3,1	13/3,8	16/3,8	14/3,1	10/3,5	17	26	32	34	35	37						
Благовещенск	21/3,4	5/1,9	1/1,7	1/1,8	6/1,8	6/1,5	11/1,9	49/3,3	34	13/3,0	13/3,1	10/2,3	15/3,1	21/2,6	9/2,5	6/2,4	13/2,7	17	25	31	32	34	36						
Архангельск	7/3,6	6/3,2	13/4,2	19/4,9	15/5,1	20/5,9	12/6,6	8/6,2	2	19/4,6	16/4,0	15/4,0	11/3,8	8/3,5	9/4,3	7/4,7	15/4,8	3	23	26	27	28	28						
Астрахань	9/4,1	15/4,3	22/4,8	14/4,6	5/3,2	10/4,4	15/4,7	10/4,7	2	15/3,6	10/3,7	11/4,0	12/4,2	10/4,0	14/3,7	14/3,7	14/3,9	4	21	23	24	25	26						
Уфа	9/-	1/-	1/-	8/-	44/-	26/-	5/-	6/-	17	22/-	14/-	7/-	6/-	13/-	12/-	8/-	18/-	24	-	-	-	-	-						
Белгород	8/5,8	14/5,2	9/4,3	14/5,3	11/5,1	17/5,9	18/5,7	9/5,7	2	13/4,4	18/4,1	10/4,0	8/3,5	6/3,3	10/4,2	16/4,1	19/4,9	5	-	-	-	-	-						
Брянск	6/4,6	10/4,6	13/4,9	16/5,3	11/5,6	18/6,3	15/5,2	11/4,8	9	10/4,0	12/3,8	11/3,5	6/3,4	7/3,7	10/4,4	21/4,4	23/4,5	16	-	-	-	-	-						
Улан-Удэ	1/4,7	1/2,8	20/2,8	1/2,0	5/2,0	30/2,5	31/2,5	11/3,5	19	10/4,2	9/4,6	14/4,4	1/2,4	3/1,9	13/2,4	17/2,5	33/3,9	16	24	30	32	33	34						
Владимир	13/3,9	8/3,0	4/2,4	12/3,3	21/4,5	23/4,3	7/4,0	12/4,1	5	17/3,3	13/3,1	8/2,3	6/2,4	9/2,4	14/2,9	14/3,1	19/3,5	9	19	23	24	25	26						
Волгоград	9/-	21/-	13/-	11/-	15/-	10/-	14/-	7/-	3	18/-	15/-	8/-	7/-	11/-	11/-	12/-	18/-	3	-	-	-	-	-						
Волгодла	12/5,2	5/4,0	4/4,9	16/6,0	16/5,8	20/5,9	13/5,1	14/5,0	7	14/4,6	18/4,0	6/3,7	8/3,7	8/3,7	14/4,4	15/3,7	17/4,3	13	20	23	24	24	25						
Воронеж	10/4,1	11/3,6	12/4,2	15/5,0	12/5,1	14/5,4	16/5,1	10/4,5	6	19/3,6	17/3,3	11/3,1	7/3,2	6/3,3	9/3,5	17/4,1	14/3,9	9	19	21	22	23	24						
Н-Новгород	6/4,0	6/3,4	8/4,0	12/3,9	18/4,2	27/5,1	14/4,0	9/3,9	11	13/4,1	10/3,3	16/3,5	8/2,6	8/2,5	14/3,3	17/3,1	14/4,0	17	20	23	25	-	28						
Махачкала	2/1,9	1/1,3	2/2,9	31/8,5	3/6,0	0/0,5	17/5,2	44/7,0	11	3/2,9	6/4,4	14/5,2	34/6,4	5/4,2	1/1,4	14/4,9	23/6,2	11	33	38	40	41	43						
Иваново	8/4,2	7/3,7	9/3,3	13/4,4	20/4,9	21/4,6	12/4,8	10/4,1	4	13/3,8	14/3,6	12/2,8	7/3,1	12/3,0	15/3,4	14/3,7	13/4,0	11	20	23	24	-	26						
Иркутск	6/1,3	9/1,0	14/1,6	34/2,9	3/2,1	1/0,7	7/2,0	26/2,8	20	4/2,0	2/1,3	5/1,8	32/2,2	9/1,7	6/1,4	18/2,3	24/3,0	11	17	21	23	24	25						
Нальчик	7/2,5	18/2,0	16/2,2	7/2,3	5/2,0	34/2,5	7/2,0	6/3,0	34	6/2,9	9/2,6	12/2,7	6/2,6	6/2,2	44/2,7	8/2,3	9/3,5	26	15	19	20	21	22						
Калининград	4/-	8/-	7/-	14/-	17/-	29/-	15/-	6/-	7	11/-	8/-	9/-	8/-	9/-	19/-	22/-	14/-	12	20	24	25	26	26						
Тверь	10/4,5	11/4,3	6/3,6	10/4,8	13/6,0	28/6,2	15/4,5	7/4,2	10	18/4,3	10/3,8	8/3,0	5/3,5	5/4,0	17/3,9	20/3,7	17/4,3	18	-	-	-	-	-						

Продолжение прил. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Элиста	7/48	17/6,1	21/5,6	11/5,1	8/4,6	8/5,5	20/7,6	8/6,9	7	12/4,4	13/5,1	14/5,4	9/5,8	2/3,0	7/4,8	24/6,4	19/5,5	16	26	30	31	32	34
Калуга	7/3,9	9/3,5	14/3,0	12/3,5	13/5,0	23/4,9	14/4,0	8/4,1	7	14/3,2	14/3,0	13/2,8	8/2,4	7/2,6	14/3,1	17/3,6	13/3,8	12	18	21	22	23	24
Петропавловск (Камчатская обл.)	29/7,2	6/13,0	9/15,3	4/15,6	1/9,3	0/-	7/10,2	44/9,0	8	14/3,1	1/3,8	5/4,1	44/3,4	10/2,9	2/1,6	5/6,8	19/6,4	17	41	47	49	52	53
Карелия	4/3,5	4/2,5	8/3,8	10/3,6	8/4,2	30/5,9	26/5,3	10/3,8	12	12/3,5	8/3,0	20/3,2	5/2,9	6/3,5	27/4,0	14/4,0	8/3,7	8	23	26	28	29	30
Кемерово	1/3,1	0/-	3/2,1	29/3,8	21/5,7	34/6,8	6/4,8	6/3,4	9	14/3,4	9/3,8	6/2,7	16/3,2	14/3,8	19/4,4	8/3,8	14/3,3	21	25	31	33	34	35
Вятка	7/3,4	6/3,6	11/3,8	19/4,9	17/5,3	15/5,3	16/5,1	9/3,9	2	16/4,0	13/4,0	13/3,4	10/3,3	6/3,3	8/3,7	15/4,0	19/4,1	3	22	25	26	-	28
Воркута	5/4,3	5/4,4	6/5,2	17/6,2	34/7,1	24/10,1	5/10,5	4/6,3	10	20/4,8	13/4,3	10/4,3	13/4,6	10/4,8	9/5,2	9/5,9	16/5,2	6	-	-	-	-	-
Кострома	10/5,1	5/3,3	6/3,6	19/5,5	20/5,8	16/5,7	13/5,7	11/5,0	4	15/4,4	13/3,8	7/2,9	10/3,0	11/3,2	12/3,7	14/4,2	18/4,2	6	24	28	29	-	31
Краснодар	5/2,2	21/3,2	24/2,8	6/2,0	7/2,9	14/3,6	14/3,3	9/2,8	14	8/2,4	16/3,2	13/3,6	4/2,7	7/2,3	20/2,8	18/3,0	14/2,7	12	23	27	29	30	31
Сочи	12/2,2	29/2,3	21/3,7	21/6,5	4/4,0	2/3,5	4/3,3	7/3,7	5	11/1,9	29/1,8	9/2,3	11/3,9	5/2,9	6/2,6	11/3,2	18/3,1	12	23	28	30	32	33
Красноярск	1/0,6	1/0,4	2/0,8	1/0,5	15/6,2	64/5,3	15/3,6	1/0,9	35	4/2,0	9/2,2	10/2,2	3/1,4	11/2,8	41/3,0	16/2,4	6/2,3	24	21	25	26	27	28
Самара	10/4,9	6/4,4	20/4,8	16/5,4	12/5,7	16/4,7	13/4,2	7/3,7	5	18/3,8	13/4,0	13/3,7	6/3,3	4/4,3	10/3,6	18/3,2	18/3,5	6	20	23	24	25	25
Курск	7/4,2	14/4,3	13/4,1	15/4,9	8/4,1	17/5,3	16/4,9	10/4,4	3	14/3,5	16/3,5	10/3,4	9/3,2	5/3,2	10/3,3	17/3,9	19/3,9	5	-	-	-	-	-
С-Петербург	5/2,6	10/3,0	9/2,4	13/3,5	19/4,0	18/4,2	15/3,7	11/2,7	9	9/2,4	19/2,7	9/2,2	8/2,6	8/2,9	15/3,2	22/3,5	10/2,6	15	15	16	17	18	19
Липецк	12/4,8	8/3,6	8/3,7	15/4,9	13/6,0	17/5,9	12/5,5	15/4,8	4	15/3,8	13/3,4	9/3,1	8/2,9	6/3,0	10/3,6	16/4,1	23/4,1	7	-	-	-	-	-
Магадан	62/4,8	31/6,6	4/7,7	0/-	1/7,0	1/4,0	0/-	1/4,2	38	15/3,3	12/4,4	4/4,4	2/3,1	27/3,8	36/4,0	3/3,8	1/2,8	30	-	-	-	-	-
Йошкар-Ола	7/3,9	10/3,7	2/2,4	15/5,4	28/6,2	19/5,9	10/5,1	9/3,6	9	15/3,9	16/3,7	7/3,0	8/3,2	9/3,5	11/4,0	15/4,3	19/4,3	17	-	-	-	-	-
Саранск	11/5,0	4/3,5	3/3,7	10/5,0	35/6,9	19/6,0	10/4,8	8/4,1	10	13/4,5	9/4,0	9/3,7	10/3,1	11/3,5	15/4,1	16/4,4	17/4,4	14	-	-	-	-	-
Москва	9/4,0	7/3,1	7/3,5	15/4,5	16/4,9	20/4,1	13/4,1	13/4,4	7	17/3,8	10/2,9	10/3,0	8/3,4	6/3,4	11/3,3	16/3,4	22/3,9	12	19	22	23	23	24
Мурманск	3/8,5	<sup>3</sup> / <sub>4</sub> ,7	<sup>1</sup> / <sub>2</sub> ,8	4/4,7	58/6,6	21/7,5	5/9,4	58,5	8	36/4,9	18/3,8	4/3,6	<sup>3</sup> / <sub>4</sub> ,0	20/4,1	9/4,3	<sup>3</sup> / <sub>4</sub> ,8	7/5,4	8	26	30	33	35	36
Новгород	10/5,5	10/4,0	6/3,6	14/5,8	22/6,6	19/6,5	10/4,6	9/5,2	2	13/4,5	14/3,8	9/2,9	11/4,3	11/4,3	15/4,0	16/4,0	11/3,8	7	-	-	-	-	-
Новосибирск	3/2,0	5/2,8	9/2,3	16/3,0	27/4,7	31/5,7	6/3,7	3/3,0	15	12/2,7	18/2,6	11/2,7	10/2,9	11/3,2	15/3,5	12/2,8	11/2,5	18	20	23	24	25	26
Омск	4/2,8	6/2,8	14/4,4	10/4,4	20/4,7	27/5,1	12/4,5	7/4,0	5	17/3,7	13/3,6	10/3,7	6/3,5	9/3,5	11/3,5	13/3,6	21/3,9	7	21	23	24	25	26
Оренбург	10/4,4	11/3,9	29/5,5	13/6,1	7/5,8	17/5,0	10/4,1	3/3,9	9	20/4,0	15/4,0	16/3,9	5/4,3	<sup>3</sup> / <sub>4</sub> ,1	8/4,2	16/4,2	17/4,0	7	24	27	29	30	31
Орёл	8/5,0	10/5,2	7/5,1	13/6,5	19/6,5	20/6,5	12/6,5	11/5,9	4	16/3,9	14/3,8	6/4,0	6/3,5	8/3,8	13/4,0	15/4,4	21/4,6	9	24	27	29	30	31
Пенза	9/5,1	3/2,6	3/2,3	20/4,6	29/4,9	14/5,3	6/5,5	16/5,6	-	18/3,9	6/2,6	7/2,3	12/2,9	10/3,0	10/3,3	11/4,4	26/4,7	-	20	22	24	24	25

Окончание прил. 4

Пермь	6/-	2/-	5/-	21/-	31/-	24/-	8/-	3/-	14	16/-	8/-	14/-	19/-	9/-	12/-	11/-	11/-	14	-	-	-	-	
Владивосток	74/90	3/4,5	1/2,0	9/4,1	1/1,9	2/3,0	2/2,6	8/6,1	7	8/4,6	1/3,0	3/4,1	63/59	15/4,7	5/2,9	2/2,2	3/3,0	4	32	37	39	40	41
Псков	63,5	7/3,8	10/3,5	15/4,2	22/4,8	16/4,7	11/3,7	13/4,0	3	10/3,1	10/3,1	11/2,7	10/2,7	10/2,8	15/3,3	18/3,5	16/3,6	7	17	20	21	22	23
Ростов-на-Дону	43,9	14/5,8	33/6,5	10/4,8	4/3,3	12/4,0	17/4,1	6/3,1	7	13/3,4	13/4,0	20/4,4	5/3,2	3/2,3	12/3,5	23/3,6	11/3,3	9	25	30	31	32	33
Рязань	7/4,7	5/4,5	8/4,8	15/6,3	17/7,3	23/6,6	14/5,2	11/4,4	6	13/4,2	9/4,1	10/3,9	9/4,2	8/3,9	12/4,1	20/4,1	19/5,1	9	23	26	27	28	30
Южно-Сахалинск	74/48	4/5,3	1/5,6	2/4,4	4/2,6	2/2,2	2/2,8	11/3,7	16	36/5,0	3/3,7	2/3,6	9/3,4	35/3,5	9/3,2	2/2,9	4/3,4	14	29	38	42	44	46
Екатеринбург	7/3,4	5/3,1	4/3,1	18/3,3	11/2,6	19/3,9	30/5,0	6/4,1	11	15/4,0	12/3,4	6/2,7	11/3,0	10/2,5	11/2,7	18/4,0	17/4,0	10	18	21	22	23	24
Смоленск	7/4,4	9/4,2	13/4,6	12/5,4	16/6,8	17/5,8	14/5,8	12/5,4	3	12/3,8	12/3,2	12/3,5	6/3,3	9/3,6	11/4,3	19/4,2	19/4,5	8	21	24	25	25	26
Ставрополь	1/1,7	4/2,3	14/5,0	20/5,5	8/3,4	19/4,0	27/7,4	7/5,7	27	7/3,1	9/2,8	15/4,9	10/4,6	2/2,7	10/3,7	27/5,8	20/4,1	22	35	43	45	47	50
Тамбов	10/4,3	5/3,2	8/2,4	21/4,7	20/4,7	15/4,7	10/3,9	11/4,0	4	16/3,7	9/3,4	9/2,6	13/2,8	9/2,7	12/3,1	15/3,6	17/3,9	8	20	23	24	25	26
Казань	11/3,8	4/4,2	6/4,2	20/5,0	28/5,7	12/4,8	13/4,8	6/3,8	7	16/3,8	13/3,6	11/3,9	10/3,3	10/3,3	8/3,2	14/4,0	18/4,2	10	18	20	21	22	23
Томск	6/2,8	10/3,3	8/3,1	5/3,4	49/5,6	17/5,0	2/2,8	3/2,4	9	15/2,8	17/3,4	10/3,0	8/2,9	28/3,2	9/2,8	6/2,2	7/2,5	12	25	30	32	33	34
Тула	7/3,9	5/3,0	13/5,0	14/4,4	13/5,4	19/4,9	18/4,6	11/3,6	5	12/3,3	10/3,2	12/3,5	8/3,3	5/3,0	12/3,8	22/3,7	19/3,4	10	-	-	-	-	-
Тюмень	3/2,5	3/2,2	4/2,5	11/3,4	22/3,8	33/3,9	16/3,8	8/3,4	9	19/2,9	10/2,9	7/2,6	8/2,6	6/2,3	12/2,7	14/3,1	24/3,4	14	19	23	24	24	25
Ижевск	6/3,8	12/4,3	7/3,4	11/4,1	17/4,8	33/4,7	6/4,4	8/3,7	13	13/3,9	16/3,8	9/3,1	6/3,3	7/3,3	16/3,3	12/4,0	21/4,3	18	-	-	-	-	-
Ульяновск	11/3,3	7/2,6	9/2,7	18/4,1	15/4,6	22/3,8	8/3,3	10/3,3	12	22/3,3	15/3,2	9/2,7	4/3,7	6/4,1	11/3,3	11/3,3	22/3,4	10	19	22	23	24	25
Хабаровск	2/3,3	7/5,7	6/4,2	2/2,7	2/3,5	74/5,9	6/4,1	1/2,2	18	3/3,4	25/6,0	17/4,6	5/3,3	4/3,6	35/4,6	7/3,6	4/2,9	9	27	31	33	34	35
Челябинск	7/4,4	3/4,2	2/2,8	7/2,4	20/3,1	38/3,1	10/3,5	13/4,5	3	20/4,5	12/4,4	7/3,7	5/2,3	7/2,9	12/3,2	12/3,9	25/4,5	2	-	-	-	-	-
Грозный	4/2,5	9/2,6	12/2,3	15/1,6	4/1,6	8/2,2	16/3,3	32/3,5	57	3/3,7	5/3,0	27/3,9	7/2,7	7/2,7	13/3,4	20/4,1	18/4,2	43	19	23	25	26	27
Чита	15/1,8	3/1,7	1/1,8	0/-	2/2,6	13/3,9	38/3,2	28/2,2	65	15/3,1	4/2,4	3/2,3	13/3,0	14/2,5	16/2,8	23/2,7	12/2,5	42	18	23	25	26	27
Чебоксары	6/-	3/-	3/-	18/-	20/-	25/-	13/-	12/-	7	10/-	8/-	8/-	9/-	9/-	14/-	19/-	23/-	16	-	-	-	-	-
Якутск	33/2,5	27/2,6	1/2,0	2/1,3	8/1,6	10/2,2	10/2,8	9/2,7	49	11/2,9	17/3,3	11/3,0	13/3,1	10/3,2	6/3,8	14/4,1	18/3,6	16	17	20	22	23	24
Ярославль	7/3,8	6/3,0	8/3,1	12/4,4	20/6,0	21/5,5	14/4,8	12/4,1	4	14/4,2	15/3,7	9/3,2	7/3,3	8/3,5	11/3,7	16/3,9	20/4,2	8	21	24	25	26	26

Приложение 5

Теплотехнические показатели строительных материалов и конструкций

Материал	Характеристики материала в сухом состоянии			Расчетное массовое отношение влаги в материале w, %		Расчетные коэффициенты при условиях эксплуатации А и Б				
	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Удельная теплоемкость кДж/(кг·°С)	Коэффициент теплопроводности Вт/(м·°С)	Теплопроводности, Вт/(м·°С)		Теплоусвоения (при периоде 24 ч.), S, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)		Паропроницаемости μ, мг/(м <sup>2</sup> ·ч·Па)		
				А	Б	А	Б			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Железобетон	2500	0,84	1,69	2	3	1,92	2,04	17,98	18,95	0,03
Керамзитобетон на керамзитовом песке и керамзитопенобетон	1800	0,84	0,66	5	10	0,80	0,92	10,50	12,33	0,090
То же	1600	0,84	0,58	5	10	0,67	0,79	9,06	10,77	0,090
-//-	1400	0,84	0,47	5	10	0,56	0,65	7,75	9,14	0,098
-//-	1200	0,84	0,36	5	10	0,44	0,52	6,36	7,57	0,11
-//-	1000	0,84	0,27	5	10	0,33	0,41	5,03	6,13	0,14
-//-	8000	0,84	0,21	5	10	0,24	0,31	3,83	4,77	0,19
-//-	6000	0,84	0,16	5	10	0,20	0,26	3,03	3,78	0,26
-//-	5000	0,84	0,14	5	10	0,17	0,23	2,55	3,25	0,30
Керамзитобетон на кварцевом песке с поризацией	1200	0,84	0,41	4	8	0,52	0,58	6,77	7,72	0,075
То же	1000	0,84	0,33	4	8	0,41	0,47	5,49	6,35	0,075
-//-	8000	0,84	0,23	4	8	0,29	0,35	4,13	4,90	0,075

## Продолжение прил. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Газо- и пенобетон, газо- и пеносиликат	1000	0,84	0,29	10	15	0,41	0,47	6,13	7,09	0,11
То же	800	0,84	0,21	10	15	0,33	0,37	4,92	5,63	0,14
-//-	600	0,84	0,14	8	12	0,22	0,26	3,36	3,91	0,17
-//-	400	0,84	0,11	8	12	0,14	0,15	2,19	2,42	0,23
-//-	300	0,84	0,08	8	12	0,11	0,13	1,68	1,95	0,26
Газо- и пенозолотон	1200	0,84	0,29	15	22	0,52	0,58	8,17	9,46	0,075
То же	1000	0,84	0,23	15	22	0,44	0,50	6,86	8,01	0,098
-//-	800	0,84	0,17	15	22	0,35	0,41	5,48	6,49	0,12
Цементно-песчаный раствор	1800	0,84	0,58	2	4	0,76	0,93	9,60	11,09	0,09
Сложный раствор (песок, известь, цемент)	1700	0,84	0,52	2	4	0,70	0,87	8,95	10,42	0,098
Известково- песчаный раствор	1600	0,84	0,47	2	4	0,70	0,81	8,69	9,76	0,12
Листы гипсовые (сухая штукатурка)	800	-	-	-	-	0,19	0,21	3,34	3,66	0,075
Кирпичная кладка из глиняного обыкновенного кирпича	1800	0,88	0,56	1	2	0,70	0,81	9,20	10,12	0,11



Продолжение прил. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Кирпичная кладка из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,70	2	4	0,76	0,87	9,77	10,90	0,11
Сосна и ель поперек волокон	500	2,30	0,09	15	20	0,14	0,18	3,87	4,54	0,06
Сосна и ель вдоль волокон	500	2,30	0,18	15	20	0,29	0,35	5,56	6,33	0,32
Дуб поперек волокон	700	2,30	0,10	10	15	0,18	0,23	5,00	5,86	0,05
Дуб вдоль волокон	700	2,30	0,23	10	15	0,35	0,41	6,9	7,83	0,30
Плиты древесно-волокнистые и древесно-стружечные	1000	2,30	0,15	10	12	0,23	0,29	6,75	7,70	0,12
То же	800	2,30	0,13	10	12	0,19	0,23	5,49	6,13	0,12
-//-	600	2,30	0,11	10	12	0,13	0,16	3,93	4,43	0,13
-//-	400	2,30	0,08	10	12	0,11	0,13	2,95	3,26	0,19
-//-	200	2,30	0,06	10	12	0,07	0,08	1,67	1,81	0,24
Плиты фибролитовые и арболитовые на поргланцементе	800	2,30	0,16	10	15	0,24	0,30	6,17	7,16	0,11
То же	600	2,30	0,12	10	15	0,18	0,23	4,93	5,43	0,11
-//-	400	2,30	0,08	10	15	0,13	0,16	3,21	3,70	0,26
-//-	300	2,30	0,07	10	15	0,11	0,14	2,56	2,99	0,30

Продолжение прил. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Маты минераловатные прошивные гна синтетическом связующем	125	0,84	0,056	2	5	0,064	0,07	0,73	0,82	0,30
	75	0,84	0,052	2	5	0,06	0,064	0,55	0,61	0,49
	50	0,84	0,048	2	5	0,052	0,06	0,48	0,48	0,53
Плиты мягкие, полужесткие и жесткие минераловатные на синтетическом и битумном связующих	350	0,84	0,091	2	5	0,09	0,11	1,46	1,72	0,38
	300	0,84	0,084	2	5	0,087	0,09	1,32	1,44	0,41
	200	0,84	0,070	2	5	0,076	0,08	1,01	1,11	0,49
	100	0,84	0,056	2	5	0,06	0,07	0,64	0,73	0,56
	50	0,84	0,048	2	5	0,052	0,06	0,42	0,48	0,60
Пенополистирол (ТУ)	150	1,34	0,05	1	10	0,052	0,06	0,89	0,99	0,05
	100	1,34	0,041	2	10	0,041	0,052	0,65	0,82	0,05
Пенополистирол (ГОСТ)	40	1,34	0,038	2	10	0,041	0,05	0,41	0,49	0,05
Пенопласт ПВХ-1	150	1,26	0,052	2	10	0,06	0,064	0,86	0,99	0,23

## Окончание прил. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
То же	100 и менее	1,26	0,041	2	5	0,05	0,052	0,68	0,80	0,23
Пенополиуретан	80	1,47	0,041	2	5	0,05	0,05	0,67	0,70	0,05
То же	60	1,47	0,035	2	5	0,041	0,041	0,53	0,55	0,05
-//-	40	1,47	0,029	2	3	0,04	0,04	0,40	0,42	0,05
Гравий керамзитовый	800	0,84	0,18	2	3	0,21	0,23	3,36	3,60	0,21
То же	600	0,84	0,14	2	3	0,17	0,20	2,62	2,91	0,23
-//-	400	0,84	0,12	2	3	0,13	0,14	1,87	1,99	0,24
-//-	300	0,84	0,108	2	3	0,12	0,13	1,56	1,66	0,25
-//-	200	0,84	0,099	2	3	0,11	0,12	1,22	1,30	0,26
Листы асбестоцементные плоские	1800	0,84	0,35	2	3	0,47	0,52	7,55	8,12	0,03
То же	1600	0,84	0,23	2	3	0,35	0,41	6,14	6,80	0,03
Асфальтобетон	2100	1,68	1,05	0	0	1,05	1,05	16,43	16,43	0,008
Рубероид, пергамин, толь	600	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	3,53	3,53	См.прил.
Сталь стержневая арматурная	7850	0,482	58	0	0	58	58	126,5	126,5	0
Стекло оконное	2500	0,84	0,76	0	0	0,76	0,76	10,79	10,79	0

Приложение 6

Климатические параметры холодного периода года

Республика, край, область, пункт	Температура воздуха наиболее холодных суток, °С, обеспеченностью		Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С, обеспеченностью		Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,94	Абсолютная минимальная температура воздуха, °С	Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца, °С	Продолжительность, сут., и средняя температура воздуха, °С, периода со средней суточной температурой воздуха						Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца, %	Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч наиболее холодного месяца, %	Количество осадков за ноябрь – март, мм	Преобладающее направление ветра за декабрь-девяньш	Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с	Средняя скорость ветра, м/с, за период со средней суточной темпе- ратурой воздуха ≤8°С
	2	3	4	5				6	7	8	9	10	11						
1	0,98	0,92	0,98	0,92	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<b>РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ</b>																			
Майкоп	-27	-22	-21	-19	-6	-34	9	40	-1	148	2,3	169	3,1	79	72	276	Ю	5,7	3
Барнаул	-44	-42	-41	-39	-23	-52	10,2	168	-11,4	221	-7,7	235	-6,7	79	76	145	Ю3	5,9	3,9
Благовещенск	-38	-37	-36	-34	-29	-45	10,5	170	-14,8	218	-10,6	232	-9,4	72	64	47	С3	3,4	2,9
Архангельск	-39	-37	-34	-31	-18	-45	7,8	177	-8	253	-4,4	273	-3,4	86	83	188	ЮВ	5,9	3,7

Продолжение прил. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Астрахань	-27	-26	-24	-23	-12	-33	7,3	106	-4,2	167	-1,2	184	-0,3	84	71	82	В	4,8	4,3
Уфа	-41	-39	-38	-35	-20	-49	8,3	159	-9,4	213	-5,9	227	-5	81	76	195	Ю	5,5	3,5
Белгород	-29	-28	-27	-23	-13	-35	5,9	126	-5	191	-1,9	209	-1	84	84	191	Ю3	5,9	5,3
Брянск	-34	-30	-30	-26	-14	-42	6,6	134	-5,6	205	-2,3	223	-1,4	85	84	177	ЮВ	6,3	4,7
Улан-Удэ	-46	-40	-40	-37	-30	-51	11,1	179	-15	237	-10,4	253	-9,2	74	68	36	3	2,8	2,5
Владимир	-38	-34	-32	-28	-16	-48	6,3	148	-6,9	213	-3,5	230	-2,6	84	83	194	Ю	4,5	3,4
Волгоград	-33	-30	-28	-25	-14	-35	5,6	117	-5,4	178	-2,2	190	-1,5	85	83	174	СВ	8,1	4,4
Вологда	-42	-37	-38	-32	-17	-47	7,2	160	-7,7	231	-4,1	250	-3,1	85	82	171	Ю3	6	4,4
Воронеж	-32	-31	-28	-26	-15	-37	6,7	134	-6,3	196	-3,1	212	-2,2	83	76	172	3	5,1	4,2
Махачкала	-21	-19	-17	-14	-5	-25	5,7	37	-0,4	148	2,7	167	3,4	83	79	185	С3	8,5	5,8
Иваново	-38	-34	-34	-30	-17	-45	7,1	152	-7,4	219	-3,9	236	-2,9	85	84	209	Ю	4,9	4,2
Иркутск	-40	-38	-38	-36	-26	-50	10,5	177	-13	240	-8,5	258	-7,3	80	78	87	ЮВ	2,9	2,3
Нальчик	-24	-21	-20	-18	-9	-31	7	86	-2,5	168	0,6	187	1,4	86	81	136	Ю3	2,5	1,8
Калининград	-29	-24	-21	-19	-8	-33	5	92	-1,9	193	1,1	216	1,9	85	82	280	ЮВ	5,9	4,1
Элиста	-30	-27	-25	-23	-12	-34	5,9	109	-4,2	173	-1,2	188	-0,4	90	90	132	В	7,6	6,5
Калуга	-34	-31	-30	-27	-15	-46	7,3	142	-6,2	210	-2,9	228	-1,9	83	83	213	Ю	4,9	3,9
Петропавловск -Камчатский	-26	-22	-22	-20	-12	-32	5,5	162	-4,9	259	1,6	286	-0,6	67	66	863	С3	9	2,9
Петрозаводск	-37	-34	-32	-29	-16	-38	6,6	160	-6,7	240	-3,1	261	-2,1	86	84	169	Ю3	5,9	3,9
Кемерово	-46	-42	-42	-39	-24	-50	9,8	175	-12,2	231	-8,3	246	-7,2	82	81	94	Ю	6,8	4,9
Вятка	-39	-37	-35	-33	-19	-45	7,2	168	-9	231	-5,4	247	-4,8	86	82	167	Ю	5,3	3,9
Воркута	-46	-45	-43	-41	-26	-52	8,6	239	-12,8	306	-9,1	328	-7,8	81	81	178	Ю	10,1	5,8
Кострома	-40	-35	-34	-31	-17	-46	6,5	154	-7,4	222	-3,9	239	-3	85	81	169	Ю	5,8	4,9
Краснодар	-27	-23	-23	-19	-7	-36	8,1	49	-1,2	149	2	168	2,8	83	79	293	В	3,2	2,9
Сочи	-9	-6	-5	-3	1	-18	6,5	0		72	6,4	121	7,4	72	66	786	СВ	6,5	3,2
Игарка	-54	-53	-50	-49	-33	-60	9,2	235	-17,8	285	-13,9	303	-12,6	77	76	152	ЮВ	7,8	4,1
Красноярск	-48	-44	-43	-40	-22	-53	8,4	172	-11,1	234	-7,1	252	-5,9	71	70	85	3	6,2	3,8

Продолжение прил. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Тура – Эвен- кийский АО	-59	-57	-57	-55	-42	-60	12,7	220	-21,8	271	-16,9	286	-15,6	77	76	76	С3	2,7	2
Курган	-43	-41	-39	-37	-23	-48	8,4	164	-11,4	216	-7,7	230	-6,6	79	74	95	Ю	-	4,4
Курск	-32	-30	-29	-26	-14	-35	6,3	132	-5,6	198	-2,4	216	-1,4	86	78	212	Ю3	5,3	4,4
Липецк	-34	-31	-29	-27	-15	-38	6,8	141	-6,6	202	-3,4	218	-2,5	85	84	248	Ю3	5,9	4,8
Санкт- Петербург	-33	-30	-30	-26	-13	-36	5,6	139	-5,1	220	-1,8	239	-0,9	86	83	200	Ю3	4,2	2,8
Магадан (На- гаева, бухта)	-34	-32	-31	-29	-22	-35	5,2	214	-11,1	288	-7,1	316	-5,7	63	62	114	СВ	7,3	5,2
Йошкар-Ола	-42	-39	-38	-34	-19	-47	8	159	-8,6	220	-5,1	236	-4,1	83	82	151	Ю	6,2	4,7
Саранск	-38	-34	-34	-30	-17	-44	6,7	150	-7,9	209	-4,5	225	-3,6	83	83	155	Ю	6,9	5,8
Москва	-36	-32	-30	-28	-15	-42	6,5	145	-6,5	214	-3,1	231	-2,2	84	77	201	Ю3	4,9	3,8
Мурманск	-35	-32	-29	-27	-16	-39	6,2	187	-6,6	275	-3,2	302	-2,1	84	81	166	Ю	7,5	5,6
Нижний Новгород	-38	-34	-34	-31	-17	-41	6,1	151	-7,5	215	-4,1	231	-3,2	84	80	172	Ю3	5,1	3,7
Новгород	-38	-31	-33	-27	-14	-45	6,8	143	-5,7	221	-2,3	239	-1,4	85	85	176	Ю	6,6	4,6
Новосибирск	-44	-42	-42	-39	-24	-50	9,3	178	-12,4	230	-8,7	243	-7,7	80	77	104	Ю3	5,7	3,9
Оренбург	-37	-36	-34	-31	-20	-43	8,1	153	-9,6	202	-6,3	215	-5,4	80	78	143	В	5,5	4,5
Орел	-35	-31	-30	-26	-15	-39	6,5	138	-6	205	-2,7	222	-1,8	86	86	178	Ю3	6,5	4,8
Пенза	-35	-33	-32	-29	-17	-43	7,1	149	-7,9	207	-4,5	222	-3,6	84	84	221	Ю	5,6	4,8

Продолжение прил. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Пермь	-42	-39	-38	-35	-20	-47	7,1	168	-9,5	229	-5,9	245	-4,9	81	78	192	Ю	5,2	3,3
Владивосток	-27	-26	-25	-24	-18	-30	8,7	132	-7,7	196	-3,9	214	-2,7	61	58	129	С	9	6,9
Пеков	-35	-31	-30	-26	-12	-41	6,1	134	-4,9	212	-1,6	232	-0,7	86	81	179	Ю	4,8	3,9
Ростов-на-Дону	-29	-27	-25	-22	-11	-33	6,1	102	-3,6	171	-0,6	188	0,2	85	77	219	В	6,5	4,4
Рязань	-36	-33	-30	-27	-16	-41	7	145	-6,8	208	-3,5	224	-2,6	83	84	172	Ю	7,3	4,8
Самара	-39	-36	-36	-30	-18	-43	6,7	149	-8,5	203	-5,2	217	-4,3	84	78	176	ЮВ	5,4	4
Екатеринбург	-42	-40	-38	-35	-20	-47	7,1	168	-9,7	230	-6	245	-5,3	79	73	114	3	5	3,7
Саратов	-34	-33	-30	-27	-16	-37	6,9	142	-7,5	196	-4,3	210	-3,4	82	82	159	С3	5,6	4,4
Южно-Сахалинск	-28	-26	-25	-24	-19	-36	10,8	154	-8,4	230	-4,3	252	-3,1	81	71	263	С	4,8	3,4
Владикавказ	-24	-20	-20	-18	-9	-28	9,5	91	-2,7	174	0,4	194	1,3	82	77	163	ЮВ	3	1,6
Смоленск	-34	-31	-28	-26	-14	-41	6,1	141	-5,8	215	-2,4	234	-1,5	86	81	234	Ю	6,8	5
Ставрополь	-26	-23	-22	-19	-8	-31	6,6	83	-2	168	0,9	187	1,7	82	78	196	3	7,4	4,4
Тамбов	-34	-32	-30	-28	-16	-39	6,7	140	-7	201	-3,7	217	-2,7	84	83	194	ЮВ	4,7	4
Казань	-41	-36	-36	-32	-18	-47	6,8	156	-8,7	215	-5,2	229	-4,3	83	79	135	Ю	5,7	4,3
Тверь	-37	-33	-33	-29	-15	-50	7,2	146	-6,4	218	-3	236	-2	85	85	206	Ю3	6,2	4,1
Томск	-47	-44	-44	-40	-24	-55	8,7	179	-12,4	236	-8,4	253	-7,3	80	78	185	Ю	5,6	4,7
Тула	-35	-31	-30	-27	-15	-42	6,8	140	-6,4	207	-3	224	-2,1	83	82	187	ЮВ	4,9	4
Тюмень	-45	-42	-42	-38	-22	-50	9,2	169	-10,9	225	-7,2	240	-6,1	81	78	107	Ю3	3,9	3,6
Ижевск	-41	-38	-38	-34	-20	-48	6,9	162	-9,2	222	-5,6	237	-4,7	85	80	168	Ю3	4,8	4
Ульяновск	-38	-36	-36	-31	-19	-48	7,4	155	-8,9	212	-5,4	228	-4,4	82	81	220	-	-	-
Хабаровск	-37	-34	-34	-31	-27	-43	7,7	162	-13,4	211	-9,3	225	-8,1	75	71	116	Ю3	5,9	5,3
Абакан	-44	-42	-41	-40	-25	-47	10,8	165	-14,7	225	-9,7	242	-8,4	79	75	40	-	-	2,8

Окончание прил. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Челябинск	-39	-38	-35	-34	-21	-48	9,4	162	-10,1	218	-6,5	233	-5,5	78	78	104	Ю3	4,5	3
Грозный	-23	-22	-20	-18	-9	-32	7,1	77	-2,2	160	0,9	178	1,7	89	81	128	С3	3,5	2
Чита	-44	-41	-42	-38	-31	-47	14,5	189	-15,8	242	-11,4	258	-10,1	75	64	20	В	3,2	2,4
Чебоксары	-40	-36	-35	-32	-18	-44	6,8	156	-8,3	217	-4,9	232	-3,9	84	84	160	Ю	-	5
Анадырь	-43	-42	-42	-40	-27	-45	7,7	241	-14,7	311	-10,5	345	-8,5	81	81	140	С3	11,4	6,7
Якутск	-59	-57	-57	-54	-48	-64	8,9	216	-25,3	256	-20,6	269	-19,2	73	72	48	С	2,6	1,9
Нарьян-Мар	-44	-42	-40	-37	-22	-48	8,6	220	-10,7	290	-7,2	313	-6	83	80	123	Ю	6,3	5



## Приложение 7

### Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек

Толщина воздушной прослойки, м	Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки $R_{вп}, \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$			
	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

## Приложение 8

### Значения максимального парциального давления водяного пара $E$ , Па, для различных температур (при атмосферном давлении 100415 Па)

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

Приложение 9

Климатические параметры теплого периода года

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Климатические параметры теплого периода года		
													Барометрическое давление, ППа	Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,95	
Республика, край, область, пункт	1000	12,6	16,5	14,7	28	7	81	81	191	45	ЮВ	5,7	Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,98	Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца, °С	
	1010	19,6	24	20,9	34	10,9	72	57	402	55	СЗ	4	Температура воздуха наиболее теплого месяца, °С	Средняя относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %	
	1015	28,4	32,1	31	40	11,1	55	36	126	73	В	3,6	Температура воздуха наиболее теплого месяца, °С	Средняя относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %	
	990	24,5	27,7	26	38	12,3	70	54	340	61	СВ	0	Температура воздуха наиболее теплого месяца, °С	Средняя относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %	
	990	23,3	27,4	25,7	38	11,4	66	52	362	83	СВ	4,1	Температура воздуха наиболее теплого месяца, °С	Средняя относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %	
	990	24,7	28,1	27	41	10,6	77	63	528	122	Ю	0	Температура воздуха наиболее теплого месяца, °С	Средняя относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %	
	990	20,4	24,7	22,8	38	9,7	73	53	420	-	СЗ	0	Температура воздуха наиболее теплого месяца, °С	Средняя относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %	
	1010	21,4	24,5	24,8	35	6,5	84	81	641	210	ЮВ	4,7	Температура воздуха наиболее теплого месяца, °С	Средняя относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %	
														Абсолютная максимальная температура воздуха, °С	Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца, °С
														Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца, °С	Средняя относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %
														Средняя относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %	Средняя относительная влажность воздуха в 15-ч наиболее теплого месяца, %
														Количество осадков за апрель-октябрь, мм	Суточный максимум осадков, мм
														Преобладающее направление ветра за июнь-август	Минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, м/с

## Продолжение прил. 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Владикавказ	940	23	27,1	25,4	38	10,4	75	61	721	131	Ю	0
Владимир	995	20,8	25	23,3	37	9,8	72	57	413	109	С	3,3
Волгоград	1000	27,6	31,3	30	44	11,6	51	33	212	82	С3	5,2
Вологда	995	21,2	25,3	22,3	39	11	76	60	417	74	3	0
Воркута	990	15,6	20,3	18	31	10,5	72	63	370	37	С	4,8
Воронеж	1000	24,1	28,6	25,9	38	11,5	66	50	367	100	С	3,3
Вятка	995	21,8	25,7	23,1	37	10,1	70	57	415	137	3	4
Грозный	995	29	31,9	30,7	41	12,7	66	44	367	90	В	0
Екатеринбург	980	22	25,6	23,1	38	10,6	68	56	383	94	3	4
Иваново	995	20,9	25,1	23,3	38	11,1	72	56	437	78	3	2,8
Ижевск	995	22,4	27	24,1	37	10,6	69	56	342	61	3	0
Иркутск	955	21,8	25,6	24,7	36	13,4	74	58	402	82	ЮВ	2,2
Йошкар-Ола	1000	21,8	25,8	24	39	11,6	73	55	387	57	3	0
Казань	1000	23,5	27,2	24,7	38	10,8	69	56	373	75	С3	3,8
Калининград	1010	21,2	24,7	22,4	36	9,3	77	63	508	110	3	4,3
Калуга	990	21	25,2	23,4	38	10,7	76	59	441	89	С3	0
Кемерово	990	22,7	26,8	25,1	37	12,9	73	59	335	46	Ю3	0
Кострома	995	21,2	25,4	23,1	37	9,9	74	58	409	62	-	4,2
Краснодар	1010	27,4	31,1	29,8	42	13,2	64	46	393	107	СВ	0
Красноярск	980	22	26,2	24,3	36	11,1	70	58	369	97	3	0
Курган	1000	23,8	28,1	25,2	41	11,9	69	54	286	87	С	-
Курск	985	21,6	25,8	24	37	10	69	56	375	144	СВ	3,5
Кызыл	935	24,5	28,6	26,9	38	13,7	58	44	195	51	С	0
Липецк	995	23,5	27,5	25,9	39	11,6	66	51	382	69	С3	4,1

## Продолжение прил. 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Магадан (Нагаева бух-та)	1000	12,8	16,1	14,9	26	6	83	83	412	98	3	4,3
Майкоп	990	26,6	30,6	29	41	12,8	67	48	481	88	Ю	2,1
Махачкала	1015	26,2	29	28,6	38	7,8	64	60	246	104	ЮВ	4,9
Москва	995	22,6	26,3	23,6	37	10,5	70	56	443	61	СЗ	0
Мурманск	1005	15,8	21,5	17,5	33	8,8	73	61	322	58	С	3,8
Нальчик	970	24,6	28,6	27	39	10,4	68	54	505	-	ЮЗ	0
Нарьян-Мар	1010	15,2	19,7	17,6	33	9,2	75	61	307	54	С	5,2
Нижний Новгород	995	22,4	26,2	23,5	36	9,3	70	56	410	72	3	0
Новгород	1010	20,3	24,6	22,7	34	11	76	61	424	72	ЮЗ	4
Новосибирск	995	22	26,4	24,6	38	11,4	72	56	338	95	ЮЗ	0
Омск	995	23,3	27,7	25	40	8	68	52	296	75	СЗ	3,7
Орел	990	21,7	25,9	24,1	38	11,1	71	52	393	71	СЗ	3,9
Оренбург	1000	26,1	30	28,5	42	13,1	57	40	250	60	С	3,9
Пенза	985	22,9	27	25,3	39	10,9	67	50	378	-	СЗ	-
Пермь	990	21,5	25,3	23,4	37	10,9	69	57	424	72	С	0
Петрозаводск	1000	19	22,8	20,3	33	9	74	60	589	59	ЮЗ	3,2
Петропавловск-Камчатский	1000	14,4	19,2	16,8	29	6,2	82	75	754	207	ЮВ	0
Псков	1005	21,4	24,7	22,9	36	10,7	74	57	424	75	3	3,5
Ростов-на-Дону	1005	26,1	30	29,1	40	12,2	58	45	336	100	В	3,6
Рязань	1000	21,7	25,9	24,1	38	10,5	71	54	349	91	3	4,1
Самара	995	24,6	28,5	25,9	39	12,8	63	49	307	72	3	3,2
Санкт-Петербург	1010	20,5	24,6	22	34	8,2	72	60	420	76	3	0

## Окончание прил. 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Саранск	990	22,5	26,6	24,9	39	11,5	69	51	361	128	С	0
Саратов	1005	25,1	29,1	27,5	41	11,5	56	41	292	65	С3	4,3
Смоленск	985	20,8	24,3	22,3	35	10,2	77	62	457	67	С3	3,2
Сочи	1010	24,8	27,8	26,6	39	7,5	77	68	768	245	СВ	0
Ставрополь	965	25	29	27,4	40	9,8	59	47	457	-	3	0
Тамбов	995	23,2	27,3	25,6	38	11,2	67	49	366	60	С	2,8
Тверь	995	20,6	24,8	23	36	11,1	75	59	444	68	3	0
Томск	990	21,7	26	23,7	36	11	74	59	406	76	Ю	0
Тула	995	21,9	26,1	24,3	38	11	70	54	411	68	С3	3,4
Тюмень	1000	21,6	25,8	24	38	11,3	74	58	342	111	С3	0
Улан-Удэ	950	23,5	28	25,9	40	13,2	65	47	228	92	С3	0
Ульяновск	990	23,3	27,4	25,7	40	11,8	66	49	328	-	-	-
Уфа	990	23,3	27,3	24,2	39	10,7	72	54	362	58	С	0
Хабаровск	1000	23,5	26,9	25,7	40	8,6	78	67	556	99	Ю3	4,6
Чебоксары	1000	21,7	25,9	24,1	39	10,1	70	57	371	93	3	-
Челябинск	985	21,7	25,9	24,1	40	10,7	69	54	435	88	С3	3,2
Чита	935	22,8	26,9	25,2	38	14,2	71	53	316	51	С	0
Элиста	995	28,5	32	31	43	13	48	34	229	71	3	0
Южно-Сахалинск	1010	19,7	24	22,1	34	9,2	86	72	559	116	С	0
Якутск	995	22,8	26,9	25,2	38	13,5	60	57	186	78	С3	0
Ярославль	1000	20,8	25	23,2	37	10,8	74	58	404	76	С	3,9

Коэффициенты поглощения солнечной радиации  
материалом наружной поверхности ограждающих конструкций

Материал наружной поверхности ограждающих конструкций	Коэффициент поглощения солнечной радиации
Алюминий	0,5
Асбестоцементные листы	0,65
Асфальтобетон	0,9
Бетоны	0,7
Дерево неокрашенное	0,6
Защитный слой рулонной кровли из свет- лого гравия	0,65
Кирпич глиняный красный	0,7
Кирпич силикатный	0,6
Окраска силикатная темно-серая	0,7
Плитка облицовочная керамическая	0,8
Плитка облицовочная стеклянная синяя	0,6
Рубероид с песчаной посыпкой	0,9
Сталь листовая, окрашенная темно-крас- ной краской	0,8
Сталь кровельная оцинкованная	0,65
Стекло облицовочное	0,7
Штукатурка известковая темно-серая или терракотовая	0,7

## Сопrotивление воздухопроницанию материалов и конструкций

Материалы и конструкции	Толщина слоя, мм	Сопrotивление воздухопроницанию $R_n$ , м <sup>2</sup> ч Па/кг
Бетон (сплошной без швов)	100	19620
Газоснликат (сплошной без швов)	140	21
Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной в 1 кирпич и более	250 и более	18
Кладка из кирпича керамического пустотного на цементно-песчаном растворе толщиной в полкирпича	–	2
Кладка из легкобетонных камней на цементно-песчаном растворе	400	13
Обои бумажные обычные	–	20
Обшивка из обрезных досок, соединенных в шпунт	20-25	1,5
Обшивка из жестких древесно-волоknисных листов с заделков швов	10	3,3
Обшивка из гипсовой сухой штукатурки с заделков швов	10	20
Пенобетон (автоклавный без швов)	100	1960
Пенобетон неавтоклавный	100	196
Пенополистирол	50-100	79
Плиты минераловатные жесткие	50	2
Шлакобетон сплошной (без швов)	100	14
Штукатурка цементно-песчаным распором по каменной или кирпичной кладке	15	373

Предельно допустимые значения коэффициента  $\Delta w_{av}$

Материал ограждающей конструкции	Предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале $\Delta w_{av}$ %
1. Кладка из глиняного кирпича и керамических блоков	1,5
2. Кладка из силикатного кирпича	2,0
3. Легкие бетоны на пористых заполнителях (керамзитобетон, шугитобетон, перлитобетон, шлакопемзобетон)	5
4. Ячеистые бетоны (газобетон, пенобетон, газосиликат и др.)	6
5. Пеногазостелко	1,5
6. Фибролит и арболит цементные	7,5
7. Минераловатные плиты и маты	3
8. Пенополистирол и пенополиуретан	25
9. Фенольно-резольный пенопласт	50
10. Теплоизоляционные засыпки из керамзита, шунгизита, шлака	3
11. Тяжелый бетон, цементно-песчаный раствор	2



Коэффициенты звукопоглощения строительных материалов и конструкций

№ п/п	Материалы и конструкции	Коэффициент звукопоглощения для частот, Гц							
		125	250	500	1000	2000	4000		
1	2	3	4	5	6	7	8		
<i>Обычные материалы и конструкции</i>									
1	Кирпичная кладка без расшивки швов	0,15	0,19	0,29	0,28	0,38	0,46		
2	То же, с расшивкой швов	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06		
3	Стены оштукатуренные, окрашенные клеевой краской	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04		
4	То же, окрашенные масляной краской	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02		
5	Штукатурка по металлической сетке с воздушной полостью позади	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06		
6	Бетон с железнением поверхности	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02		
7	Мрамор, гранит и другие каменные породы шлифованные	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02		
8	Травертин	0,02	0,03	0,03	0,03	0,035	0,04		
9	Метлахская плитка	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03		
10	Панель деревянная толщиной 10–15 мм с воздушной прослойкой 50–100 мм позади плит	0,3	0,15	0,06	0,05	0,04	0,04		
11	Плиты древесно-стружечные неокрашенные толщиной 20 мм с воздушной прослойкой 50–150 мм	0,1	0,08	0,05	0,05	0,04	0,08		

1	2	3	4	5	6	7	8
12	Плиты твердые древесно-волокнистые толщиной 4 мм, плотностью 1000 кг/м <sup>3</sup> , с воздушной прослойкой 50–150 мм	0,3	0,16	0,08	0,05	0,04	0,08
13	Штукатурка гипсовая сухая толщиной 10 мм с воздушной прослойкой 50–150 мм	0,3	0,25	0,1	0,08	0,05	0,04
14	Переплеты оконные застекленные	0,3	0,2	0,15	0,1	0,06	0,04
15	Светопрозрачные ограждения из стеклоблоков	0,01	0,02	0,02	0,06	0,06	0,06
16	Пол паркетный	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
17	Пол дощатый на лагах	0,1	0,1	0,1	0,08	0,08	0,09
18	Линолеум на твердой основе	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
19	Ковер шерстяной толщиной 9 мм по бетону	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,3
20	То же, на войлочной подкладке толщиной 3 мм	0,11	0,14	0,37	0,43	0,27	0,3
21	Портьеры хлопчатобумажные на подкладке со складками, поверхностная плотность ткани 0,5 кг/м <sup>2</sup>	0,05	0,3	0,45	0,7	0,65	0,5
22	Портьеры плюшевые со складками, поверхностная плотность ткани 0,65 кг/м <sup>2</sup>	0,15	0,35	0,55	0,7	0,7	0,65
23	Фибролит толщиной 50 мм с воздушной прослойкой 50–100 мм	0,2	0,45	0,45	0,5	0,6	0,65
24	Вентиляционные решетки	0,3	0,42	0,5	0,5	0,5	0,51
25	Вода в ванне бассейна	0,01	0,01	0,013	0,015	0,02	0,025
26	Проем сцены, оборудованной декорациями	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
27	Киноэкран	0,3	-	0,4	-	0,4	-
<i>Покрытия полов спортивных залов</i>							
28	«Тарафлекс. Спорт М»	0,02	0,03	0,03	0,08	0,06	0,03

1	2	3	4	5	6	7	8
29	Искусственная трава фирмы «Полиграс»	0,07	0,07	0,075	0,1	0,39	0,52
30	«Астротурф»	0,1	0,15	0,3	0,5	0,7	0,5
31	«Пуластик»	0,05	0,12	0,2	0,2	0,15	0,1
32	«Спортан» пористый	0,05	0,06	0,7	0,1	0,3	0,5
33	«Спортан»	0,04	0,05	0,08	0,18	0,2	0,3
34	«Риздор»	0,02	0,03	0,04	0,18	0,25	0,17
35	«Тартан»	0,02	0,03	0,06	0,1	0,18	0,17
<i>Специальные звукопоглощающие материалы и конструкции</i>							
36	Плиты гипсовые перфорированные с пористым заполнителем, размер 810×810×26 мм: – без воздушной прослойки – с воздушной прослойкой, мм: 50 100 200	0,05	0,2	0,45	0,75	0,55	0,35
37	Плиты пористые акустически «Акмигран», размер 300×300×20 мм: – без воздушной прослойки – с воздушной прослойкой, мм : 50 100 200	0,05	0,15	0,5	0,65	0,65	0,7
		0,15	0,55	0,55	0,65	0,65	0,7
		0,25	0,55	0,55	0,65	0,65	0,7
		0,35	0,6	0,6	0,65	0,7	0,75

1	2	3	4	5	6	7	8
38	Плиты «Силакпор»: – без воздушной прослойки – с воздушной прослойкой 100 мм	0,2 0,5	0,5 0,7	0,65 0,6	0,6 0,55	0,6 0,55	0,6 0,6
39	Минские плиты А-1: – без воздушной прослойки – с воздушной прослойкой 200 мм	0,1 0,4	0,3 0,65	0,6 0,65	0,7 0,7	0,8 0,75	0,8 0,75
40	Плиты «Москва»: – без воздушной прослойки – с воздушной прослойкой 100 мм	0,1 0,2	0,25 0,6	0,8 0,6	0,6 0,5	0,5 0,35	0,35 0,3
41	Плиты «Мелодия»: – без воздушной прослойки – с воздушной прослойкой 100 мм	0,15 0,25	0,25 0,5	0,8 0,6	0,4 0,45	0,2 0,3	0,2 0,3
42	Фибролит толщиной около 50 мм с воздушной прослойкой 50-100 мм	0,2	0,45	0,45	0,5	0,75	0,65
43	Слой пористого звукопоглотителя толщиной не менее 100 мм, покрытый стеклотканью или мешковиной и деревянными рейками шириной 20-25 мм, толщиной 10-12 мм и расстоянием между ними 15-20 мм	0,4	0,7	0,8	0,8	0,75	0,65
44	То же, вместо реек гипсовые плиты размером 400×400×10 и 500×500×10 мм, с отверстиями диаметром 10 мм и шагом 24 мм	0,4	0,7	0,75	0,6	0,45	0,3

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. СОСТАВЛЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО ПАСПОРТА МЕСТНОСТИ.....	7
2. ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ.....	20
3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЭФФЕКТИВНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ МЕСТНОСТИ.....	23
4. ИНСОЛЯЦИЯ ЗДАНИЙ И ЗАСТРОЙКИ.....	26
5. МИКРОКЛИМАТ В ПОМЕЩЕНИЯХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ .....	36
6. ЕСТЕСТВЕННАЯ АКУСТИКА ЗРИТЕЛЬНЫХ ЗАЛОВ.....	78
7. АКУСТИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗАЛАМ.....	82
8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРЬЕРА ЗАЛА С ЕСТЕСТВЕННОЙ АКУСТИКОЙ.....	90
9. РАЗРАБОТКА ЦВЕТОВОГО РЕШЕНИЯ ИНТЕРЬЕРА ЗРИТЕЛЬНОГО ЗАЛА .....	98
10. ПРИМЕР АКУСТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КОНЦЕРТНОГО ЗАЛА ВМЕСТИМОСТЬЮ $N = 325$ МЕСТ .....	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	107
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	108
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	109





Учебное издание

Петрянина Любовь Николаевна  
Викторова Ольга Леонидовна  
Дерина Мария Александровна

АРХИТЕКТУРНАЯ ФИЗИКА  
Учебное пособие

В авторской редакции  
Верстка Н.В. Кучина

---

Подписано в печать 28.03.16.                      Формат 60x84/16.  
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.  
Усл.печ.л. 8,37.      Уч.-изд.л. 9,0.                      Тираж 80 экз.  
Заказ № 218.

---

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

