

# СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА



◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆

УДК 69:53  
ББК Н113я73-5  
С863

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

**Р е ц е н з е н т**

Кандидат технических наук,  
доцент кафедры "Архитектура и строительство зданий" ТГТУ  
*А.И. Антонов*

**С о с т а в и т е л и:**

*К.А. Андрианов,*  
*И.В. Матвеева,*  
*А.М. Макаров*

С863      Строительная физика: метод. указ. / сост. : К.А. Андрианов,  
И.В. Матвеева, А.М. Макаров. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн.  
ун-та, 2007. – 64 с. – 100 экз.

Изложены теоретические основы и дано описание лабораторных работ, проводимых в составе курса "Строительная физика". Лабораторные работы, включенные в методические указания, составлены применительно к оборудованию лаборатории строительной физики кафедры "Городское строительство и автомобильные дороги" ТГТУ.

Предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения специальностей 270102 "Промышленное и гражданское строительство" и 270105 "Городское строительство и хозяйство".

УДК 69:53  
ББК Н113я73-5

© ГОУ ВПО "Тамбовский государственный  
технический университет" (ТГТУ), 2007

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ГОУ ВПО "Тамбовский государственный технический университет"**

# СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

Методические указания к лабораторным работам  
для студентов дневной и заочной форм обучения  
специальностей 270102, 270105



---

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2007

Учебное издание

# **СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА**

Методические указания

С о с т а в и т е л и:

АНДРИАНОВ Константин Анатольевич,  
МАТВЕЕВА Ирина Владимировна,  
МАКАРОВ Александр Михайлович

Редактор В.Н. М и т р о ф а н о в а  
Компьютерное макетирование М.А. Ф и л а т о в о й

Подписано в печать 17.12.07  
Формат 60 × 84/16. 3,72 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 818

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ВВЕДЕНИЕ

При изучении дисциплины "Строительная физика" большое внимание уделяется вопросам, связанным с созданием оптимальной среды помещений и с проектированием ограждающих конструкций, обеспечивающих необходимые параметры и качество этой среды.

Параметры внутренней среды здания, техническое состояние ограждающих конструкций, их эксплуатационная надежность и долговечность зависят от целого ряда внешних и внутренних воздействий. К ним относятся: атмосферные (низкие и высокие температуры, солнечная радиация, ветер, осадки и др.) и эксплуатационные (шум, вибрация, тепловые выделения, агрессия внутренних сред, влага, газы и др.) воздействия.

Среди факторов, определяющих качество среды помещений, существенное значение имеют состояние воздушной среды, акустический режим и световая обстановка в помещении.

Состояние воздушной среды, или микроклимат, представляет собой запас воздуха для дыхания с оптимальными параметрами температуры, влажности и скорости его движения, соответствующими нормальному тепло- и влагообмену организма человека.

Звуковой режим помещения определяется условиями слышимости (речи, музыки, сигналов), соответствующими его функционально-технологическому назначению, а также защитой от шума, возникающего как в самом помещении, так и проникающему извне, раздражающего человека в период отдыха и в процессе труда.

Световая обстановка в помещении определяет условия работы органов зрения, соответствующие требуемому функциональному назначению данного помещения. Световой режим помещения определяется не только степенью освещенности рабочих поверхностей помещения, но и неравномерностью освещения, контрастностью яркостей в поле зрения и др. Со световой обстановкой тесно связаны вопросы цветового решения помещений, так как цветовые характеристики среды оказывают влияние не только на органы зрения, но и на нервную систему человека.

Исследование физических процессов, происходящих в ограждающих конструкциях и разделяемых ими средах, составляет предмет изучения строительной физики, как прикладной научной дисциплины. Строительная физика включает в себя следующие разделы: строительную теплофизику (исследование микроклимата помещений, теплопередачи, влажностного режима и воздухопроницаемости ограждений), строительную светотехнику (исследования естественного и совмещенного освещения, инсоляционного режима, разработку световых и цветовых решений), строительную и архитектурную акустику (исследования и разработки в области борьбы с шумом и обеспечения оптимальных акустических условий в помещениях).

При изучении перечисленных выше проблем в строительной физике наряду с теоретическими методами широкое распространение имеют экспериментальные методы физических исследований. Экспериментальные методы позволяют выявить характеристики физических свойств материалов и конструкций, определить состояние среды, в которой они эксплуатируются. Установить эксплуатационные качества ограждений (теплозащиту, теплоизоляцию и др.) и помещений (микроклимат, световой и акустический режимы и др.). В этой связи при подготовке инженеров-строителей предусмотрено выполнение лабораторных работ по строительной физике.

Лабораторные занятия позволяют глубже осмыслить расчетно-теоретические методы, применяемые при проектировании ограждений и помещений. При выполнении ряда лабораторных работ используются современные приборы и оборудование, позволяющие обрабатывать данные, полученные в результате экспериментов, с помощью персонального компьютера.

Для успешного выполнения лабораторных работ важное значение имеет правильная организация проведения лабораторных занятий. На первом лабораторном занятии преподаватель сообщает студентам содержание и цели занятий, их организацию, правила работы в лаборатории. Перед очередным занятием студент должен изучить рекомендуемую литературу по теме лабораторной работы, подготовить ответы на контрольные вопросы, заготовить материалы к отчету (схемы чертежей установки, формы записей экспериментальных данных и др.).

После получения задания от преподавателя студент должен проверить комплектность и исправность приборов и установки, выполнить экспериментальную часть работы, привести в порядок рабочее место, оформить отчет о работе и защитить его у преподавателя.

Составление отчета по каждой работе может производиться в конце занятия или в период между очередными занятиями. Содержание отчета состоит из общей, экспериментальной и расчетно-теоретической частей. В общей части указываются цель и задачи работы, приводится состав приборов и оборудования, дается схема установки. В экспериментальной части приводятся записи экспериментальных данных, результаты их обработки и полученные на основе их выводы. В расчетно-теоретической части даются результаты расчетов, приводятся полученные при этом графики или другие зависимости, производится сравнение результатов расчета с данными эксперимента и формулируются окончательные выводы.

Более подробная информация о содержании отчета дается в методических указаниях к каждой конкретной работе.

## 1. СТРОИТЕЛЬНАЯ СВЕТОТЕХНИКА

Строительной светотехникой называется раздел строительной физики, в котором рассматриваются прикладные вопросы использования солнечного света в строительстве и архитектуре. Одними из основных задач строительной светотехники являются задачи по разработке принципов и мер, обеспечивающих необходимый световой режим в помещениях, по созданию оптимальных условий инсоляции (облучение прямым солнечным светом) помещений и защите их от перегрева солнечной энергией в летнее время. При решении этих задач наряду с физико-математическими методами широкое распространение находят экспериментальные методы, позволяющие выполнять определение характеристик освещенности помещений, исследовать ее зависимость от планировочных и конструктивных решений, определять эффективность мер по улучшению светового режима и обеспечению требуемых условий инсоляции.

Целью лабораторных работ данного раздела является ознакомление студентов с методами исследования освещенности и уяснение ими влияния некоторых планировочных и конструктивных факторов на освещенность и инсоляцию помещений.

Перед тем, как приступить к выполнению лабораторных работ, необходимо ознакомиться с основными понятиями и определениями строительной светотехники, принципами представления и обработки светотехнических величин.

Наибольшее значение в практике проектирования и экспериментальных исследований светового режима помещений имеют величины освещенности  $E$  и коэффициента естественной освещенности  $e$ .

Освещенностью  $E$  поверхности называется отношение величины падающего светового потока  $\Phi$  к площади освещаемой поверхности  $S$

$$E = \Phi/S. \quad (1)$$

За единицу освещенности принимается 1 люкс (лк).

Освещение помещений через световые проемы создает освещенность в них значительно ниже наружной освещенности, где источником света является солнце и весь небосвод. Условия освещенности под открытым небом непостоянны во времени и, следовательно, непостоянна освещенность помещений. Это обстоятельство делает невозможным установление требуемых значений естественной освещенности внутри помещений в абсолютных единицах – люксах. Поэтому в практике оценка освещенности производится в относительных единицах с помощью коэффициентов естественной освещенности (сокращенно КЕО).

Коэффициент естественной освещенности  $e$  есть выраженное в процентах отношение освещенности  $E_v$  в конкретной исследуемой точке помещения к одновременной освещенности  $E_n$  наружной точки, расположенной на горизонтальной плоскости, освещенной рассеянным светом небосвода. Математически КЕО представляется выражением

$$e = \frac{E_v}{E_n} \cdot 100 \%. \quad (2)$$



**Рис. 1. Внешний вид портативного люксметра ТКА-Люкс**

Коэффициент естественной освещенности зависит от количества стекол в переплете, размеров, формы и расположения световых проемов, светопропускания остекления, взаимного расположения зданий, светлоты окраски внутренних поверхностей помещений, наличия солнцезащитных устройств (жалюзи, козырьков и др.) и других факторов. Исследование влияния некоторых из перечисленных факторов на освещенность помещений выполняется в данном разделе методических указаний.

Более подробно с основными понятиями и определениями строительной светотехники можно ознакомиться в [1, 5].

Измерение величины естественной освещенности при проведении исследований выполняется специальным прибором – люксметром, предназначенным для измерения освещенности, создаваемой различными источниками. Внешний вид люксметра представлен на рис. 1.

Основные сведения по конструкции и пользованию люксметром даны в инструкции, прилагаемой к прибору. Студенты должны изучить ее перед началом выполнения лабораторных работ.

## Лабораторная работа 1

### ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ИНСОЛЯЦИИ ОТДЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ИНСОЛЯТОРА

Цель работы: знакомство с требованиями, предъявляемыми к инсоляции отдельных зданий и внутриквартальных территорий, а также методами определения оптимальной ориентации зданий с помощью инсолятора.

Приборы и оборудование: инсолятор; макеты зданий; прожектор-"искусственное солнце".

#### Методические указания

При составлении климатических характеристик района строительства выявляют наиболее характерные факторы климата. В ряде случаев таким ведущим фактором в зависимости от назначения зданий или застройки (жилой дом, школа, жилой квартал, микрорайон и т.д.) является солнечная радиация.

Прямая солнечная радиация, т.е. облучение помещений зданий и территорий прямыми солнечными лучами, называется инсоляцией. Действие инсоляции на климат помещений может быть положительным и отрицательным. Положительное воздействие определяется бактерицидными, химическими и тепловыми свойствами солнечного света. В ряде случаев из-за избыточного притока тепла и перегрева помещений в летнее время, а также из-за химического воздействия солнечных лучей, блескости и слепимости их (например, картинные галереи, библиотеки, учебные заведения, производственные помещения) оно является вредным.

Для зданий, в которых инсоляция обязательна (жилые здания, детские дошкольные учреждения, учебные заведения, лечебно-профилактические и санаторно-курортные учреждения), нормами устанавливается минимальное время инсоляции в зависимости от назначения здания и времени года с учетом географической широты местности.

Нормируемая продолжительность непрерывной инсоляции для помещений жилых и общественных зданий согласно [12] приведена в табл. П1.1. 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 квартир с общим числом комнат более 3. Допускается прерывистость продолжительности инсоляции, при которой один из периодов должен быть не менее 1 ч. При этом суммарная продолжительность нормируемой инсоляции должна увеличиваться на 0,5 ч соответственно для каждой зоны.

В соответствии с нормами продолжительности инсоляции важным условием выбора типов отдельных зданий и расположения их в планировочной системе (района, микрорайона и т.п.) являются пределы ориентации фасадов по сторонам горизонта, при которых обеспечивается требуемый минимум инсоляции или защита от перегрева и химического воздействия лучей. Поэтому все здания в зависимости от планировочных решений делятся на здания неограниченной, частично-ограниченной и ограниченной ориентации. В многоэтажных жилых зданиях используют, в основном, два типа планировочных решений с меридиональными и широтными секциями, ориентируемыми соответственно по меридиану или широте.

Условия инсоляции помещений и территорий могут определяться аналитическими или графическими методами, с помощью инсоляционных графиков, а также с помощью моделирования, осуществляемого на установках – инсоляторах.

Для решения вопросов инсоляции необходимо знать солнечный климат местности, который определяется географической широтой, временем года и дня, высотой стояния солнца в данный момент ( $h_0$ ), азимутом солнца (угол  $A_0$ ), отсчитываемым в северном полушарии от южного конца магнитной стрелки. В конструкции используемого в лабораторной работе инсолятора (рис. 2) предусмотрена возможность моделирования характеристик солнечного климата для заданного района строительства.

Инсолятор имеет четыре шкалы: 1 – шкала географической широты местности; 2 – шкала установки азимута ( $A_0$ ), зависящего от времени суток; 3 – шкала, учитывающая угол наклона земного шара к перпендикуляру, опущенному на плоскость горизонта; 4 – шкала ориентации здания или квартала по сторонам света. Высота солнцестояния ( $h_0$ ) получается путем соответствующей установки шкалы 3 (летом – "+23,5°"; зимой – "-23,5°"; в осенне-весенний период – "±0,0°") и шкалы 1.

При определении продолжительности инсоляции не учитывается первый час после восхода и последний час перед заходом солнца для районов южнее 58° с. ш. и 1,5 ч для районов севернее 58° с. ш. Измерения инсоляции производятся на макетах отдельно стоящих жилых зданий. Инсоляция определяется для весенне-осеннего и летнего периодов. Рассматриваются характер инсоляции в дни весенне-осеннего равноденствия 21 марта и 21 сентября, в день летнего солнцестояния – 21 июня. Данные по инсоляции регистрируются для двух продольных фасадов здания.

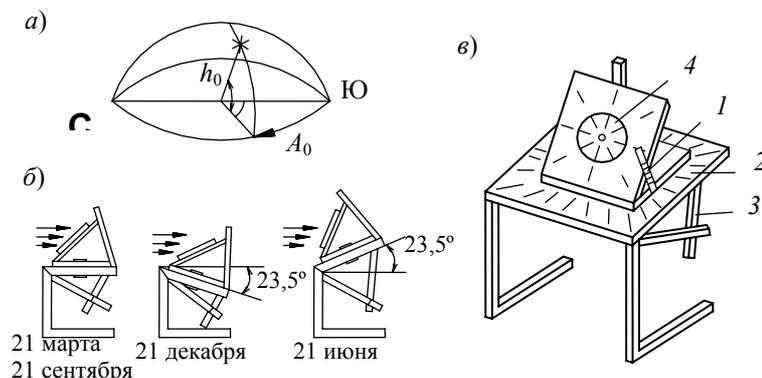


Рис. 2. Устройство инсолятора:

а – модель небосвода для определения высоты солнцестояния;  
б – схема моделирования высоты солнцестояния; в – схема инсолятора

### Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

1. В соответствии с заданным городом устанавливается по шкале 1 географическая широта местности (табл. П.1.2).
2. Макет здания (тип секции выдается преподавателем) устанавливается на круге (шкала 4) сначала в меридиональной, а затем в широтной ориентации.
3. По шкале 3 устанавливается весенне-осенний период солнцестояния (см. рис. 2) и по шкале 2 определяются часы начала и конца инсоляции для каждого фасада. Для этого необходимо вращением поворотного круга по шкале 2 установить макет так, чтобы лучи "солнца" падали параллельно плоскости исследуемого фасада, а затем, учитывая, что световой угол окна составляет  $140^\circ$ , повернуть еще дополнительно круг на  $20^\circ$ . При этом указатель шкалы 2 зафиксирует время начала инсоляции помещений. Время окончания инсоляции фасада определяется моментом, когда последний солнечный луч скользит по плоскости фасада. Установив макет в таком положении, следует повернуть круг в обратном направлении на  $20^\circ$ . Указатель шкалы 2 зафиксирует время окончания инсоляции помещений. Полученное время начала и конца инсоляции и ее продолжительность заносятся в табл. 1. Определение инсоляции выполняется для двух продольных фасадов здания с учетом меридиональной и широтной ориентации здания.
4. По шкале 3 устанавливается период летнего солнцестояния (см. рис. 2) и таким же образом определяются часы начала, конца и продолжительности инсоляции каждого фасада. Результаты заносятся в табл. 1.

#### 1. Продолжительность инсоляции зданий

Фаса д здани я	Весна-осень			Лето		
	начало инсоляц ии	конец инсоляц ии	продол жительн ость, ч	начало инсоляц ии	конец инсоляц ии	продол жительн ость, ч
	Меридиональное положение здания					
А						
Б						
	Широтное положение здания					
А						
Б						

5. По полученным результатам дается оценка планировочного решения и указывается вид секции исследуемого здания по ориентации в застройке. В отчете необходимо дать рисунок секции с возможными пределами ее ориентации.

#### Контрольные вопросы

1. Инсоляция, ее роль и значение в проектировании зданий.
2. Нормирование инсоляции.
3. Меры борьбы с излишней инсоляцией.
4. Характеристика солнечного климата района строительства.
5. Методы исследования инсоляции.

Литература: [1, 12].

### Лабораторная работа 2

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ ПОМЕЩЕНИЙ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Цель работы: знакомство с методикой и приборами, используемыми при исследовании естественной освещенности помещений.

Приборы и оборудование: люксметр; рулетка.

#### Методические указания

Освещение помещений естественным светом характеризуется коэффициентом естественной освещенности ряда точек, расположенных в пересечении двух плоскостей: вертикальной плоскости характерного разреза помещения (обычно посередине помещения по оси световых проемов или между ними) и горизонтальной плоскости, принимаемой за условную рабочую плоскость помещения. Равномерность освещенности определяется кривыми освещенности, показывающими изменение КЕО в отдельных точках помещения. Построение кривых КЕО может быть выполнено по данным эксперимента или расчета графическим методом А.М. Данилюка [18].

Полученные значения сравниваются с нормативными, вычисляемыми по формуле

$$e_N = e_n m_N, \quad (3)$$

где  $N$  – номер группы административных районов по прил. Д [13];  $e_n$  – нормированное значение КЕО по прил.И [13];  $m_N$  – коэффициент светового климата, принимаемый по табл. П.1.3.

В небольших помещениях с боковым естественным освещением нормируется минимальное значение КЕО в пределах рабочей зоны помещения. В помещениях с верхним или комбинированным освещением нормируется среднее в пределах рабочей зоны значение КЕО, определяемое как

$$e_{cp} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{2}, \quad (4)$$

где  $e_i$  – значения КЕО в отдельных точках помещения, находящихся на равных расстояниях друг от друга;  $n$  – количество точек, в которых определяется КЕО.

В задачу настоящей лабораторной работы входит определение естественной освещенности помещения лаборатории при боковом освещении, выявление соответствия ее нормативным требованиям.

### Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

1. В масштабе вычерчиваются план и два разреза помещения, в котором производится исследование освещенности. На плане и разрезах намечается система точек, в которых необходимо производить измерения (рис. 3). Крайние точки следует

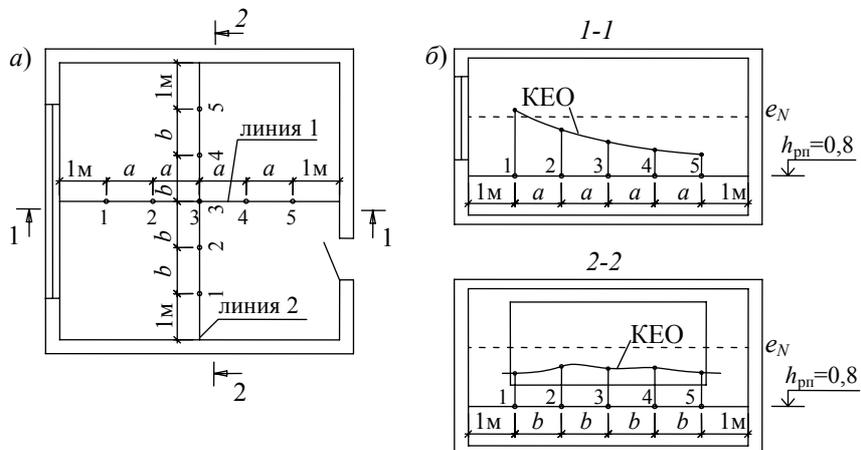


Рис. 3. Схема размещения точек измерения освещенности:  $a$  – на плане помещения;  $b$  – в разрезах помещения

принимать на расстоянии 1 м от поверхности стен.

2. С помощью люксметра измеряется освещенность под открытым небом и во всех намеченных точках помещения. Измерения выполняются дважды, причем во второй раз в обратной последовательности. Результаты измерений заносятся в табл. 2.

3. Вычисляются значения КЕО, на разрезах в масштабе строятся кривые КЕО помещения.
4. Производится сравнение фактической освещенности с нормативной и дается ее оценка.
5. По результатам выполненных исследований делается анализ зависимости условий освещения помещений от места расположения и площади световых проемов.

### 2. Результаты измерений освещенности и расчета КЕО

Разрез $z$	Точки измерения	Освещенность в помещении, $E_v$ , лк			Наружная освещенность, $E_n$ , лк			КЕО, %  $e = \frac{E_v^{cp}}{E_n^{cp}} \cdot 100 \%$
		замер		$E_v^{cp}$	замер		$E_n^{cp}$	
		1	2		1	2		
1-1	1..							
	..5							
2-2	1..							
	..5							

### Контрольные вопросы

1. Светотехнические величины и единицы, используемые в строительной светотехнике.
2. Техно-экономическое и гигиеническое значения естественного освещения помещений.
3. Освещенность и КЕО. Принципы их экспериментального определения и расчета.
4. Нормирование освещенности помещений.
5. Факторы, влияющие на КЕО помещений.
6. Рациональные приемы размещения световых проемов и принципы определения их размеров на стадии проектирования зданий.

Литература: [1, 13, 18].

## Лабораторная работа 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОПРОПУСКАНИЯ ОСТЕКЛЕНИЯ СВЕТОВЫХ ПРОЕМОВ

Цель работы: знакомство с приближенной методикой оценки влияния некоторых факторов на светопропускание остекления световых проемов.

Приборы и оборудование: люксметр; модельная установка для определения коэффициентов светопропускания; набор испытуемых образцов светопрозрачных материалов.

#### Методические указания

При прохождении светового потока через светопрозрачное ограждение часть световой энергии теряется. Количественно светопропускание проема характеризуется коэффициентом светопропускания  $\tau_0$ , определяемым как произведение коэффициентов  $\tau_i$ , соответствующих видам потерь энергии света в проеме. В наиболее общем виде  $\tau_0$  вычисляется как

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5, \quad (5)$$

где  $\tau_1$  – коэффициент светопропускания материала, учитывающий потери света при прохождении светового потока через слой светопрозрачного материала (стекла, стеклопластика и т.п.);  $\tau_2$  – коэффициент светопропускания, учитывающий светопотери за счет непрозрачных элементов проема (переплетов);  $\tau_3$  – коэффициент светопропускания, учитывающий светопотери за счет загрязнения поверхности остекления;  $\tau_4$  – коэффициент светопропускания, учитывающий затенение светопроемов несущими конструкциями покрытия;  $\tau_5$  – коэффициент светопропускания, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах.

Величины коэффициентов  $\tau_2$ ,  $\tau_4$ ,  $\tau_5$  зависят от принятых конструктивных решений, соответственно, оконных заполнений, покрытий и солнцезащитных устройств, а коэффициентов  $\tau_1$  и  $\tau_3$  – от свойств и состояния остекления.

Усредненные значения коэффициентов  $\tau_i$ , необходимые для выполнения расчетов освещенности на стадии проектирования помещений и выбора конструктивных решений оконных заполнений, приведены в [13, 18]. Значения  $\tau_1$  и  $\tau_3$  возможно также определять в лабораторных и натуральных условиях.

В лабораторных условиях значения коэффициентов  $\tau_1$  и  $\tau_3$  или их произведение определяют на специальных установках (шары Гуревича) [3; 7]. В этом случае для проведения исследования из остекления должны вырезаться образцы. В натуральных условиях с помощью люксметров можно определить приближенные значения произведения коэффициентов  $\tau_1 \cdot \tau_3$ .

Определить приближенные значения коэффициентов  $\tau_1$  и  $\tau_3$  и оценить их зависимость от различных факторов возможно также на учебной лабораторной установке, используемой в данной работе. Схема установки приведена на рис. 4.

Для оценки светопрозрачных свойств остекления кроме коэффициента светопропускания  $\tau_1$ , определяемого отношением прошедшего через остекление светового потока  $\Phi_\tau$  к падающему на него потоку  $\Phi_n$ ,  $\tau_1 = \Phi_\tau / \Phi_n$ , необходима иногда информация о коэффициентах поглощения  $\alpha$  и отражения световой энергии  $\rho$ . Коэффициент  $\alpha$  определяется отношением поглощаемого светового потока  $\Phi_\alpha$  к падающему  $\Phi_n$ ,  $\alpha = \Phi_\alpha / \Phi_n$ . Коэффициенты  $\alpha$ ,  $\rho$ ,  $\tau_1$  связаны между собой соотношением  $\alpha + \rho + \tau_1 = 1$ . В табл. П.1.4 приложения приведены усредненные значения коэффициентов  $\alpha$ ,  $\rho$  и  $\tau_1$  некоторых строительных материалов.

В данной работе необходимо с помощью учебной лабораторной установки (рис. 4) определить коэффициенты  $\alpha$ ,  $\rho$ ,  $\tau_1$  и  $\tau_3$  различных светопрозрачных материалов. По полученным данным необходимо проанализировать влияние некоторых факторов на светопрозрачность остекления.

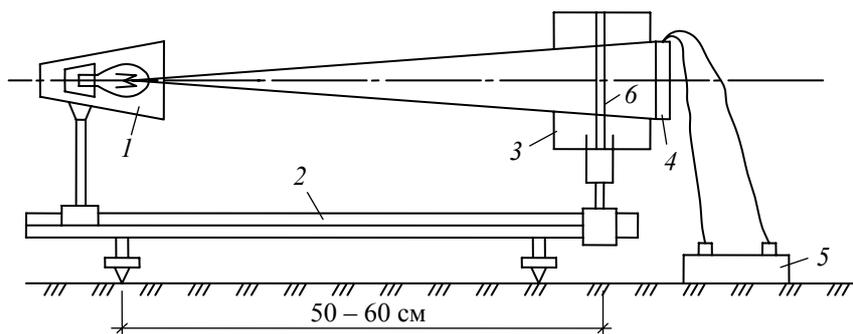


Рис. 4. Схема лабораторной установки для определения коэффициентов светопропускания:

1 – источник света; 2 – оптическая скамья; 3 – корпус светоприемника;  
4 – фотозащитный экран; 5 – люксметр; 6 – испытуемый образец стекла

#### Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

1. Определение коэффициентов  $\alpha$ ,  $\rho$  и  $\tau_1$  для различных типов стекол. Работа выполняется в следующей последовательности:

– устанавливается приемное устройство оптической скамьи на расстоянии 50...60 см от источника света (см. рис. 3);  
– при включенном источнике света производятся измерения освещенности при отсутствии ( $E_n$ ) и при наличии образцов светопрозрачных материалов ( $E_{\tau_1}$ ). Результаты измерений заносятся в табл. 3;

– для каждого исследуемого вида остекления производятся вычисления:

- падающего светового потока  $\Phi_n = E_n S$ , лм;

- прошедшего светового потока  $\Phi_{\tau_1} = E_{\tau_1} S$ , лм;
- поглощенного светового потока  $\Phi_{\alpha} = \alpha \Phi_{\Pi}$ , лм;
- отраженного светового потока  $\Phi_{\rho} = \Phi_{\Pi} - (\Phi_{\alpha} + \Phi_{\tau_1})$ , лм;
- коэффициента отражения  $\rho = \Phi_{\rho} / \Phi_{\Pi}$ .

Здесь  $S$  – площадь отверстия приемного устройства;  $\alpha$  – коэффициент поглощения материала остекления, принимаемый по табл. П.1.4.

Результаты измерений и расчетов заносятся в табл. 3.

### 3. Результаты лабораторного определения коэффициентов $\alpha$ , $\rho$ , $\tau_1$

№ п/п	Наименование материала*	Освещенность, лк		Световой поток, лм			Коэффициенты		
		$E_{\Pi}$	$E_{\tau_1}$	$\Phi_{\tau_1}$	$\Phi_{\alpha}$	$\Phi_{\rho}$	$\tau_1$	$\alpha$	$\rho$
1									
...									
9									

Примечание. \*Перечень образцов стекол, подлежащих исследованию, указывается преподавателем, ведущим занятие.

2. Оценка влияния загрязнения на коэффициент светопропускания стекла. Работа выполняется в следующей последовательности:

- как и в п. 1 работы производится измерение освещенностей  $E_{\Pi}$ ,  $E_{\tau_1}$  – чистого стекла и освещенность  $E_{[\tau_1 \cdot \tau_3]}$  – при различной степени его загрязнения;
- определяются значения коэффициентов  $\tau_1 = E_{\tau_1} / E_{\Pi}$  – для чистого стекла и  $[\tau_1 \cdot \tau_3] = E_{[\tau_1 \cdot \tau_3]} / E_{\Pi}$  – для загрязненного стекла;
- определяются коэффициенты светопропускания, учитывающие светопотери за счет загрязненности поверхности стекла  $\tau_3 = \tau_1 \tau_3 / \tau_1$ .

Результаты измерений и расчетов заносятся в табл. 4.

### 4. Результаты определения коэффициентов светопропускания стекла при различной степени его загрязнения

Степень загрязнения материала, %	Освещенность, лк			Коэффициенты		
	$E_{\Pi}$	$E_{\tau_1}$	$E_{[\tau_1 \cdot \tau_3]}$	$\tau_1$	$[\tau_1 \cdot \tau_3]$	$\tau_3$
0			–		–	–
10	–	–		–		
50	–	–		–		
70	–	–		–		

3. На основании выполненных исследований дается анализ влияния различных факторов на светопропускание остекления. Указываются причины расхождения полученных результатов с данными, приведенными в [13; 18] и табл. П.1.4.

#### Контрольные вопросы

1. Коэффициенты светопропускания проема и остекления. Методика их определения.
  2. Факторы, влияющие на светопропускание остекления и светового проема в целом.
  3. Техничко-экономическое значение увеличения светопрозрачности остекления.
- Литература: [1, 7, 13, 18].

### Лабораторная работа 4

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТРАЖАЮЩИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОСВЕЩЕННОСТЬ ПОМЕЩЕНИЙ

Цель работы: уяснение значения цветовой окраски внутренних поверхностей на освещенность помещений.

Приборы и оборудование: люксметр; модель помещения с набором различных по цвету образцов поверхностей.

## Методические указания

На величину КЕО большое влияние оказывает свет, отраженный от внутренних поверхностей помещения. При применении светлой окраски поверхностей освещенность отдельных наименее освещенных точек в помещении может повышаться в 2–3 раза.

При расчетах КЕО влияние отраженного света учитывается введением в расчетные формулы коэффициентов  $\rho_1$  и  $\rho_2$  [18], принимаемых в зависимости от геометрических характеристик помещений и величины средневзвешенного коэффициента светоотражения поверхностей

$$\rho = \frac{\rho_1 S_1 + \rho_2 S_2 + \rho_3 S_3}{S_1 + S_2 + S_3}, \quad (6)$$

где  $\rho_1, \rho_2, \rho_3$  – коэффициенты светоотражения, соответственно, стен, потолка и пола, принимаемые в зависимости от вида их цветовой отделки;  $S_1, S_2, S_3$  – площади, соответственно, стен, потолка и пола.

Коэффициент светоотражения поверхности определяется отношением величины отраженного светового потока  $\Phi_{отр}$  к величине падающего на эту поверхность светового потока  $\Phi_{пад}$ :  $\rho = \Phi_{отр} / \Phi_{пад}$ .

Величина  $\rho$  зависит от фактуры поверхности, цветовой отделки ее и чистоты. Значение коэффициента  $\rho$  некоторых поверхностей приведены в табл. П.1.5.

Задачами настоящей лабораторной работы является приближенное определение коэффициентов  $\rho$  в натуральных условиях и их сравнение с данными, приведенными в табл. П.1.5, а также исследование на модели помещения степени влияния светлоты отделки поверхностей на освещенность помещений.

Следует отметить, что точные значения коэффициентов могут быть получены в лабораторных условиях на специальных установках типа шара Тейлора или при применении сравнительного метода [3].

При определении коэффициентов  $\rho$  в натуральных условиях отношение  $\Phi_{отр} / \Phi_{пад}$  можно приближенно заменить отношением освещенностей  $E_{отр} / E_{пад}$ . Освещенность  $E_{пад}$  замеряется на самой поверхности, а  $E_{отр}$  – на расстоянии 25 см от поверхности в плоскости, параллельной ей.

### Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

1. Определяется коэффициент  $\rho$  поверхности в натуральных условиях. Для этого измеряются поочередно величины  $E_{пад}$  и  $E_{отр}$ . При измерении  $E_{пад}$  фотоэлемент люксметра необходимо располагать в середине исследуемого участка рабочей плоскостью в сторону падающего светового потока, который должен равномерно освещать исследуемую поверхность. При измерении  $E_{отр}$  фотоэлемент располагается на расстоянии 25 см от исследуемой поверхности рабочей плоскостью в сторону последней. При этом необходимо соблюдать условие, чтобы исследуемый участок во время опыта не затенялся. Измерения необходимо выполнять не менее трех раз.

2. По результатам измерений производится подсчет коэффициентов  $\rho$ . Результаты измерений и расчетов заносятся в табл. 5. Полученные значения коэффициентов  $\rho$  сравниваются с приведенными в [5] (см. табл. П.1.5) и указываются величины расхождений.

### 5. Результаты измерений освещенности и расчета коэффициента $\rho$

Характер фактуры и цвет поверхности ограждения	№ отсчета	Отсчеты при положении фотоэлемента, лк		Коэффициент светопропускания $\rho = \frac{E_{отр}}{E_{пад}}$
		на поверхности $E_{пад}$	против поверхности $E_{отр}$	
	1...3			

3. На модели помещения исследуется влияние светлоты отделки внутренних поверхностей на освещенность помещений. Для этого при постоянной освещенности снаружи модели определяются с помощью люксметра освещенность внутри объема модели при различной цветовой отделке и в зависимости от места расположения точек в модели (пол, потолок, стены) и вычисляются значения КЕО. Варианты цветовой отделки модели помещения назначаются преподавателем индивидуально. Результаты измерений и подсчетов заносятся в табл. 6.

### 6. КЕО модели при различной цветовой отделке поверхностей

№ п/п	Характер цветовой отделки внутренних поверхностей помещения	Место расположения точек в модели	Наружная освещенность, $E_n$ , лк	Освещенность внутри модели, $E_m$ , лк	КЕО $e = \frac{E_m}{E_n} 100 \%$
1...5					

4. Производится анализ степени изменения освещенности в зависимости от светлоты окраски поверхностей помещения. Указываются причины неодинакового изменения освещенности для различных точек помещения.

## Контрольные вопросы

1. Влияние цветовой отделки внутренних поверхностей помещения на освещенность.
2. Коэффициент светоотражения и факторы, влияющие на него.
3. Принципы определения коэффициента светоотражения поверхностей помещения.
4. Принципы выбора цветовой окраски поверхностей помещений в зависимости от их назначения и ориентации по сторонам горизонта.

Литература: [3, 5, 13].

## 2. СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

Комфортное состояние человека в значительной мере зависит от характера его теплообмена с окружающей средой. Интенсивность теплообмена определяется температурой, влажностью и подвижностью воздуха, температурами ограждающих поверхностей. В этой связи в помещениях, предназначенных для пребывания людей, должны постоянно поддерживаться оптимальные гигиенические условия. Обеспечение таких условий в определенной мере достигается с помощью конструктивных, объемно-планировочных и градостроительных средств.

Прогнозирование микроклимата, выбор оптимальных в теплофизическом отношении конструкций и их материалов

основываются на результатах изучения механизмов передачи тепла и влаги в конструкциях и в окружающей их среде. Для

изучения указанных процессов в настоящее время в строительной теплофизике используются теоретические и

экспериментальные методы. С помощью экспериментальных исследований разрешается широкий круг строительных

теплофизических задач и, в частности:

- исследование теплофизических параметров, определяющих микроклимат помещений и застройки;
- изучение явлений, происходящих в материале конструкций при воздействии на них различных факторов среды;
- определение теплозащитных качеств ограждающих конструкций и законов их взаимодействия с окружающей средой.

Целью лабораторных работ является ознакомление с экспериментальными методами исследований в строительной теплофизике и приобретение практических навыков использования экспериментальных результатов при проектировании ограждающих конструкций.

### Лабораторная работа 5

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ПОМЕЩЕНИЙ

Цель работы: знакомство с основными параметрами микроклимата помещений, способами их определения и методикой оценки санитарно-гигиенических условий, исходя из требований строительных и гигиенических норм.

Приборы и оборудование: вертикальная передвижная стойка с одиночными термомпарами и температурными сенсорами LM 334, потенциометр ПП-63, ртутный термометр, психрометр Ассмана, гигрограф, термограф, портативный электронный самописец температуры и влажности ИС-210.1; электронный аналоговый коммутатор; 12-разрядный аналогово-цифровой преобразователь с последовательным интерфейсом; последовательный порт RS 232; компьютер IBM-PC.

#### Методические указания

Основные теоретические положения и сведения о температурно-влажностном режиме помещений и принципах определения его показателей изложены в [1, 5, 8]. В процессе выполнения настоящей работы необходимо произвести измерения температуры и влажности воздуха и установить соответствие полученных параметров санитарным нормам.

Измерения температуры воздуха. Для получения достаточной информации о распределении температур в объеме помещения в лабораторной работе используется вертикальная передвижная стойка с закрепленными на ней на разной высоте термомпарами и температурными сенсорами, передающими показания на монитор компьютера. Схема стойки дана на рис. 5. Измерения температуры в рабочей плоскости помещения производятся ртутными термометрами психрометра Ассмана одновременно с измерениями влажности воздуха. Измерение температуры помещения во времени производится с помощью термографов и электронного самописца.

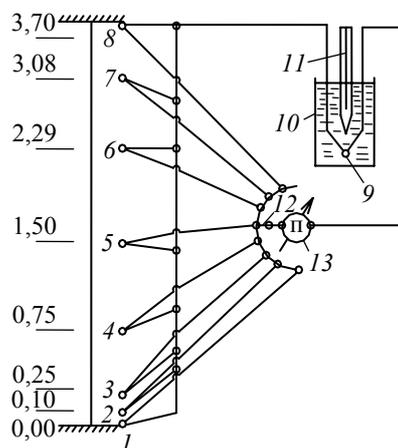


Рис. 5. Схема стойки для измерения температур по высоте помещения:  
**1...8 – рабочие ("горячие") спай термопар;** **9 – "холодный" спай термопар;**  
**10 – сосуд Дюара;** **11 – контрольный термометр;** **12 – переключатель;**  
**13 – потенциометр ПП**

Измерения влажности воздуха. Для определения влажности воздуха помещения используется психрометр Ассмана. Измерения производятся на уровне 1,5 м от пола в нескольких наиболее характерных точках. Регистрация колебаний влажности воздуха во времени производится гигрографами и электронным самописцем.

Принцип работы термографов и гигрографов, а также их конструкция подробно описаны в [7, 8].

#### Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

1. Производятся измерения температур по высоте помещения двумя способами:

– с помощью потенциометра определяются термоЭДС каждой термопары (рис. 5) и по данным табл. П.2.1 соответствующие им температуры;

– с помощью температурных сенсоров, показания которых выводятся непосредственно на экран монитора (см. рис. 6).

Результаты измерений заносятся в табл. 6. Измерения производятся в трех точках помещения: у наружной стены, в середине помещения, у внутренней стены.

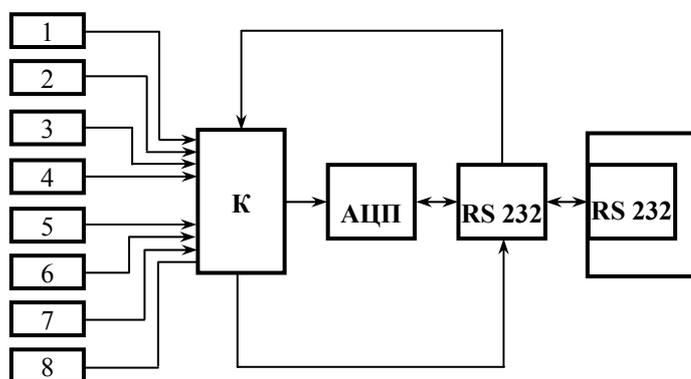


Рис. 6. Схема измерения температур с помощью температурных сенсоров:

1 – 8 – температурные сенсоры LM 334; К – электронный аналоговый коммутатор; АЦП – 12-и разрядный аналогово-цифровой преобразователь с последовательным интерфейсом; RS 232 – последовательный порт; IBM PC – совместимый компьютер IBM

2. С помощью аспирационного психрометра Ассмана производятся измерения относительной влажности воздуха в нескольких точках помещения. Для этого снимаются показания "сухого" и "мокрого" термометров. По показаниям термометров с помощью психрометрического графика (рис. 7) определяется относительная влажность воздуха. Результаты измерений заносятся в табл. 7.

Затем по табл. П.2.2 в зависимости от показаний "сухого" термометра вычисляется максимальная упругость водяного пара  $E$  и действительная упругость водяного пара, которая определяется по формуле  $e = \varphi \cdot E / 100$ .

3. По графикам термографов и гигрографов регистрируются температура и влажность воздуха в начале и в конце занятий. В начале занятий на бумажных диаграммных лентах термографа и гигрографа устанавливается температура и влажность воздуха в данный момент времени в помещении. Результаты заносятся в табл. 7 и табл. 8.

## 7. Результаты измерений температур воздуха

№ точек измерения	место измерения	по высоте помещения			по термографам	
		ЭДС, мкВ	$t_1, ^\circ\text{C}$	по температурным сенсорам, $t_2, ^\circ\text{C}$	в начале занятия	в конце занятия
1...8	1..					
1...8	..3					

## 8. Результаты измерений влажности воздуха

№ точек и место изм.	Относительная влажность воздуха по				Упругость водяного пара		$\tau_p, ^\circ\text{C}$
	психрометру Ассмана		гигрографам		максимальная Е, Па	действительная е, Па	
	показания термометров		φ, %	в начале занятия			
	"сухого"	"мокрого"					
1..							
3							

4. По результатам измерения температур в вертикальной плоскости строится график распределения температур по высоте помещения. Для этого на вычерченной в масштабе схеме размещения термометров отмечаются полученные температуры и соединяются плавной линией.

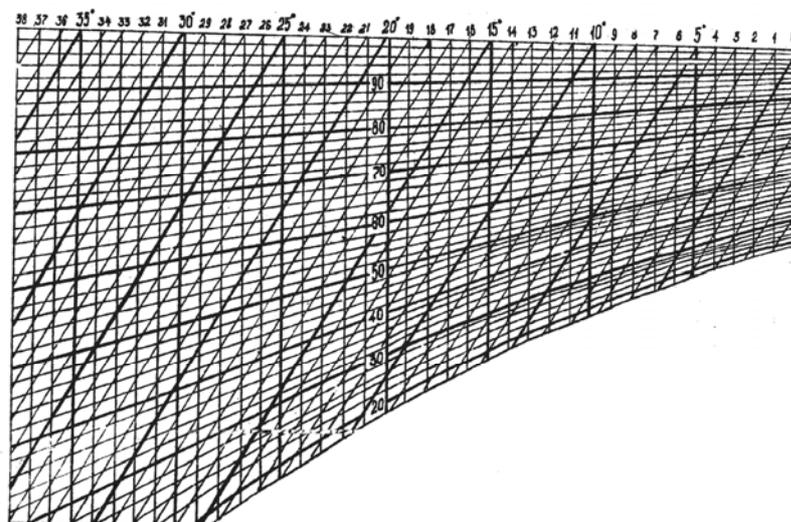


Рис. 7. Психрометрический график

5. Устанавливаются разности температур в помещении по горизонтали (в плоскости +1,50 м) и вертикали (между отметками +0,10 и +1,50) и делается вывод о степени равномерности распределения температур в помещении. Согласно [11], разности температур по объему помещения не должны превышать 2,5  $^\circ\text{C}$ .

6. По результатам измерения влажности определяется температура точки росы  $\tau_p$  (по табл. П.2.2) в зависимости от величины действительной упругости водяного пара е. По условию отсутствия конденсации влаги на внутренней поверхности ограждения устанавливается допустимый температурный перепад между температурой воздуха в помещении и температурой внутренней поверхности ограждения –  $\Delta t_b = t_b - \tau_p$ .

7. По данным термографов и гигрографов составляется заключение о характере изменений показателей микроклимата в помещении. Анализируется влияние различных факторов (количество людей в помещении, время их пребывания, режим открываемых оконных и дверных проемов и т.п.) на величину изменений показателей.

8. С помощью портативного электронного самописца ИС-210.1 производятся измерения температуры и влажности в помещении в течение заданного промежутка времени. По результатам измерений строятся графики изменения температуры и влажности во времени. Полученные данные сопоставляются с данными, полученными по термографу и гигрографу в той же точке помещения.

9. По средним значениям температуры и относительной влажности воздуха по табл. П.2.3 устанавливается характеристика влажностного режима исследуемого помещения и делается окончательное заключение о температурно-влажностном режиме в помещении и соответствии его санитарно-гигиеническим нормам.

## Контрольные вопросы

1. Характеристика микроклимата помещения.
2. Санитарно-гигиенические требования к температурно-влажностному режиму помещения.
3. Абсолютная и относительная влажность воздуха, действительная и максимальная упругость водяных паров.
4. Взаимосвязь показателей влажности и температуры воздуха.
5. Температура точки росы, порядок ее определения и значение для ограждающих конструкций.
6. Приборы для измерения температуры и относительной влажности воздуха.
7. Психрометрический метод определения влажности воздуха.
8. Влияние температурно-влажностного режима помещения на работу ограждающих конструкций.

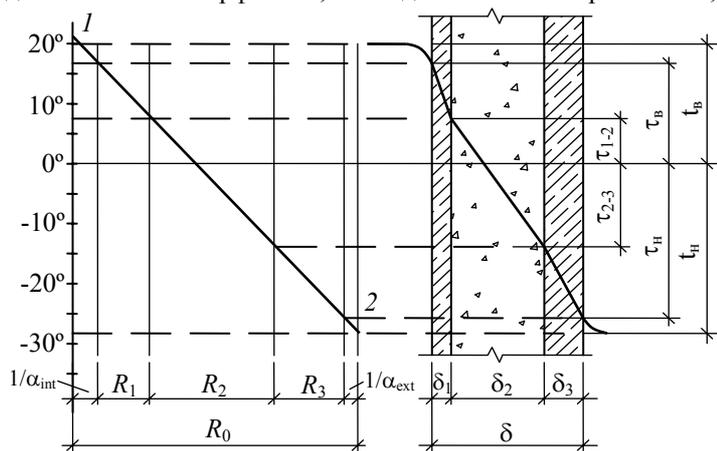
Литература: [1, 5, 7, 8].

## Лабораторная работа 6

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ КАЧЕСТВ МНОГОСЛОЙНОЙ СТЕНОВОЙ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

Цель работы: знакомство с экспериментальными методами исследования теплозащитных качеств ограждения и принципами анализа основных параметров, характеризующих эти качества.

Приборы и оборудование: фрагмент многослойного стенового ограждения, термоэлектрический термометр ТЭТ-2, комплект терморезисторов; электронный аналоговый коммутатор; 12-разрядный аналогово-цифровой преобразователь с последовательным интерфейсом; последовательный порт RS 232; компьютер IBM-PC; комплект температурных сенсоров LM 334.



**Рис. 8. Графический метод определения температуры в**

Здесь  $t_{int}$  – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, °С;  $t_{ht}$ ,  $z_{ht}$  – средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут., отопительного периода соответственно, принимаемые по табл. 1 [15] для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С.

При экспериментальных исследованиях для оценки теплозащитных качеств необходимо знать распределение температур на поверхности и в толще конструкции. Для одномерных полей при постоянном тепловом потоке из равенства

$$\frac{t_{int} - t_x}{1/\alpha_{int} + R_x} = \frac{t_{int} - t_{ext}}{R_{des}} \quad (7)$$

следует, что падение температуры прямо пропорционально изменению термического сопротивления в ограждении. Это позволяет использовать простой графический способ для установления взаимосвязи между термическими сопротивлениями и температурами в ограждении. Суть способа заключается в следующем (см. рис. 8).

На горизонтальной оси откладываются последовательно в некотором масштабе все термические сопротивления, начиная с  $1/\alpha_{int}$  и заканчивая  $1/\alpha_{ext}$ . Сумма всех отрезков дает общую величину сопротивления теплопередаче ограждения. Через полученные точки проводят вертикальные линии и на крайних из них отмечают в масштабе отрезки, соответствующие температурам  $t_{int}$  и  $t_{ext}$ . Полученные точки 1 и 2 (см. рис. 8) соединяют прямой наклонной линией. Точки пересечения этой прямой с вертикальными линиями дают отрезки, выражающие величины температур на границах слоев ограждения. При этом соотношение температур и термических сопротивлений определяется как

$$\frac{t_x - t_{x+1}}{t_{int} - t_{ext}} = \frac{R_{x-(x+1)}}{R_{des}}, \quad (8)$$

где  $t_x$  и  $t_{x+1}$  – температуры на границах слоя, для которого определяется сопротивление  $R_{x-(x+1)}$ .

Таким образом, если известно распределение температур по слоям конструкций и сопротивление теплопередаче ограждения  $R_{des}$ , пользуясь соотношением [8] возможно определить термическое сопротивление каждого слоя конструкции как

$$R_{x-(x+1)} = \frac{t_x - t_{x+1}}{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}} R_{\text{des}}, \quad (9)$$

и, наоборот, по известным значениям сопротивлений выполнить расчет температур для любого сечения.

Общее сопротивление теплопередаче  $R_{\text{des}}$  можно с достаточной точностью установить из выражения  $\tau_{\text{int}} = t_{\text{int}} - (t_{\text{ext}} - t_{\text{ext}})/(R_{\text{des}} \cdot \alpha_{\text{int}})$ , приняв значения температур  $t_{\text{int}}$ ,  $t_{\text{ext}}$  и  $\tau_{\text{int}}$  по данным измерений, а значение  $\alpha_{\text{int}}$  по методике ГОСТ 26254–84 (табл. П.3).

### Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

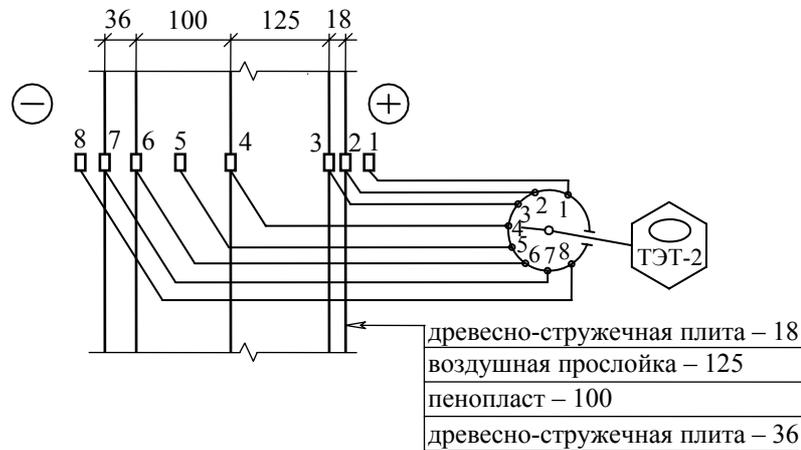
1. На установке для заданного образца многослойного ограждения определяются температуры на границах и в толще слоев конструкции при помощи терморезисторов (см. рис. 9) и термосенсоров (см. рис. 6) и строится график распределения температур в ограждении аналогично приведенному на рис. 8.

2. По данным измерений температур  $t_{\text{int}}$ ,  $t_{\text{ext}}$  и  $\tau_{\text{int}}$  и значению  $\alpha_{\text{int}}$  определяется величина  $R_{\text{des}}$ .

3. В соответствии с формулой (8), используя данные измерения температур, определяются термические сопротивления отдельных слоев конструкции, в том числе и воздушной прослойки.

4. По полученным значениям сопротивлений отдельных слоев конструкции определяются коэффициенты теплопроводности материалов слоев как  $\lambda_i = \delta_i/R_i$  (где  $\delta_i$  и  $R_i$  – толщина и термическое сопротивление  $i$ -го слоя конструкции).

5. Для воздушной прослойки найденное по формуле (9) значение термического сопротивления  $R_{\text{вп}}$  сравнивается со значением  $R_{\text{вп}}$ , приведенным в табл. 7 [19].



**Рис. 9. Схема установки для исследования распределения температур в стеновой ограждающей конструкции**

6. Определяется минимальная расчетная температура  $t_{\text{ext}(\text{min})}$  наружного воздуха, при которой ограждение может обеспечить требуемые санитарно-гигиенические условия. Величина  $t_{\text{ext}(\text{min})}$  определяется из условия равенства  $R_{\text{des}}$  и  $R_{\text{req}}$ , т.е.

$$t_{\text{ext}(\text{min})} = t_{\text{int}} - R_0 \cdot \alpha_{\text{int}} \cdot \Delta t_n / n, \quad (10)$$

где  $\Delta t_n$  – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждения,

принимаемый по табл. 5 [14];  $n$  – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху, приведенный в табл. 6 [14].

7. Все результаты измерений и расчетов сводятся в табл. 9. По полученным результатам делаются выводы о теплозащитных

свойствах ограждения и о возможности использования его в качестве наружного ограждения.

### 9. Характеристики исследуемого ограждения

№ слоя	Наименование материала слоя	Толщина $\delta_i$ , м	$R_i$ , $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$	$\lambda_i$ , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$
1	Древесно-стружечная плита	0,018		
2	Воздушная прослойка	0,125		
3	Пенополистирол	0,100		
4	Древесно-стружечная плита	0,036		
Измеренные в ограждении температуры при помощи терморезисторов, °C		$t_1 = t_{\text{int}} = \dots, t_2 = \tau_{\text{int}} = \dots, t_3 = \dots, t_4 = \dots, t_5 = \dots, t_6 = \dots, t_7 = \tau_{\text{ext}} = \dots, t_8 = t_{\text{ext}} = \dots$		
Измеренные в ограждении		$t_1 = t_{\text{int}} = \dots, t_2 = \tau_{\text{int}} = \dots, t_3 = \dots, t_4 = \dots$		

температуры при помощи термосенсоров, °С	..., $t_5 = \dots, t_6 = \dots, t_7 = \tau_{ext} = \dots, t_8 = t_{ext}$ =...
Среднее значение температур стенового ограждения, °С	$t_1 = t_{int} = \dots, t_2 = \tau_{int} = \dots, t_3 = \dots, t_4 =$ ..., $t_5 = \dots, t_6 = \dots, t_7 = \tau_{ext} = \dots, t_8 = t_{ext}$ =...
Общие теплотехнические характеристики ограждения	$t_{ext(min)} = \dots, R_{des} = \Sigma R_i = \dots$

### Контрольные вопросы

1. Стационарные и нестационарные условия передачи тепла через ограждения.
  2. Коэффициенты теплопередачи на внутренней и наружной поверхностях ограждения и факторы, влияющие на них.
  3. Методика определения теплозащитных качеств ограждения в натуральных условиях.
  4. Приборы и оборудование для измерения температур в ограждениях.
  5. Требуемое и фактическое сопротивление теплопередаче ограждения.
  6. Факторы, учитываемые при назначении требуемого сопротивления теплопередаче.
- Литература: [1, 5, 7, 8].

## Лабораторная работа 7

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ КАЧЕСТВ ОКОННЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

Цель работы: знакомство с экспериментальными методами исследования теплозащитных свойств оконных заполнений.

Приборы и оборудование: фрагмент светопрозрачного оконного заполнения, комплект смонтированных в окне термомпар, потенциометр ПП, сосуд Дюара, контрольный жидкостный термометр, микроманометр ММН.

### Методические указания

Потери тепла через оконные проемы составляют значительную часть общих теплопотерь через наружные ограждения, так как сопротивление теплопередаче оконных заполнений составляет примерно одну треть от сопротивления теплопередаче стены.

Сопротивление теплопередаче окна  $R_0$  определяется как

$$R_0 = R_{int} + R + R_{ext}, \quad (11)$$

где  $R_{int} = 1/\alpha_{int}$  – сопротивление тепловосприятию на поверхности стекла внутреннего переплета;  $R_{ext} = 1/\alpha_{ext}$  – сопротивление теплопередаче с поверхности стекла наружного переплета наружному воздуху;  $R$  – сумма термических сопротивлений остекления и воздушной прослойки между стеклами.

Поскольку термическое сопротивление стекла невелико, сопротивление  $R$  в основном определяется термическим сопротивлением воздушной прослойки между стеклами.

Оконное заполнение относится к легким ограждающим конструкциям с малой тепловой инерцией, для которых характерны стационарные условия теплопередачи и соответственно справедливы соотношения

$$\frac{t_{int} - t_{ext}}{R_0} = \frac{t_{int} - \tau_{ext}}{R_{int}} = \frac{\tau_{int} - \tau_{ext}}{R} = \frac{\tau_{int} - t_{ext}}{R_{ext}}, \quad (12)$$

где  $t_{int}, t_{ext}$  – температуры внутреннего и наружного воздуха;  $\tau_{int}, \tau_{ext}$  – температуры на внутренней и наружной поверхности оконного заполнения.

Межстекольное пространство двойного окна является характерным примером замкнутой прослойки в конструкции наружных ограждений. Его тепловой режим может быть достаточно полно охарактеризован температурой внутреннего стекла  $\tau_{int}$ , температурой воздуха в межстекольном пространстве  $t_{вп}$ , коэффициентами теплообмена на внутренней поверхности стекла  $\alpha_{int}$  и в межстекольном пространстве  $\alpha_{мст}$ . Значения этих показателей по приведены в табл. П.2.6.

Для обычных оконных стекол (толщиной 3...5 мм) изменением температуры по их толщине можно пренебречь, поэтому приведенные в табл. П.2.6 значения  $\tau_{int}$  есть одновременно и температура внутреннего стекла со стороны прослойки.

Теплотехнические качества заполнений оконных проемов в основном определяются термическим сопротивлением воздушной прослойки и в отличие от непрозрачных ограждений не могут быть повышены обычными конструктивными мерами. В воздушной прослойке передача тепла осуществляется за счет конвекции и теплового излучения. Поэтому термическое сопротивление окна в значительной мере зависит от его воздухопроницаемости. Сообщение воздушной прослойки с холодным наружным воздухом вызывает в ней усиленную конвекцию воздуха и приводит к значительному снижению теплозащитной способности. Связь же прослойки с внутренним теплым влажным воздухом приводит к повышению температуры прослойки, но при этом создается опасность конденсации влаги на холодном стекле наружного остекления.

Необходимое сопротивление теплопередаче окон достигается устройством достаточного количества слоев остекления и установкой уплотняющих прокладок по притворам переплетов.

Сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов определяется экспериментально в лабораторных и натуральных условиях.

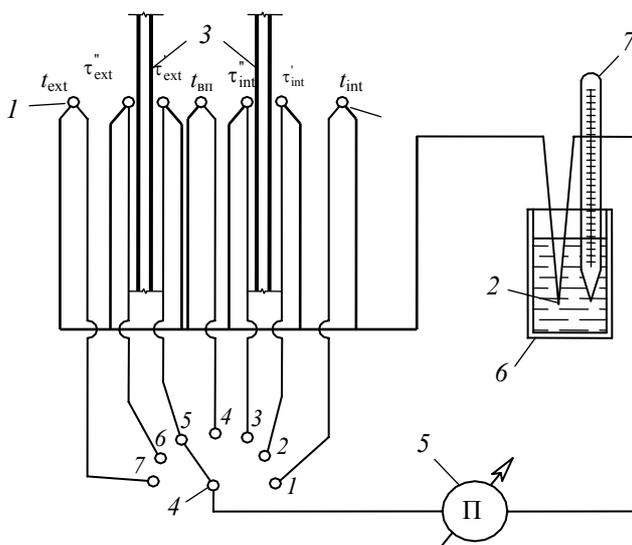
В настоящей работе исследования производятся на фрагменте оконного заполнения с двойными раздельными деревянными переплетами. Измерение температур осуществляется с помощью термопар.

### Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

1. На установке в соответствии со схемой рис. 10 определяются температуры в конструкции оконного заполнения. Для этого определяются термоЭДС с каждой термопары и по данным табл. П.2.1 соответствующие им температуры  $t_i$ . Результаты измерений заносятся в табл. 10. Измерения производятся последовательно три раза.

2. По результатам измерений температур, используя пропорции (12), определяются значения  $R_0$  и  $R$ . При этом температуры поверхностей стекла  $\tau_{int}$  и  $\tau_{ext}$  приближенно принимаются равными среднеарифметическому из показаний термометров, размещенных по сторонам соответствующих стекол. Значение  $R_{int}$  определяется как  $R_{int} = 1/\alpha_{int}$ , где  $\alpha_{int}$  принимается из табл. П.2.6 в соответствии с полученными значениями  $\tau_{int}$  и  $t_{ext}$ .

3. По найденному значению  $R_0$  определяется минимальная расчетная температура наружного воздуха  $t_{ext(min)}$ , для которой оконное заполнение может обеспечить требуемые санитарно-гигиенические условия. Величина  $t_{ext(min)}$  определяется из условия равенства  $R_{des}$  и  $R_{req}$ , т.е.



$$t_{ext(min)} = t_{int} - R_0 \alpha_{int} \Delta t_n / n, \quad (13)$$

Рис. 10. Схема установки для исследования распределения температур во фрагменте оконного заполнения:

- 1 – "горячий" спай термопар; 2 – "холодный" спай термопар; 3 – стекла окна;
- 4 – переключатель; 5 – потенциометр; 6 – термостатирующий сосуд;
- 7 – контрольный термометр

где  $\Delta t_n$  – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждения, принимаемый по табл. 5 [14];  $n$  – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху, приведенный в табл. 6 [14].

### 10. Результаты измерений температур

№ изм.	Показания термопар E, мВ и температуры, °С															
	$\tau_{int}$		$\tau_{int}'$		$\tau_{int}''$		$\tau_{int} = \frac{\tau_{int}' - \tau_{int}''}{2}$	$\tau_{вп}$		$\tau_{ext}'$		$\tau_{ext}''$		$\tau_{ext} = \frac{\tau_{ext}' - \tau_{ext}''}{2}$	$t_{int}$	
	e	t <sub>1</sub>	e	t <sub>2</sub>	e	t <sub>3</sub>		e	t <sub>4</sub>	e	t <sub>5</sub>	e	t <sub>6</sub>		e	t <sub>7</sub>

4. По результатам измерений и расчетов делаются выводы о теплозащитных свойствах фрагмента оконного заполнения и о возможности использования его в гражданских зданиях. При этом должно обеспечиваться условие, при котором фактическое сопротивление теплопередаче  $R_{des}$  должно быть не менее требуемого сопротивления  $R_{req}$ , т.е.  $R_{des} \geq R_{req}$  (см. методические указания к лабораторной работе 6).

## Контрольные вопросы

1. Основные факторы, влияющие на передачу тепла через оконные заполнения.
2. Особенности передачи тепла в вертикальных замкнутых воздушных прослойках.
3. Влияние воздухопроницаемости на теплозащитные качества окон.
4. Способы повышения сопротивления теплопередаче оконных заполнений.
5. Зависимость термического сопротивления оконного заполнения от межстекольного расстояния.

Литература: [1, 5, 8].

## Лабораторная работа 8

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ АКТИВНОСТИ ПОЛА

**Цель работы:** знакомство с экспериментальным методом определения характеристик теплоусвоения полов и принципами их расчета.

**Приборы и оборудование:** прибор для определения тепловой активности пола ИТА-Д, фрагменты полов различных конструктивных решений.

#### Методические указания

Вследствие разности температур поверхности тела человека и окружающей среды с поверхности тела происходит отдача тепловой энергии. Интенсивность отдачи зависит от тепловой обстановки в помещении, которая определяется температурно-влажностными параметрами воздуха помещения и температурами ограждений. Комфортное сочетание этих показателей соответствует условиям, при которых сохраняется тепловое равновесие и отсутствует напряжение в процессе терморегуляции организма человека. Кроме общего теплового баланса организма на самочувствие человека существенное влияние оказывают условия, в которых находятся его голова и ноги. Ноги человека особенно чувствительны к переохлаждению при контакте с поверхностью полов. Во избежание переохлаждения количество тепла, поглощенного полом, должно соответствовать его притоку к ногам в процессе работы системы терморегуляции организма. Охлаждение кожи ног не должно быть ниже температур, допускаемых гигиеническими нормами. Например, при контакте босой ноги с полом в течение двух минут температура кожи не должна опускаться ниже 27 °С.

Потери тепла при контакте поверхностей ног и пола зависят от теплофизических характеристик материала пола и его температуры. В частности, температура пола не должна быть ниже температуры воздуха помещения более чем на 2,5 °С.

Теплообмен между ногой и полом определяется тепловой активностью материалов покрытия пола, характеризуемой коэффициентом теплоусвоения материалов. При проектировании полов для характеристики тепловой активности используется показатель теплоусвоения поверхности пола  $Y_n$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Он показывает, какое количество тепловой энергии поглощается единицей поверхности пола за единицу времени при разности температур пола и ноги в один градус.

В соответствии со СНиП [14] поверхность пола жилых, общественных, вспомогательных зданий и помещений промышленных предприятий и отапливаемых помещений производственных зданий должна иметь показатель теплоусвоения  $Y_n$  (см. табл. П.2.4). Показатель теплоусвоения поверхности пола следует рассчитывать в соответствии с методикой, изложенной в СП [19].

Показатель теплоусвоения поверхности пола  $Y_n$  не соответствует реальному контактному теплообмену и автором работы [4] предложено оценивать теплоусвоение полов по величине показателя тепловой активности пола  $B_0$ .

Для определения последнего используется несколько экспериментальных методов с различными конструктивными решениями приборов. В настоящей работе применяется прибор ИТА-Д, конструктивная схема которого приведена на рис. 11. Принцип действия прибора основан на имитации процесса передачи тепла при контакте босой ноги с полом.

#### Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

1. Производится подготовка прибора к работе. Для этого перед началом измерений прибор ставится на теплоизоляционную плиту и прогревается в течение 15...20 мин. Это необходимо для того, чтобы тепловой поток через корпус прибора стал стационарным. В противном случае показания прибора окажутся неточными.

2. Термопарой измеряется температура поверхности места предполагаемой установки, засекается время и прибор ставится на исследуемую поверхность.

3. Прибор находится на поверхности не менее 30 мин. При этом температура поверхности пола под прибором должна быть около 30 °С. Эта температура соответствует средней температуре поверхности кожи ступни человека.

4. Засекается время окончания опыта и конечная температура исследуемой поверхности (показания фиксируются на индикаторе).

5. Определяется количество тепловой энергии, необходимой для нагревания исследуемой поверхности. Определение осуществляется по шкале ваттметра, проградуированной при тарировке прибора в джоулях.

6. Определяется показатель тепловой активности материала по формуле

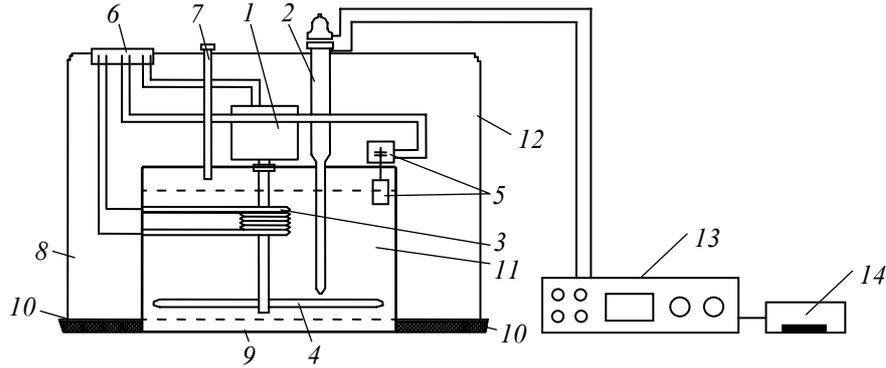


Рис. 11. Схема прибора для определения показателя тепловой активности пола при длительном контакте ноги с полом ИТА-Д:  
 1 – электродвигатель; 2 – контактный термометр; 3 – нагреватель; 4 – крыльчатка;  
 5 – датчик контроля уровня; 6 – разъемы; 7 – отверстие для залива воды;  
 8 – теплоизолятор; 9 – полиамидная пленка; 10 – прижимные кольца;  
 11 – дистиллированная вода; 12 – защитный корпус; 13 – блок управления ИТА-Д;  
 (секундомер, индикатор температуры пола); 14 – термопара

$$B_0 = \frac{W \sum \tau_i \sqrt{\pi}}{2F(t_m - t_0) \sqrt{\tau} 1000} K, \tag{14}$$

где  $W$  – мощность нагревателя, Вт;  $\sum \tau_i$  – время работы нагревателя, ч;  $F$  – площадь контактной поверхности прибора,  $m^2$ ;  $t_m - t_0$  – разность температур между конечной и начальной температурами исследуемой поверхности,  $^{\circ}C$ ;  $\tau$  – время между замерами температуры, ч;  $K$  – константа прибора.

7. Измерения производятся для нескольких вариантов конструкций пола, выдаваемых преподавателем. Данные измерений и расчетов заносятся в табл. 11.

8. По результатам сравнения  $B_0$  с  $B_{0н}$  и  $Y_{нн}$  (см. табл. П.2.4) делается заключение о возможности применения исследуемых конструкций пола в гражданских зданиях.

### 11. Результаты определения тепловой активности пола

Конструкция пола	W, Вт	$\tau$ , ч	F, $m^2$	$t_m$ , ч	$t_0$ , ч	$\sum \tau_i$	K	$B_0$ , $kJ/(m^2 \cdot \sqrt{\tau} \cdot ^{\circ}C)$
1...								
...n								

### Контрольные вопросы

1. Условие комфорта в помещении и их значение для человека.
  2. Теплоусвоение пола и его значение для создания комфортных тепловых условий.
  3. Принципы нормирования показателей теплоусвоения поверхности и тепловой активности пола.
  4. Принцип работы прибора для определения показателя тепловой активности пола.
  5. Факторы, определяющие величину потери тепла при контакте поверхности ног и пола.
- Литература: [4, 11].

## Лабораторная работа 9

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: знакомство с экспериментальными методами исследования воздухопроницаемости строительных материалов, установление зависимости воздухопроницаемости от различных факторов.

Приборы и оборудование: установка для определения воздухопроницаемости материалов, набор образцов строительных материалов.

### Методические указания

Количество воздуха, фильтрующегося через материал  $W_v$ ,  $kg/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$ , зависит от толщины материала и разности давлений на противоположных поверхностях  $\Delta P$ , Па.

Зависимость  $W_v = \varphi(\Delta P)$  определяется структурой материала. Существенное влияние на ее характер оказывает также влажность материала. Наличие влаги в порах создает дополнительное сопротивление фильтрации, для преодоления которого требуется некоторый перепад давлений  $\Delta P_{\min}$ .

Метод определения воздухопроницаемости строительных материалов основан на установлении количества воздуха, проходящего через образец материала, заключенного в специальную обойму, при искусственно созданном избыточном давлении (разряжении) в течение заданного промежутка времени. В этом случае при установившемся режиме фильтрации через образец площадью  $F$ ,  $m^2$ , из однородного материала толщиной  $\delta$ , м, за время  $z$ , с, при перепаде давлений  $\Delta P$ , Па, будет проходить количество воздуха  $W$ , кг, которое может быть определено по закону Ланга

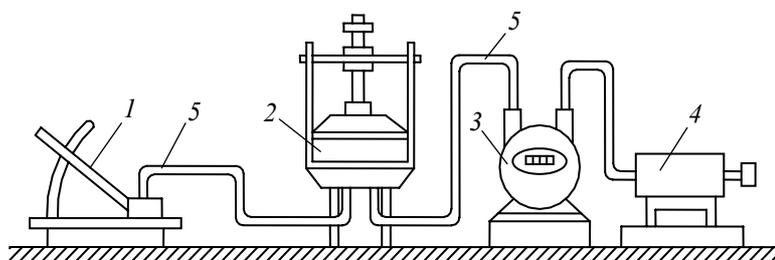
$$W = l \cdot \Delta P \cdot F \cdot z / \delta, \quad (15)$$

где  $l$  – коэффициент воздухопроницаемости,  $кг/(м \cdot с \cdot Па)$ .

Коэффициент воздухопроницаемости – основная количественная характеристика воздухопроницаемости материалов. Коэффициент  $l$  численно равен количеству воздуха в килограммах, которое фильтруется за одну секунду через квадратный метр плоской однородной стенки толщиной один метр при разности давлений по обе стороны ее в один Паскаль. Его величина устанавливается при экспериментальных исследованиях на основании данных опыта, используя формулу (15), которая дает точные значения для ламинарного движения воздуха, однако для практических целей она может быть использована и при турбулентном движении, когда перепад давлений изменяется в небольших пределах, в которых коэффициент воздухопроницаемости может быть постоянным.

На величину коэффициента  $l$  кроме перепада давлений воздуха большое влияние оказывает влажность материала. С увеличением влажности и величины перепада давлений коэффициент воздухопроницаемости уменьшается. Поэтому его значения, определенные экспериментально, справедливы только для материалов с влажностью, соответствующей условиям эксперимента и принятой при опыте разности давлений. При расчетах конструкций принимают коэффициент воздухопроницаемости, соответствующий воздушно-сырому состоянию материала и разности давлений воздуха 1 мм.вод.ст. (9,807 Па).

В данной работе экспериментальные исследования воздухопроницаемости производятся на установке, схема которой дана на рис. 12.



**Рис. 12. Схема установки для испытания воздухопроницаемости строительных материалов:**

1 – микроманометр; 2 – обойма с образцом испытываемого материала; 3 – газовый счетчик; 4 – воздушный компрессор; 5 – соединительные шланги

Перед проведением измерений торцовые поверхности образцов исследуемых материалов покрываются слоем смеси парафина с канифолью и устанавливаются в металлическую обойму, плотно прижимая винтом верхнюю крышку обоймы. Между образцом, верхней и нижней крышками обоймы перед установкой образца укладываются резиновые прокладки, определяющие размеры поверхностей образца, через которые проходит воздух. Вариант размеров поверхности выдается преподавателем, ведущим лабораторную работу.

Давление в камере обоймы создается воздушным компрессором. Регулируется оно с помощью автотрансформатора, изменяющего напряжение в сети.

Измерение расхода воздуха через образец материала производится с помощью газового счетчика, позволяющего выполнять измерения при расходе воздуха в интервале от 0,03 до 6  $m^3/ч$ . Объем воздуха, проходящего через образец, определяется по шкале счетчика с точностью до 0,001  $m^3$ . Время выполнения опыта измеряется секундомером.

Измерение перепада давлений производят микроманометром ММН. Устройство микроманометра подробно рассмотрено в [8]. Пределы измерений микроманометра от 0 до 2000 Па. Погрешность измерения микроманометра 0,5 % от верхнего предела измерений.

### **Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений**

1. Собирается установка, устанавливается в обойму образец материала, указанный преподавателем.
2. Перед включением установки записываются начальные показания измерительных приборов: шкалы газового счетчика  $n_0$ ; шкалы измерительной трубки микроманометра  $l_0$ .
3. С помощью автотрансформатора устанавливается напряжение, необходимое для создания начального перепада давлений  $\Delta P$ , затем одновременно включаются компрессор и секундомер.
4. Через 4 – 6 мин записываются показания микроманометра  $l_1$ , выключить компрессор, записать показания секундомера  $z_1$  и газового счетчика  $n_1$ .
5. Измерения повторяются при 3–4 других режимах работы установки, соответствующим различным перепадам давления.
6. По окончании работы определяется плотность воздуха в помещении по формуле

$$\rho_{\text{возд}} = \rho_0 / (1 + t_{\text{в}}/273), \quad (16)$$

где  $\rho_0 = 1,293 \text{ кг/м}^3$  – плотность воздуха при температуре  $t_b = 0^\circ\text{C}$ ,  $t_b$  – температура воздуха помещения во время проведения эксперимента,  $^\circ\text{C}$ .

7. Определяется объемный расход воздуха в  $\text{м}^3/\text{с}$  при каждом измерении по формуле

$$W_0 = (n_i - n_{i-1})/z_i, \quad (17)$$

где  $n_i, n_{i-1}$  – показания счетчика в конце  $i$  и  $i-1$  измерений;  $z_i$  – время  $i$ -го измерения, с.

8. Так как при расчетах воздухопроницаемости используются весовым расходом воздуха в  $\text{кг/с}$ , что позволяет сравнивать данные, полученные при разных температурных условиях, то производится перерасчет по формуле

$$W_b = \rho \cdot W_0, \quad (18)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха при атмосферном давлении и температуре эксперимента,  $\text{кг/м}^3$ .

9. Определяется величина перепада давлений на образце по формуле

$$\Delta P = K(l_i - l_0), \quad (19)$$

где  $K$  – поправочный коэффициент микроманометра, учитывающий угол наклона измерительной трубки;  $l_0, l_i$  – показания шкалы измерительной трубки микроманометра до опыта и при  $i$ -ом измерении.

10. Вычисляется коэффициент воздухопроницаемости исследуемого материала для всех значений перепада давлений  $\Delta P_i$  по формуле

$$i = (W_b \cdot \delta \cdot 3600) / (\Delta P_i \cdot F), \quad (20)$$

где  $\delta$  – толщина исследуемого образца материала, м;  $F$  – площадь рабочего сечения образца, через которое проходит воздух,  $\text{м}^2$ .

11. Результаты измерений и расчетов заносятся в табл. 12.

## 12. Результаты измерений и расчетов воздухопроницаемости материалов

№ п/п	Наименование материала	Характеристики материала	n = $\frac{n_i - n_0}{\text{м}^3/\text{ч}}$	$\Delta P, \text{Па}$	$z_i, \text{с}$	$\rho_{\text{возд}}$ при $t_b$	$W_0, \text{м}^3/\text{с}$	$W_b, \text{м}^3/\text{с}$	i, $\text{кг/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$
1									
...									
5									

12. По данным эксперимента строятся графики зависимости  $W_b = \varphi(\Delta P)$  и производится оценка режима воздухопроницаемости материалов.

13. Полученные значения коэффициентов воздухопроницаемости сравниваются с данными, приведенными в табл. П.2.5, и делаются необходимые выводы.

14. Вычисляются сопротивления воздухопроницанию  $R_{\text{экс}} = \delta/i$  материалов и, полученные значения сравниваются с  $R_{\text{норм}}$ , приведенными в СНиП [16].

### Контрольные вопросы

1. Влияние воздухопроницаемости строительных материалов на микроклимат помещений и эксплуатационные качества ограждающих конструкций.

2. Методика определения воздухопроницаемости строительных материалов.

3. Установка приборов для определения воздухопроницаемости строительных материалов.

4. Коэффициент воздухопроницаемости материалов, его размерность и физический смысл.

5. Зависимость коэффициента воздухопроницаемости от структуры материала, влажности и т.п.

Литература: [1, 5, 8].

### 3. СТРОИТЕЛЬНАЯ И АРХИТЕКТУРНАЯ АКУСТИКА

Разделы строительной физики, в которых рассматриваются прикладные вопросы о распространении и слуховом восприятии звука, носят название архитектурной и строительной акустики.

Архитектурная акустика занимается разработкой принципов и мер создания оптимальных условий восприятия речи, пения, музыки в помещениях и на открытом воздухе. Звуки при этом рассматриваются как носители полезной информации, не оказывающие вредных воздействий на человека. Задача строительной акустики – разработка мер снижения или полного подавления шумов. Шумами называются любые, мешающие слуховому восприятию, работе и отдыху человека звуки. Борьба с шумами имеет гигиеническое и экономическое значение, так как их воздействие влияет на психику, является причиной многих заболеваний, снижает производительность труда.

При изучении акустических процессов, выборе и обосновании мер снижения шума наряду с физико-математическими широко используются экспериментальные методы, позволяющие, в частности, выполнять определение акустических параметров помещений, звукоизолирующих качеств ограждающих конструкций, эффективность мер по повышению звукоизоляции, исследовать закономерности распространения шумов в помещениях и эффективность их снижения строительными акустическими методами (табл. П.4).

Лабораторные работы имеют цель ознакомить студентов с методами исследования распространения звуковой энергии, оценки акустических параметров помещений и звукоизолирующих качеств ограждений. При выполнении работ студенты должны изучить схемы измерительных трактов, принципы действия приборов, методику проведения экспериментов и обработки их данных.

Перед тем, как приступить к выполнению работ, необходимо познакомиться с понятиями и определениями акустики, принципами представления и обработки акустических величин.

С точки зрения акустики звук рассматривается как физическое явление, представляющее собой волновое колебание упругой среды (например, воздушной). Распространение колебаний происходит в виде волн со скоростью, называемой скоростью звука  $c$  (м/с). Количество энергии, переносимой звуковыми волнами в единицу времени через единицу площади, перпендикулярную направлению распространения звука, называется интенсивностью звука  $I$  (Вт/м<sup>2</sup>). Давление, возникающее в звуковой волне, называется звуковым давлением  $P$  (Па). Величины  $P$  и  $I$  в природе изменяются в широких пределах ( $P = 2 \cdot 10^{-2} \dots 2 \cdot 10^{-5}$  Па,  $I = 10^2 \dots 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>), их использование в таком виде неудобно. В технической акустике принято оценивать эти величины в относительных логарифмических единицах – децибелах (дБ). Логарифмическая шкала позволяет сократить диапазон измеряемых величин, так как каждому делению шкалы соответствует изменение не на определенное число единиц, а в определенное число раз. Большинство акустических величин в этой связи оцениваются в урвнях.

Уровень интенсивности звука определяется по формуле

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0}, \text{ дБ}, \quad (21)$$

где  $I_0 = 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup> – пороговая интенсивность, соответствующая едва слышимому звуку в области наибольшей чувствительности уха.

В плоской или сферической волнах интенсивность звука пропорциональна квадрату звукового давления и, следовательно, уровень звукового давления определяется как

$$L = 10 \lg \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \lg \frac{P}{P_0}, \quad (22)$$

где  $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па – величина звукового давления, соответствующая пороговой интенсивности звука  $I_0 = 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>.

Характер восприятия звука зависит от чувствительности уха к звукам разной частоты. Ухо одинаково реагирует на одинаковые относительные изменения частоты звука, поэтому исследования производятся в относительных полосах частот определенной ширины: октавных и третьоктавных. Октавная полоса частот имеет верхнюю граничную частоту в 2 раза

большую, чем нижняя, в третьоктавной полосе это соотношение равно  $\sqrt[3]{2} \approx 1,26$ . Каждую полосу характеризуют одной среднегеометрической частотой  $f_{cp} = \sqrt{f_1 f_2}$ , где  $f_1$  и  $f_2$  – нижняя и верхняя граничные частоты полосы.

Более подробно с основными понятиями и определениями строительной и архитектурной акустики можно познакомиться в [2, 6, 9].

Для измерения уровней звукового давления используют шумомеры (в частности, ОКТАВА-101АМ). Шумомер является электронным измерительным прибором, реагирующим на звук аналогично уху человека, и обеспечивающим объективное измерение уровней звукового давления. Воспринимаемый микрофоном звук преобразуется в электрический сигнал и подается в усилитель шумомера. После усиления и соответствующей обработки сигнал поступает на графический индикатор прибора. Прибор показывает уровни звукового давления в децибелах в октавных или третьоктавных полосах частот. Структурная схема измерительной системы, обеспечивающая измерение и анализ шумов, приведена на рис. 13.



Рис. 13. Структурная схема измерительной системы с частотным анализом шума

#### Лабораторная работа 10

##### ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ РЕВЕРБЕРАЦИИ ПОМЕЩЕНИЯ

Цель работы: знакомство с экспериментальным методом определения основной характеристики акустических качеств помещения – времени реверберации.

Приборы и оборудование: генератор шума, полосовой фильтр, усилитель, громкоговорители, шумомер-анализатор спектра ОКТАВА-101АМ, микрофон, кабель микрофонный, сетевой адаптер 110DOUT, персональный компьютер с программным обеспечением 110UTIL-Post Processing.

### Методические указания

В лабораторной работе выполняется экспериментальное определение времени реверберации в лекционной аудитории.

Реверберацией называется процесс затухания звуковой энергии в помещении после выключения источника звука. Оценивается реверберационный процесс временем стандартной реверберации  $T$ , т.е. временем, в течение которого плотность звуковой энергии после прекращения звучания источника убывает в  $10^6$  раз или соответственно уровень звукового давления уменьшается на 60 дБ. Время  $T$  является одним из основных критериев, определяющих акустические качества помещений [6, 10]. Для каждого помещения в зависимости от назначения и объема существует свое оптимальное время стандартной реверберации  $T_{\text{опт}}$ . Значения времени реверберации для различных по назначению помещений приведены на рис. 14.

Экспериментальное определение времени реверберации необходимо выполнять в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ 24146–89. В лабораторной работе время реверберации определяется по программе 110UTIL-Post Processing, которая использует записанный в файл компьютера оцифрованный сигнал спада уровня звукового давления.

При оценке акустических качеств помещений время реверберации  $T$ , как правило, должно определяться для третьоктавных полос с среднегеометрическими частотами 125, 500 и 2000 Гц.

Имея экспериментальные данные о времени реверберации можно определить средние коэффициенты звукопоглощения поверхностей помещения  $\alpha_{\text{ср}}$ . Расчет коэффициентов  $\alpha_{\text{ср}}$  выполняется с использованием формул:

$$T = 0,163 \frac{V}{A_{\text{общ}}} \text{ при } \alpha_{\text{ср}} \leq 0,2, \quad (23)$$

$$T = \frac{0,163V}{-S_{\text{общ}} \ln(1 - \alpha_{\text{ср}})} \text{ при } \alpha_{\text{ср}} > 0,2, \quad (24)$$

где  $V$  и  $S_{\text{общ}}$  – объем,  $\text{м}^3$ , и суммарная площадь внутренних поверхностей помещения,  $\text{м}^2$ ;  $\alpha_{\text{ср}}$  и  $A_{\text{общ}} = \alpha_{\text{ср}} S_{\text{общ}}$  – средний коэффициент и эквивалентная площадь звукопоглощения помещения,  $\text{м}^2$ , соответственно.

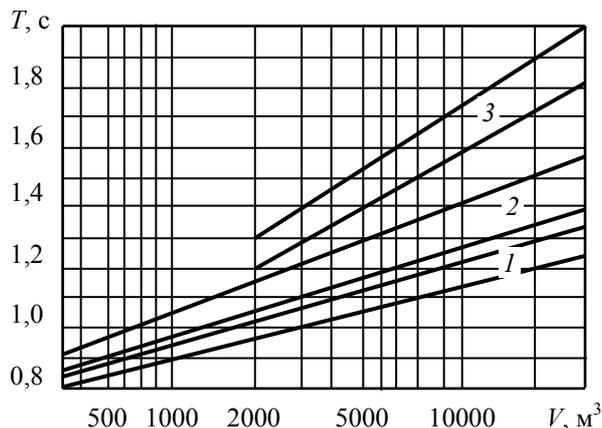


Рис. 14. Рекомендуемое время реверберации для залов различного назначения:

1 – лекционные аудитории, пассажирские помещения вокзалов; 2 – драматические театры, залы многоцелевого назначения средней вместимости, кинотеатры; 3 – театры оперы и балета, концертные залы

### Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

1. Собираются и проверяются схемы приемного и передающего трактов. Скелетные схемы трактов приведены на рис. 15. Передающий тракт состоит из генератора шума (ГШ), обеспечивающего создание в помещении звукового поля с равномерной интенсивностью во всем исследуемом диапазоне частот, полосового фильтра (ПФ), позволяющего производить исследования в частотных интервалах шириной в октаву или 1/3 октавы, усилителя шума (УШ), громкоговорителя (Г). Приемный тракт состоит из ненаправленного микрофона (М), шумомера-анализатора (Ш), сетевого адаптера 110DOUT (СА), персонального компьютера (ПК) с программным обеспечением 110UTIL-Post Processing, позволяющим автоматически оцифровывать изменение уровней звукового давления в исследуемом помещении.

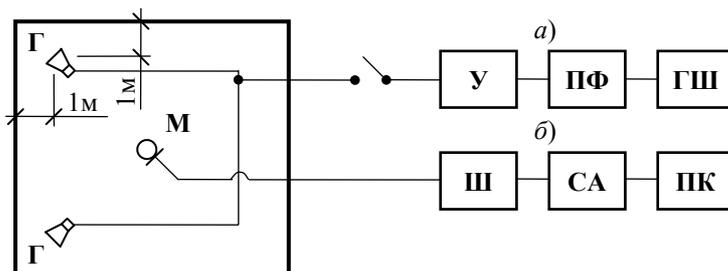


Рис. 15. Скелетные схемы передающего (а) и приемного (б) трактов для измерения времени реверберации

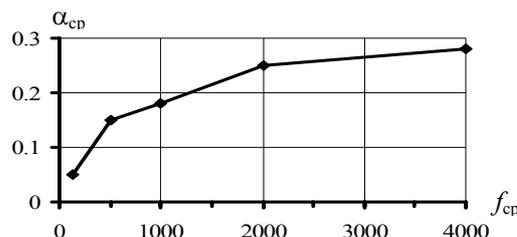
2. С помощью генератора шума в помещении создается звуковое поле с уровнем звукового давления выше уровня шумового фона не менее чем на 40 дБ. В компьютере регистрируются уровень звукового давления  $L$ , установившийся в помещении, и максимальный измеренный уровень  $L_{\max}$ .

3. Отключают источник звука. После этого, открыв на мониторе закладку "Сигнал", выбирается файл с результатами измерений, представляющий собой временную историю изменения уровней звукового давления. Измерения проводят для трех позиций микрофона, делая не менее двух записей для каждой точки.

4. С помощью закладки "Обработка" производят оценку спада уровня звукового давления. Программа определяет время реверберации по участку сохраненной временной записи сигнала, соответствующему спаду уровня на 15 дБ после выключения источника звука. Для исключения случайных отклонений уровней звукового давления при обработке результатов измерений выбирают на мониторе тип (Lin/Exp) и временную константу усреднения.

5. Для получения среднего значения времени реверберации по результатам нескольких замеров необходимо использовать закладку "РЕЗУЛЬТАТ". Результаты расчетов заносятся в табл. 13.

6. На основании результатов измерений по формуле (23) или (24), рассчитывается средний коэффициент звукопоглощения  $\alpha_{\text{ср}}$  для всех трех частотных полос анализа и строится частотная характеристика коэффициента звукопоглощения  $f = (\alpha_{\text{ср}}, f_{\text{ср}})$ , аналогично приведенной на рис. 16.



**Рис. 16. Пример построения частотной характеристики коэффициента звукопоглощения помещения**

### 13. Результаты измерений времени реверберации

Наименование расчетных величин	Среднегеометрическая частота $f_{\text{ср}}$ , Гц	Позиции микрофона		
		1	2	3
Время стандартной реверберации $T$ , с	125			
	500			
	2000			
Среднее по помещению время стандартной реверберации $T$ , с	125			
	500			
	2000			

7. Сравниваются полученные значения времени реверберации с оптимальными для помещений данного объема и назначения (см. рис. 14) и делаются соответствующие выводы об акустических качествах исследуемого помещения и мерах по их улучшению.

### Контрольные вопросы

1. Реверберация и ее влияние на акустические качества помещения.
2. Время стандартной реверберации, его зависимость от размеров звукопоглощения помещения.
3. Оптимальное время реверберации, его зависимость от размеров помещения и назначения.
4. Метод измерения времени реверберации.
5. Возможные приемы изменения времени реверберации в помещениях.

Литература: [1, 2, 6].

## Лабораторная работа 11

### ИЗМЕРЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКОВЫХ ВОЛН В ЗАКРЫТЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Цель работы: знакомство с методикой качественной оценки акустических свойств помещений, выяснение роли формы помещений и очертаний внутренних поверхностей в создании оптимальных акустических условий.

Приборы и оборудование: плоская ванна со стеклянным дном, заполненная водой, источник света, набор контурных моделей разрезов и планов помещений.

## Методические указания

В лабораторной работе выполняется исследование закономерностей формирования звуковых полей в помещениях с естественной акустикой, выявление акустических недостатков геометрической формы исследуемых залов и определение методов их исправления.

Качественные явления распространения и отражения звуковых волн в помещениях могут быть проанализированы методами геометрической акустики на двухмерных моделях разрезов и планов помещений в водяной ванне (рис. 16). Отражение и рассеяние волн в воде модели соответствует качественной картине распространения звуковой энергии в натуральных условиях помещений. В ряде случаев это позволяет установить достоинства и недостатки форм проектируемых помещений и внести в них соответствующие изменения.

При постановке опыта следует учитывать, что условие подобия исследуемого объекта и модели соблюдаются в том случае, если масштаб моделирования одинаков как для геометрических размеров, помещения и модели, так и для длин волн, возбуждаемых в них. Наиболее удобным является масштаб моделирования 1:50 [9].

При выполнении работы важно помнить, что для создания хорошей акустики в аудиториях и залах необходимо [1, 6]:

- обеспечить на всех местах достаточный уровень звуковой энергии;
- создать условия для диффузного распределения звуковой энергии по помещению, исключая возможность образования эха, фокусирования энергии и других вредных, с точки зрения акустики, эффектов;
- обеспечить оптимальное время реверберации.

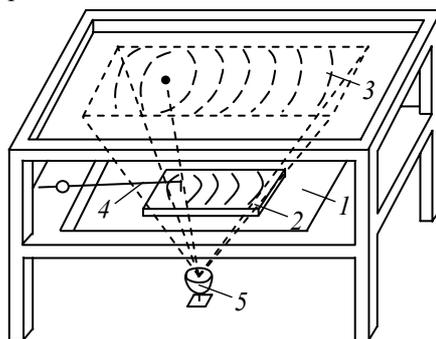


Рис. 17. Схема акустической ванны:

- 1 – ванна с водой; 2 – модель плана или разреза помещения; 3 – отражение модели; 4 – источник колебаний; 5 – источник колебаний

При выполнении первых двух требований необходимо правильно выбрать объем зала, его геометрическую форму и очертания внутренних поверхностей. При этом следует соблюдать следующие требования:

- основные размеры помещений должны удовлетворять существующим нормам проектирования;
- очертания потолков и стен должны способствовать хорошему распределению отраженного от них звука, направляя большую его долю на удаленные от источника звука места слушателей;
- в помещении не должно быть вогнутых поверхностей, обладающих способностью концентрировать звуковую энергию на отдельных участках помещения;
- для повышения диффузности звукового поля необходимо, чтобы значительная часть поверхностей создавала рассеянное ненаправленное отражение звука. Это может быть достигнуто расчленением поверхностей балконами, пилястрами, нишами и т.п. неровностями;
- необходимо располагать отражающие поверхности таким образом, чтобы временная разность прихода на места слушателей прямого звука и ранних отражений не превышала допустимой величины.

Правильно выбранные объем, форма и размеры помещений позволяют обеспечить равномерное распределение звуковой энергии и создать звуковое поле, исключая возможность влияния вредных акустических факторов.

### Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

1. Помещается контурная модель плана или разреза помещения в ванну, заполненную водой так, чтобы край модели возвышался над поверхностью воды на несколько миллиметров (см. рис. 17).
2. Выбирается место установки источника колебаний в модели, соответствующее расположению источнику звука в помещении.
3. Приводится в действие источник колебаний и создается теневое изображение волновых процессов в помещении.
4. В масштабе зарисовывается модель помещения и анализируется теневое изображение звукового поля. На чертеже строятся падающий и отраженный лучи с использованием методов геометрической акустики.
5. Дается общая характеристика распределения звуковой энергии в помещении; отмечаются неравномерности звукового поля, места фокусирования энергии, явления интерференции и т.п.; указываются возможные меры по улучшению акустических качеств помещения.

### Контрольные вопросы

1. Влияние формы помещения на распределение в нем звуковой энергии.
2. Меры борьбы с фокусированием звуковой энергии, с неравномерностью распределения ее в помещениях, с явлением эха и т.п.

3. Принципы качественной и количественной оценки распределения звуковой энергии в закрытых помещениях.  
Литература: [1, 6, 9].

## Лабораторная работа 12

### ИССЛЕДОВАНИЕ НА МОДЕЛЯХ ЭФФЕКТИВНОСТИ СНИЖЕНИЯ ШУМА В ПОМЕЩЕНИЯХ СТРОИТЕЛЬНО-АКУСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Цель работы: знакомство с методикой и приобретение практических навыков оценки эффективности снижения шума в производственных помещениях строительными акустическими методами.

Приборы и оборудование: модель производственного помещения, набор поверхностей потолка и стен со звукопоглощающей облицовкой, экраны-перегородки, шумомер-анализатор спектра ОКТАВА-101АМ, микрофон ВМК-205, микрофонный предусилитель КММ 400, кабель микрофонный, шариковый источник шума, электронный самописец ИС-210.1.

#### Методические указания

В лабораторной работе необходимо выполнить анализ эффективности применения строительными акустическими методами снижения шума. К строительным акустическим методам относятся архитектурно-планировочные мероприятия, звукоизоляция, звукопоглощение и экранирование [6]. Разработка указанных мероприятий производится инженерами-проектировщиками. Выбор метода снижения шума и его эффективность зависят от конкретных условий: частотного состава шума; требуемого снижения уровней; объемно-планировочного решения помещений и т.п. [9].

Сведения о шумовом режиме, необходимые для выбора строительными акустическими мероприятиями на исследуемых объектах, получают в результате измерений. Измерения проводятся с целью оценки шумового режима в помещениях, выяснения соответствия его нормативным требованиям, разработки мероприятий по снижению шума и оценке их эффективности.

В научно-исследовательской практике для изучения закономерностей распространения шума в помещениях, их зависимости от объемно-планировочных параметров, акустических характеристик помещения, наличия в нем оборудования и т.п., а также для оценки эффективности применения строительными акустическими мерами снижения шума (экранирования, звукопоглощения и т.п.) используют метод прямого физического моделирования на уменьшенных моделях помещений [9]. При таком методе моделирования необходимо обеспечивать:

- геометрическое подобие модели и натуре;
- соответствие коэффициентов звукопоглощения поверхностей модели и натурального помещения;
- сохранение в модели и в натуре равенства отношений размеров помещения к длине волны, т.е.  $l_m/\lambda_m = l_n/\lambda_n$ , где  $l_m$ ,  $\lambda_m$ ,  $l_n$ ,  $\lambda_n$  – длина помещения и длина волны в модели и в натуре, соответственно.

Так как длина волны  $\lambda$  связана с частотой звука  $f$  соотношением  $\lambda = c/f$  ( $c$  – скорость звука), то из этого следует, что при уменьшении размеров модели для получения реальных значений исследуемых величин необходимо увеличить диапазон исследуемых частот во столько раз, во сколько уменьшены размеры помещения в физической модели.

В данной лабораторной работе исследование эффективности строительными акустическими мерами снижения шума выполняется на уменьшенной физической модели производственного помещения.

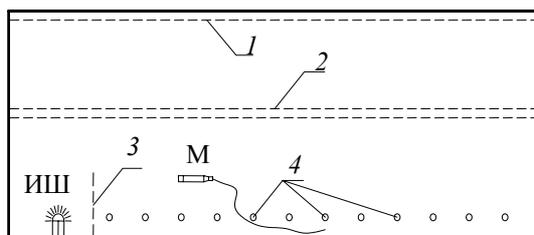
Модель представляет собой камеру, выполненную в виде прямоугольного параллелепипеда (см. рис. 18). Размеры модели в плане  $1,94 \times 0,77$  м, высота переменная и изменяется в пределах от 0,25 м до 0,55 м с шагом 0,1 м. Модель установлена на бетонный пол через упругую резиновую прокладку и акустически разобщена с ограждениями лаборатории. Изменение акустических характеристик модели осуществляется путем закрепления на поверхностях потолка звукопоглощающего материала.

Стенки камеры выполнены из органического стекла толщиной 4 мм, позволяющего следить за ходом выполнения эксперимента. Создание шумового поля в модели обеспечивается шариковым электромеханическим источником шума, разработанным НИИ строительной физики. Контроль температуры и влажности внутреннего воздуха в камере осуществлялся электронным самописцем ИС-210.1.

Результаты измерений уровней звукового давления снимаются непосредственно с графического индикатора шумомера-анализатора спектра ОКТАВА-101АМ или сохраняются в энергозависимой памяти прибора, а в последствии передаются в компьютер по интерфейсу.

#### Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

1. В соответствии с заданными преподавателем масштабом моделирования, среднегеометрической частотой октавной полосы анализа шума в реальном помещении и размерами модели определяются размеры реального помещения и устанавливается требуемая октавная полоса анализа шума в модели. По схеме, приведенной на рис. 18, собирается измерительный тракт.



**Рис. 18. Схема модельной установки и измерительного тракта:**

1 – место расположения звукопоглощающего материала; 2 – вариант размещения потолка; 3 – место размещения экрана; 4 – места расположения микрофона

2. Производится исследование эффективности снижения шума в помещении в зависимости от количества и места размещения звукопоглощающего материала. Для этого при включенном источнике шума выполняются измерения уровней звукового давления в точках модели, расположенных на разном удалении от источника, при отсутствии звукопоглощающего материала на потолке модели и при его наличии.

Измерения следует производить без звукопоглощающего материала и при расположении звукопоглощающего материала на ближней к источнику шума зоне потолка, в средней его зоне и на удаленном участке, а также при полной обработке потолка звукопоглощающим материалом. По результатам измерений строятся графики распределения уровней звукового давления в помещении для исследуемой октавной полосы частот. По разности результатов измерений уровней звукового давления в модели без звукопоглощения и при наличии звукопоглощающего материала строятся графики эффективности снижения шума за счет звукопоглощения при различном расположении его на потолке. Примеры построения графиков даны на рис. 19. Результаты измерений заносятся в табл. 14. Измерения повторяются три раза.

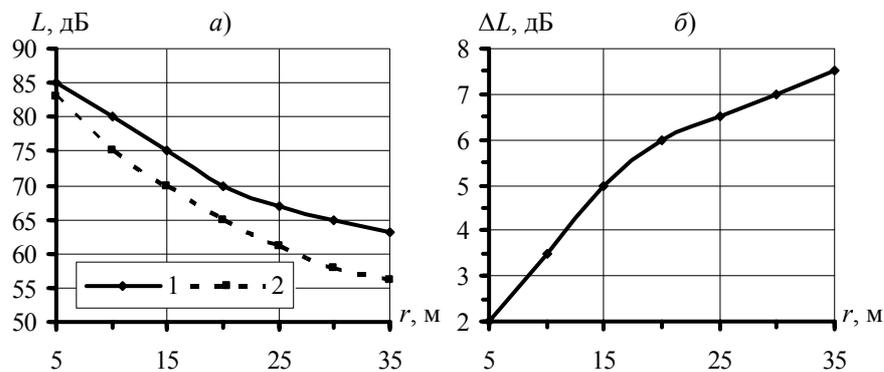
#### 14. Результаты экспериментальных измерений уровней звукового давления $L$ , дБ

Условия проведения измерений	Октавная полоса частот $f_{cp} =$ Гц						
	Расстояние от источника шума, г, см						
	20	40	60	80	100	120	140
без звукопоглощающей облицовки потолка							
со звукопоглощающей облицовкой потолка на длине равной	1						
	1/31						
	2/31						
с экраном ( $h_{\text{экрана}} = \dots$ )							

Расстояние на графиках указано в пересчете на натурные размеры помещения. На основе графиков делаются выводы об эффективности снижения шума за счет облицовки поверхности потолка звукопоглощающим материалом и обосновывается изменение эффективности в зависимости от места расположения звукопоглощения.

3. Производится исследование эффективности снижения шума в помещении за счет экранирования источника шума. Для этого выполняются измерения уровней звукового давления в помещении в точках, расположенных на разном расстоянии за экраном. Измерения производят при различных высотах экрана-перегородки и при размещении ее на разном расстоянии от источника шума. По результатам измерений строятся графики уровней звукового давления в помещении без экрана и при его наличии, а также графики эффективности снижения шума за счет экранирования. Примеры построения графиков даны на рис. 19 и 20. Результаты измерений заносятся в табл. 14. Измерения повторяются три раза.

На основе графиков оценивается эффективность снижения шума экранами-перегородками в зависимости от места их расположения и высоты.

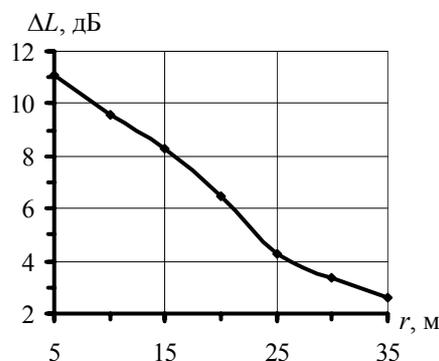


**Рис. 19. Графики уровней звукового давления (а) и эффективности снижения шума за счет звукопоглощения (б):**  
 1 – при отсутствии звукопоглощения;  
 2 – при наличии звукопоглощения на потолке

4. Производится исследование эффективности снижения шума в помещении за счет комплексного применения экрана-перегородки и звукопоглощающей облицовки потолка. Для этого выполняют измерения уровней звукового давления в точках, расположенных на разном расстоянии за экраном, при наличии звукопоглощающего материала на потолке помещения. При измерениях необходимо рассмотреть варианты с размещением звукопоглощающего материала по всей поверхности потолка, в зоне над экраном и в зоне источника шума. По результатам измерений уровней звукового давления в модели строятся графики эффективности снижения шума. На основе графиков делаются выводы об эффективности снижения шума за счет комплексного применения экранов и звукопоглощения и обосновывается зависимость эффективности от их взаимного расположения.

#### Контрольные вопросы

1. Строительно-акустические методы снижения шума в помещениях.
2. Методика выбора строительно-акустических мер снижения шума.
3. Основные принципы построения физических моделей, используемых при исследовании закономерностей распространения шума в помещениях.
4. Методика оценки эффективности строительно-акустических мер снижения шума.
5. Факторы, влияющие на эффективность снижения шума звукопоглощающими облицовками.
6. Факторы, влияющие на эффективность снижения шума за счет экранирования.



**Рис. 20. График эффективности снижения шума за счет экранирования источника шума**

7. Эффективность комплексного применения строительно-акустических мер снижения шума.  
 Литература: [1, 6, 9, 17].

#### Лабораторная работа 13

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ВОЗДУШНОГО ШУМА ОГРАЖДАЮЩИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ ЗДАНИЙ

Цель работы: знакомство с методикой и аппаратурой, применяемыми при экспериментальных исследованиях изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями.

Приборы и оборудование: шумомер-анализатор спектра ОКТАВА-101АМ, микрофон ВМК-205, микрофонный предусилитель КММ 400, кабель микрофонный, широкополосный источник шума, электронный самописец ИС-210.1.

## Методические указания

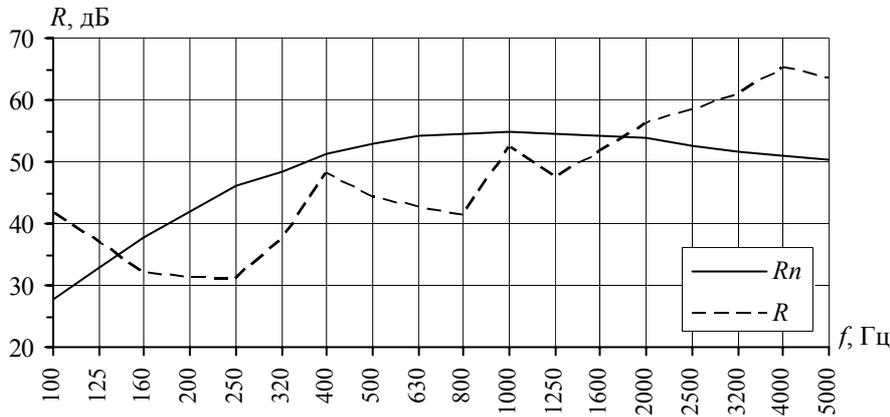


Рис. 22. Экспериментальная ( $R$ ) и нормативная ( $R_n$ ) частотные характеристики изоляции воздушного шума

В лабораторной работе необходимо исследовать звукоизолирующую способность перегородки акустической камеры и оценить ее изоляционные качества.

Звукоизолирующей способностью или изоляцией воздушного шума ограждения называется величина  $R = 10 \lg I/\tau$  (дБ), где  $\tau$  – коэффициент звукопередачи, определяемый как отношение звуковой энергии, прошедшей через конструкцию, к падающей на нее;  $I$  – интенсивность звука, Вт/м<sup>2</sup>. Для пояснения величины  $\tau$  на рис. 21 приведена схема передачи

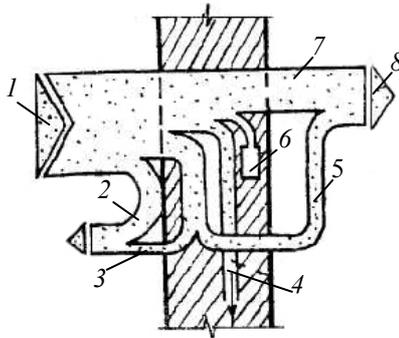


Рис. 21. Схема передачи звуковой энергии через конструкцию:  
 1 – падающая на конструкцию энергия; 2 – отраженная от конструкции энергия;  
 3, 5 – энергия, излучаемая конструкцией в смежные помещения; 4 – энергия структурного шума; 6 – энергия, трансформирующаяся в тепловую; 7 – энергия, прошедшая через поры и неплотности; 8 – суммарная энергия, прошедшая через конструкцию

воздушной звуковой энергии через ограждающую конструкцию. Шум проникает в смежное помещение через незакрытые поры материала, отверстия и щели, а также за счет излучения энергии колеблющимся под воздействием звуковых волн ограждением.

Изоляция воздушного шума ограждением  $R$  может быть охарактеризована разностью уровней звукового давления в помещении с источником шума  $L_1$  и в изолируемом от шума помещении  $L_2$

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg S / A_2, \quad (25)$$

где  $S$  – площадь ограждения;  $A_2 = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i + \sum_{k=1}^m A_k$  – эквивалентная площадь звукопоглощения изолируемого помещения;  $\alpha_i$  – коэффициент звукопоглощения  $i$ -ой поверхности помещения;  $A_k$  – эквивалентная площадь звукопоглощения отдельного  $k$ -го предмета помещения, м<sup>2</sup>;  $S_i$  – площадь  $i$ -ой поверхности помещения, м<sup>2</sup>.

Величина  $R$  определяется экспериментальным или расчетным путем, как правило, для третьоктавных полос в диапазоне частот 90...5600 Гц [6, 17]. По результатам измерений или расчета строится частотная характеристика изоляции воздушного шума конструкцией, которая затем сравнивается с нормативной частотной характеристикой изоляции воздушного шума ограждающей конструкции. В качестве примера, на рис. 22 приведены нормативная и экспериментальная частотные характеристики изоляции воздушного шума.

На основе нормативной и экспериментальной или расчетной характеристик вычисляется индекс изоляции воздушного шума ограждения

$$I_w = 50 + \Delta_w, \quad (26)$$

где  $\Delta_w$  – поправка, определенная путем сравнения частотной характеристики изоляции воздушного шума конструкцией с нормативной частотной характеристикой изоляции воздушного шума ограждающих конструкций. Методика определения поправки  $\Delta_w$  изложена в СНиП [17], примеры расчета даны в [2].

Индекс изоляции  $I_w$  характеризует звукоизолирующую способность ограждения. Необходимо, чтобы проектируемая ограждающая конструкция имела индекс изоляции не менее установленного нормами для данного вида ограждений в зависимости от назначения защищаемого от шума помещения. Нормативные индексы изоляции приведены в СНиП [17].

Экспериментальные исследования звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций зданий выполняются в соответствии с ГОСТ 27296–87.

В процессе эксплуатации зданий нередко возникает необходимость быстрой и нетрудоемкой оценки звукоизоляции ограждения или его отдельного участка. В таких случаях при экспериментальных измерениях в помещении перед ограждением возбуждается широкополосным источником звука диффузное звуковое поле и с помощью шумомера производится измерение уровней звукового давления перед и за исследуемым участком ограждения. По результатам измерений производится расчет индекса изоляции. Полученные результаты позволяют в первом приближении установить соответствие изоляции требованиям норм и наметить практические пути ее повышения.

В данной лабораторной работе используется указанный выше приближенный метод оценки изоляции воздушного шума перегородкой в акустической камере.

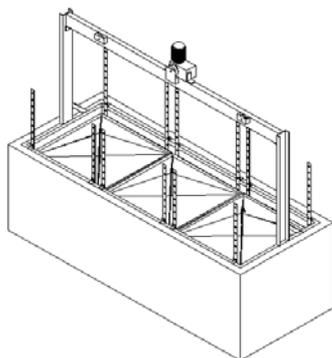


Рис. 23. Вид акустической камеры в изометрии

Камера выполнена в виде прямоугольного параллелепипеда. Размеры в плане  $3,73 \times 1,3$  м, высота камеры переменная. Общий вид камеры представлен на рис. 23. Система подвесных перекрытий камеры позволяет изменять ее объемно-планировочные параметры.

Конструкция камеры установлена на бетонный пол через упругую прокладку из минераловатной плиты и акустически разобщена с ограждениями лаборатории. Стены камеры выполнены из силикатного полнотелого кирпича на цементно-песчаном растворе и оштукатурены с двух сторон. Общая толщина стен равна 150 мм. Сверху на раме укреплены перекрытия камеры, состоящие из стальных плит, обрамленных уголком. Звукоизоляция перекрытий обеспечена за счет песчаной подсыпки толщиной  $\delta = 50$  мм, устроенной на стальных листах. Система блоков и подвесок позволяет перемещать крышки перекрытий по вертикали, меняя тем самым высоту помещения камеры.

На расстоянии  $1/3$  длины от торцевых стен камеры устроены конструкции для крепления разделяющих звукоизолирующих конструкций. После установки звукоизолирующих перегородок камера трансформируется в систему двух или трех акустически связанных помещений. При этом сохраняются возможности изменения высоты и акустических характеристик каждого из помещений. В качестве звукоизолирующих конструкций возможно применять как листовые материалы (сталь, стекло, ЦСП, ДСП и т.п.), так и составные конструкции (двойные перегородки).

### Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

1. Определяется площадь ограждения  $S$ , разделяющего помещения I и II и подлежащего исследованию (см. рис. 24).
2. Определяются размеры помещения II, вычисляются площади всех поверхностей помещения, устанавливаются по [2, табл. П.13] или по [17] коэффициенты звукопоглощения  $\alpha$  поверхностей для октавных полос частот со среднегеометрическими частотами 125, 250, 500, 1000, 2000 и 4000 Гц и вычисляются значения  $A$ .  
Результаты расчетов заносятся в табл. 15.
3. В помещении I путем включения источника шума создается звуковое поле.

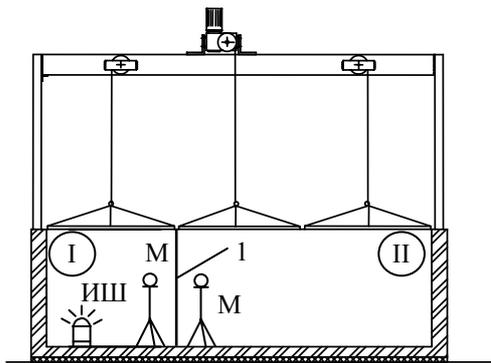


Рис. 24. Схема установки для измерения звукоизоляции воздушного шума:  
1 – исследуемое ограждение

### 15. Звукопоглощающие характеристики помещения II

Полоса частот $f$ , Гц	Коэффициента звукопоглощения, $\alpha$	Площадь поверхностей помещения, $S$	Эквивалентное звукопоглощение помещения, $A_2 = \alpha S$
125			

250			
500			
1000			
2000			
4000			

4. С помощью шумомера (см. рис. 23) в помещении I производится измерение уровней звукового давления в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Гц. Результаты измерений заносятся в табл. 16. При измерениях микрофон должен располагаться перед исследуемым участком ограждающей конструкции в пределах 1 метра от ее поверхности. Измерения повторяются три раза.

5. Аналогично производятся измерения уровней звукового давления в помещении II. Результаты измерений также заносятся в табл. 16.

6. По формуле (25), используя данные табл. 15 и 16, рассчитывается звукоизолирующая способность ограждения.

7. Аналогично рис. 22 строятся графики нормативной и измеренной частотных характеристик изоляции воздушного шума.

8. По методике СНиП [17], пользуясь примерами, приведенными в [2], выполняется расчет индекса изоляции воздушного шума. При этом следует иметь в виду, что среднее неблагоприятное отклонение в октавных

#### 16. Результаты измерений уровней звуковой энергии

Полоса частот f, Гц	Уровни звукового давления, дБ								$\Delta L_{\text{ср}}$
	помещение I				помещение II				
	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>ср</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>ср</sub>	
125									
250									
500									
1000									
2000									
4000									

полосах частот принимается равным 1/6 суммы неблагоприятных отклонений в каждой октавной полосе частот. Неблагоприятными считаются отклонения вниз от нормативной частотной характеристики. Расчет индекса рекомендуется выполнять в табличной форме (см. табл. 17).

### 17. Определение индекса изоляции воздушного шума

Полоса частот f, Гц	Значения звукоизолирующей способности, дБ		Отрицательные отклонения измеренных значений R от нормативных R <sub>n</sub> , дБ	Ординаты нормативной кривой, сдвинутой вниз	Отрицательные отклонения измеренных значений от значений сдвинутой нормативной кривой, дБ
	рассчитанные R	нормативные R <sub>n</sub>			
125					
250					
500					
1000					
2000					
4000					
Сумма отрицательных отклонений			$\sum_1 =$		$\sum_2 =$
Среднее неблагоприятное отклонение			$\sum_1/6 =$		$\sum_2/6 =$
Максимальное неблагоприятное отклонение					
Индекс изоляции воздушного шума					$I_w = 50 + \Delta_w =$

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Пути передачи звуковой энергии через ограждающие конструкции.
  2. Звукоизолирующая способность ограждений и ее расчет.
  3. Экспериментальные исследования изоляции воздушного шума.
  4. Индекс изоляции воздушного шума и методика его определения.
  5. Факторы, влияющие на изоляцию воздушного шума ограждениями.
  6. Пути повышения изоляции воздушного шума ограждениями.
- Литература: [1, 2, 6, 17].

## Список Литературы

1. Архитектурная физика : учеб. для вузов / под ред. Н.В. Оболенского. – М. : Стройиздат, 2003.
2. Демина, А.В. Строительная и архитектурная акустика : учеб. пособие / А.В. Демина, О.Б. Демин, В.И. Леденев. – М. : МИХМ, 1983.
3. Дундич, Е.И. Лабораторный практикум по строительной физике ограждающих конструкций зданий / Е.И. Дундич, В.Ф. Константинов, В.А. Реусова. – Харьков, 1982.
4. Гиндоян, М.Е. Тепловой режим конструкций полов / М.Е. Гиндоян. – М. : Стройиздат, 1984.
5. Гусев, Н.М. Основы строительной физики / Н.М. Гусев. – М. : Стройиздат, 1975.
6. Ковригин, С.Д. Архитектурно-строительная акустика : учеб. пособие для вузов / С.Д. Ковригин, С.И. Крышов. – М. : Высшая школа, 1990.
7. Лабораторный практикум по строительной физике : учеб. пособие для студентов вузов / В.А. Объедков, А.К. Соловьев, А.Н. Кондратенков. – М. : Высшая школа, 1979.
8. Леденев, В.И. Лабораторный практикум по строительной теплофизике : учеб. пособие / В.И. Леденев, А.И. Антонов, О.Б. Демин. – Тамб. гос. техн. ун-т, Тамбов, 1994.
9. Осипов, Г.Л. Снижение шума в зданиях и жилых районах / Г.Л. Осипов. – М. : Стройиздат, 1987.
10. Руководство по акустическому проектированию залов многоцелевого назначения средней вместимости / НИИСФ Госстроя СССР. – М. : Стройиздат, 1981.
11. ГОСТ 30494–96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
12. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01. Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий.
13. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение/Минстрой России. М. : ГУП ЦПП, 1998.
14. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий – М. : ФГУП ЦПП, 2004.
15. СНиП 23-01-99. Строительная климатология – М. : ФГУП ЦПП, 2000.
16. СНиП II-3-79\*\*. Строительная теплотехника / Госстрой СССР. – М. : ГП ЦПП Минстроя России, 1996.
17. СНиП 23-03-2003. Защита от шума. М. : Стройиздат, 2003.
18. СП 23-102-2003. Естественное освещение жилых и общественных зданий.
19. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. – М. : ФГУП ЦПП, 2004.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

### П.1.1. Нормируемая продолжительность инсоляции в помещениях жилых и общественных зданий

Географическая широта местности	Календарный период		
	22 апреля – 22 августа	22 марта – 22 сентября	22 февраля – 22 октября
Северная зона (севернее 58°с.ш.)	Не менее 2,5 ч		
Центральная зона (58°с.ш.-48°с.ш.)		Не менее 2 ч	
Южная зона (южнее 48°)			Не менее 1,5 ч

### П.1.2. Географические широты городов Российской Федерации

Город	Широта, °	Город	Широта, °
Астрахань	47	Магнитогорск	53
Архангельск	66	Мурманск	68
Владивосток	43	Нарьян-Мар	67
Волгоград	48	Новосибирск	55
Екатеринбург	57	Петрозаводск	62
Иркутск	52	Санкт-Петербург	60
Красноярск	56	Симферополь	45
Комсомольск-на-Амуре	51	Сочи	43
Москва	55	Хатанга	72
Магадан	60	Чита	52

### П.1.3. Коэффициенты светового климата

Световые проемы	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта	Коэффициент светового климата $m_N$				
		Номер группы административного района				
		1	2	3	4	5
В наружных стенах здания	С	1	0,9	1,1	1,2	0,8
	СВ, СЗ	1	0,9	1,1	1,2	0,8
	З, В	1	0,9	1,1	1,1	0,8
	ЮВ, ЮЗ	1	0,85	1	1,1	0,8
	Ю	1	0,85	1	1,1	0,75

Примечание: С – северная; СВ – северо-восточная; СЗ – северо-западная; В – восточная; З – западная; Ю – южная; ЮВ – юго-восточная; ЮЗ – юго-западная ориентация.

### П.1.4. Усредненные коэффициенты пропускания, отражения и поглощения света строительными материалами

Материалы	Толщина, мм	Коэффициенты		
		$\rho$	$\tau$	$\alpha$
Стекло:				
листовое оконное	2...3	0,08	0,90	0,02
узорчатое прокатное	3...6,5	0,20	0,70	0,10
матированное	2...3	0,10	0,85	0,05
молочное	2...3	0,45	0,15	0,40
Мраморные полированные плиты с одной стороны	8...10	0,55	0,05	0,40
Зеркало посеребрянное	–	0,85	0,00	0,15
Окраска белая	–	0,80	0,00	0,20

### П.1.5. Коэффициенты отражения внутренних поверхностей интерьера

Вид поверхности	Коэффициент отражения
Светлая побелка, белый мрамор	0,75...0,60
Желтая, голубая окраска, светлое дерево	0,45...0,40
Светлая клеевая покраска (лимонного светло-серого, светло-зеленого цвета)	0,55...0,50
Светлая коричневая, темно-голубая, темно-бежевая покраска, потемневшее дерево	0,35
Натуральный дуб и бук	0,25...0,30
Паркет светлый	0,25...0,30
Линолеум светлый	0,30...0,40
Линолеум темный, темно-серый мрамор, синяя, темно-зеленая, красная покраска	0,20...0,15

**П.2.1. ТермоЭДС дифференциальной медь-константановой термопары ("холодный" спай при 0 °С)**

При положительных температурах				При отрицательных температурах			
ЭДС, мкВ	t, °С	ЭДС, мкВ	t, °С	ЭДС, мкВ	t, °С	ЭДС, мкВ	t, °С
100	2,59	1100	27,72	100	-2,60	1100	-29,61
200	5,16	1200	30,15	200	-5,22	1200	-32,42
300	7,72	1300	25,27	300	-7,85	1300	-35,26
400	10,27	1400	34,98	400	-10,50	1400	-38,12
500	12,80	1500	37,38	500	-13,17	1500	-41,10
600	15,32	1600	39,77	600	-15,86	1600	-43,91
700	17,83	1700	42,15	700	-18,57	1700	-46,84
800	20,32	1800	44,51	800	-21,30	1800	-49,80
900	22,80	1900	46,86	900	-24,05	1900	-50,79
1000	25,27	2000	49,20	1000	-26,82	2000	-55,81

**П.2.2. Значения максимальной упругости водяного пара E, Па, для температур от 0 до 24 °С (над водой)**

t, °С	0	0,2	0,4	0,6	0,8
0	611	620	628	637	647
1	657	666	676	685	695
2	705	716	727	737	747
3	757	768	780	791	802
4	813	825	836	848	860
5	872	885	897	909	922
6	935	948	961	975	988
7	1001	1016	1030	1044	1058
8	1072	1087	1102	1117	1132
9	1148	1164	1179	1195	1212
10	1228	1234	1261	1277	1295
11	1312	1330	1348	1366	1384
12	1403	1421	1440	1460	1477
13	1497	1517	1537	1557	1577
14	1598	1619	1640	1661	1683
15	1705	1727	1749	1772	1796
16	1817	1841	1865	1889	1913
17	1937	1961	1986	2013	2037
18	2064	2089	2116	2143	2169
19	2197	2224	2252	2280	2309
20	2338	2366	2395	2426	2456
21	2486	2517	2548	2580	2612
22	2644	2676	2709	2742	2776
23	2809	2842	2877	2913	2948
24	2984	3020	3056	3093	3130
25	3168	3205	3244	3283	3321

**П.2.3. Характеристика влажностного режима помещений**

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

**П.2.4. Нормативные значения показателей теплоусвоения  
поверхности  $Y_n$  и тепловой активности  $B_0$  полов**

Здания, помещения и отдельные участки	Группа пола	$B_0$ , кДж/(м <sup>2</sup> ·ч·°С)	$Y_n$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1. Здания жилые, больничных учреждений, диспансеров, родильных домов, домов ребенка, домов-интернатов, общеобразовательных школ, детских садов, яслей, детских домов	I	42	12
2. Общественные здания, кроме указанных в поз. 1, вспомогательные здания и помещения промышленных предприятий; участки с постоянными рабочими местами в отапливаемых помещениях производственных зданий, где выполняются легкие физические работы	II	50	14
3. Участки с постоянными рабочими местами в отапливаемых помещениях производственных зданий, где выполняются физические работы средней тяжести	III	63	17

**П.2.5. Коэффициенты воздухопроницаемости**

некоторых строительных материалов

Наименование материала	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент воздухопроницаемости, 10 <sup>5</sup> ·кг/(м·ч·Па)
Бетон состава 1:2, 5:3,5	2150	0,4392
Акустическая штукатурка	700	331
Вермикулит	320	393
Гипсовая плита	1300	0,511
Древесина поперек волокон	500	2,8
Древесина вдоль волокон	500	75,4
Пенобетон автоклавный	670	5,25
Пенобетон неавтоклавный	600	52,6
Пеногипс	430	285
Шлакобетон		749
Газосиликат		667
Картон строительный		2,03
Листы асбестоцементные		3,06
Сухая штукатурка		50
Плиты минераловатные жесткие		2500
Фанера клееная		0,12

**П.2.6. Характеристики теплопередачи через окно**

Характеристики	Размерность	Значения характеристик				
		-60	-40	-10	10	50
$t_{ext}$	°С	-60	-40	-10	10	50
$\tau_{int}$	°С	-7	0	10	17	30
$t_{вп}$	°С	-24	-13	3	14	37
$\alpha_{int}$	Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	0,3	9,8	9,0	8,4	9,4
$\alpha_{мет}$	Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	5,8	5,9	5,8	5,8	9,4

**Определение коэффициента теплоотдачи  
ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОГРАЖДЕНИЯ  
ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

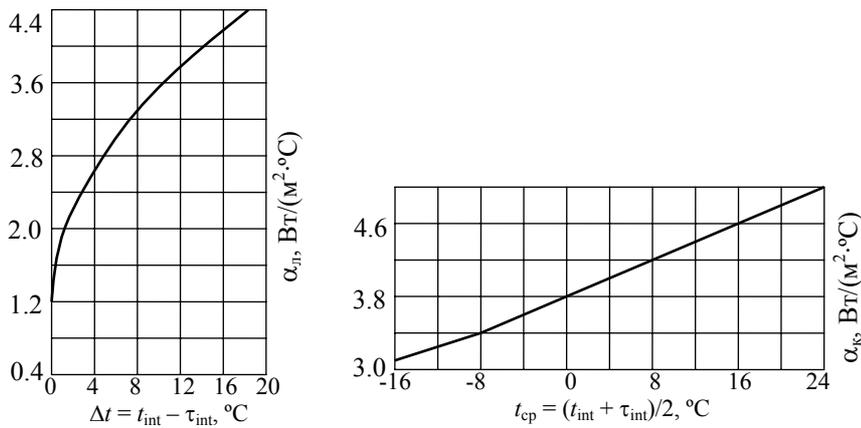
Согласно ГОСТ 26254–84 "Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций" при экспериментальных исследованиях теплозащитных качеств ограждений допускается определять сопротивление теплопередаче ограждений по формуле

$$R_0 = \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{t_{\text{int}} - \tau_{\text{int}}} R_{\text{int}},$$

где

$$R_{\text{int}} = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} = \frac{1}{\alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{л}}};$$

$\alpha_{\text{к}}$  и  $\alpha_{\text{л}}$  – коэффициенты соответственно конвективного и лучистого теплообмена внутренней поверхности ограждающей конструкции, определяемые по рис. П.3.



**Рис. П.3. Графики для определения коэффициентов конвективного  $\alpha_{\text{к}}$  и лучистого  $\alpha_{\text{л}}$  теплообмена внутренней поверхности ограждения**

**П.4. Эффективность снижения шума  
строительно-акустическими методами**

№ п/п	Наименование метода	Возможное снижение уровня шума, дБ	Примечание
1	Группирование источников шума и отдельных участков по степени шумности (архитектурно-планировочные мероприятия)	5...10	Эффективность зависит от размера помещения, разницы в уровнях шума отдельных источников, расстояния между источниками шума и рабочими местами, звукопоглощения в помещении и т.п.
2	Звукоизоляция источников шума и отдельных участков помещений	10...15	
3	Устройство звукопоглощающих облицовок	6...10	
4	Экранирование источников шума и отдельных участков помещения	5...10	

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	
1. СТРОИТЕЛЬНАЯ СВЕТОТЕХНИКА .....	
Лабораторная работа 1. Исследование условий инсоляции отдельных зданий с помощью инсолятора .....	
Лабораторная работа 2. Исследование естественной освещенности помещений в натуральных условиях .....	
Лабораторная работа 3. Исследование светопропускания остекления световых проемов .....	
Лабораторная работа 4. Исследование влияния отражающих свойств поверхностей на освещенность помещений .....	
2. СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА .....	
Лабораторная работа 5. Исследование температурно- влажностного режима помещений .....	
Лабораторная работа 6. Исследование теплозащитных качеств многослойной стеновой ограждающей конструкции .....	
Лабораторная работа 7. Исследование теплозащитных качеств оконных ограждений .....	
Лабораторная работа 8. Экспериментальное определение тепловой активности пола .....	
Лабораторная работа 9. Исследование воздухопроницаемости строительных материалов .....	
3. СТРОИТЕЛЬНАЯ И АРХИТЕКТУРНАЯ АКУСТИКА .....	
Лабораторная работа 10. Измерение времени реверберации помещения .....	
Лабораторная работа 11. Измерение распространения звуковых волн в закрытых помещениях .....	
Лабораторная работа 12. Исследование на моделях эффективности снижения шума в помещениях строительно- акустическими методами .....	
Лабораторная работа 13. Исследование изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями зданий .....	
ЛИТЕРАТУРА .....	
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	