

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**А.И. Иванцов, А.С. Петров, В.Н. Куприянов**

**Лабораторный практикум по дисциплине  
«Физика среды и ограждающих конструкций»**

Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ  
для студентов очного и заочного обучения направления подготовки  
08.03.01 «Строительство» и специальности 08.05.01 «Строительство  
уникальных зданий и сооружений»

Казань  
2019

УДК 53.09  
ББК 22.3  
И23

**Иванцов А.И., Петров А.С., Куприянов В.Н.**

И23 Лабораторный практикум по дисциплине «Физика среды и ограждающих конструкций»: Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ для студентов очного и заочного обучения направления подготовки 08.03.01 «Строительство» и специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» /А.И. Иванцов, А.С. Петров, В.Н. Куприянов. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2019. – 68 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Учебно-методическое пособие предназначено для использования в учебном процессе при изучении курсов «Физика среды и ограждающих конструкций», «Строительная физика», а также для использования в качестве руководства при выполнении лабораторных работ студентами очного и заочного обучения направления подготовки 08.03.01 «Строительство» и специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений».

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики,  
газоснабжения и вентиляции КГАСУ

**Д.В. Крайнов**

Главный инженер проектов ООО «РС-Концепт»

**Р.И. Шафигуллин**

УДК 53.09  
ББК 22.3

© Казанский государственный  
архитектурно-строительный  
университет, 2019

© Иванцов А.И., Петров А.С.,  
Куприянов В.Н., 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Лабораторная работа № 1.....	5
<b>Исследование параметров микроклимата помещений</b>	
Лабораторная работа № 2.....	14
<b>Исследование теплопроводности строительных материалов, используемых в стеновых ограждениях</b>	
Лабораторная работа № 3.....	20
<b>Исследование сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в климатической камере</b>	
Лабораторная работа № 4.....	27
<b>Исследование влагопроводности строительных материалов</b>	
Лабораторная работа № 5.....	33
<b>Исследование светопропускания оконной конструкции</b>	
Лабораторная работа № 6.....	39
<b>Исследование естественной освещенности помещений</b>	
Лабораторная работа № 7.....	45
<b>Исследование светопропускания светопрозрачных материалов световых проемов</b>	
Лабораторная работа № 8.....	50
<b>Построение частотной характеристики изоляции воздушного шума ограждающей конструкции</b>	
Лабораторная работа № 9.....	58
<b>Определение экспериментальным методом изоляции оконной конструкцией транспортного шума</b>	
Лабораторная работа № 10.....	63
<b>Исследование влияния отделки помещения на его акустические характеристики</b>	
Литература .....	68

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплины «Строительная физика» и «Физика среды и ограждающих конструкций» являются частью цикла математических и естественнонаучных дисциплин и входят в его вариативную часть. Студенты должны обладать знаниями в области математики, физики и начальными знаниями в области архитектуры и строительных материалов и конструкций, а также умениями производить необходимые расчеты, быть компетентными в области естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности.

Задачами дисциплины является получение знаний и умений в области строительной теплотехники и теплозащиты зданий, защиты конструкций зданий от увлажнения, обеспечение нормативного воздухопроницания ограждений, нормативного естественного освещения и инсоляции, а также защита от шума.

Лабораторные работы в структуре изучения дисциплин «Строительная физика» и «Физика среды и ограждающих конструкций» занимают существенное место в освоении базовых понятий, основных терминов в сфере строительной физики. Целью проводимых лабораторных работ является получение студентами практических навыков работы с приборами и нормативной литературой.

В начале каждой лабораторной работы рассмотрены теоретические вопросы по соответствующей теме в объеме, необходимом для понимания и успешного выполнения лабораторной работы. Далее следует описание экспериментальной установки и приборов, требуемых для использования в исследовательской работе, затем приводится порядок выполнения работы. Для контроля изученного материала в конце каждой работы даны вопросы.

После выполнения лабораторной работы студент должен ее оформить надлежащим образом и защитить, ответив на вопросы преподавателя по теме работы.

Перед выполнением лабораторных работ студенты обязаны пройти у ведущего преподавателя инструктаж по технике безопасности.

### **Рекомендации по заполнению журнала лабораторных работ**

В журнале записывается:

- наименование работы;
- цель работы;
- основные положения теоретических предпосылок;
- приводится схема основной испытательной установки и приборов;
- таблицы измерений и расчета;
- заключение.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

## Исследование параметров микроклимата помещений

### Цель работы

Освоить экспериментальные методы измерения параметров микроклимата в обслуживаемой зоне помещения.

### Теоретические предпосылки

Здоровье человека подвержено воздействию факторов среды, в которой он находится. Среда оказывает влияние на человеческий организм через воздушные, пищевые, водные факторы и различные излучения. Это факторы оцениваемого физического воздействия, которые могут носить безвредный или даже благоприятный характер, а могут оказывать негативное действие на здоровье человека.

Большая часть людей основное время проводит в замкнутых пространствах – помещениях жилого или общественного назначения. В этой связи важным фактором влияния на человеческий организм в помещениях является микроклимат.

Под *микроклиматом* понимают состояние внутренней среды помещения, оказывающей воздействие на человека. Микроклимат характеризуется показателями температуры воздуха и температур внутренних поверхностей ограждающих конструкций, влажностью и скоростью движения воздуха.

Параметры микроклимата подразделяются на оптимальные и допустимые.

*Оптимальные параметры* – сочетание значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают нормальное тепловое состояние организма и ощущение комфорта не менее чем у 80 % людей, находящихся в помещении.

*Допустимые параметры* – сочетание значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызвать общее и локальное ощущение дискомфорта, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности, но не вызывают повреждений или ухудшения состояния здоровья.

Нормируемые значения оптимальных и допустимых параметров различаются для холодного и теплого периода года (см. ГОСТ 30494-2011).

*Холодный период года* – характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха  $+8^{\circ}\text{C}$  и ниже.

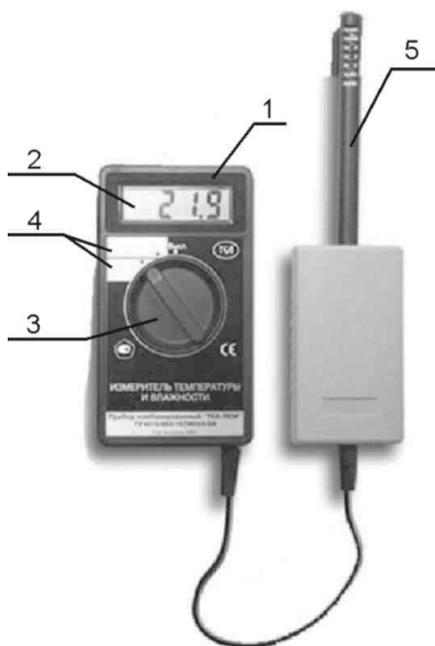
**Теплый период года** – характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха выше  $+8^{\circ}\text{C}$ .

Оптимальные или допустимые нормы микроклимата должны быть обеспечены *в обслуживаемой зоне помещения*.

**Обслуживаемая зона помещения** – пространство в помещении, ограниченное плоскостями, параллельными полу и стенам. По высоте эта зона находится между плоскостями, проходящими на высоте 0,1 и 2,0 м от пола. По периметру помещения зона обслуживания не доходит до стен и отопительных приборов на 0,5 м (рис. 1.2).

### Описание приборов и установок

Распределение температуры и относительной влажности воздуха в помещении производится с использованием электронного прибора – термогигрометра ТКА-ТВ (рис. 1.1). В измерении используются также мерная рейка со шкалой и рулетка.



Термогигрометр ТКА-ТВ состоит из блока обработки и индикации сигналов, собранных в едином корпусе (1). На корпусе прибора расположены: жидкокристаллический индикатор (2), органы управления (3) и маркировки (4). На задней стенке корпуса расположена крышка батарейного отсека. Блок обработки и индикации сигналов связан электрическим кабелем с выносным зондом датчиков измеряемых параметров (5).

**Рис. 1.1.** Термогигрометр ТКА-ТВ

Принцип работы прибора заключается в преобразовании физических параметров окружающей среды с помощью сенсора влажности и датчика температуры, в электрический сигнал, с обработкой и индикацией результатов измерений.

Для измерения желаемого климатического параметра достаточно расположить штангу с зондом прибора в зоне измерений. Считать с жидкокристаллического дисплея измеренное значение.

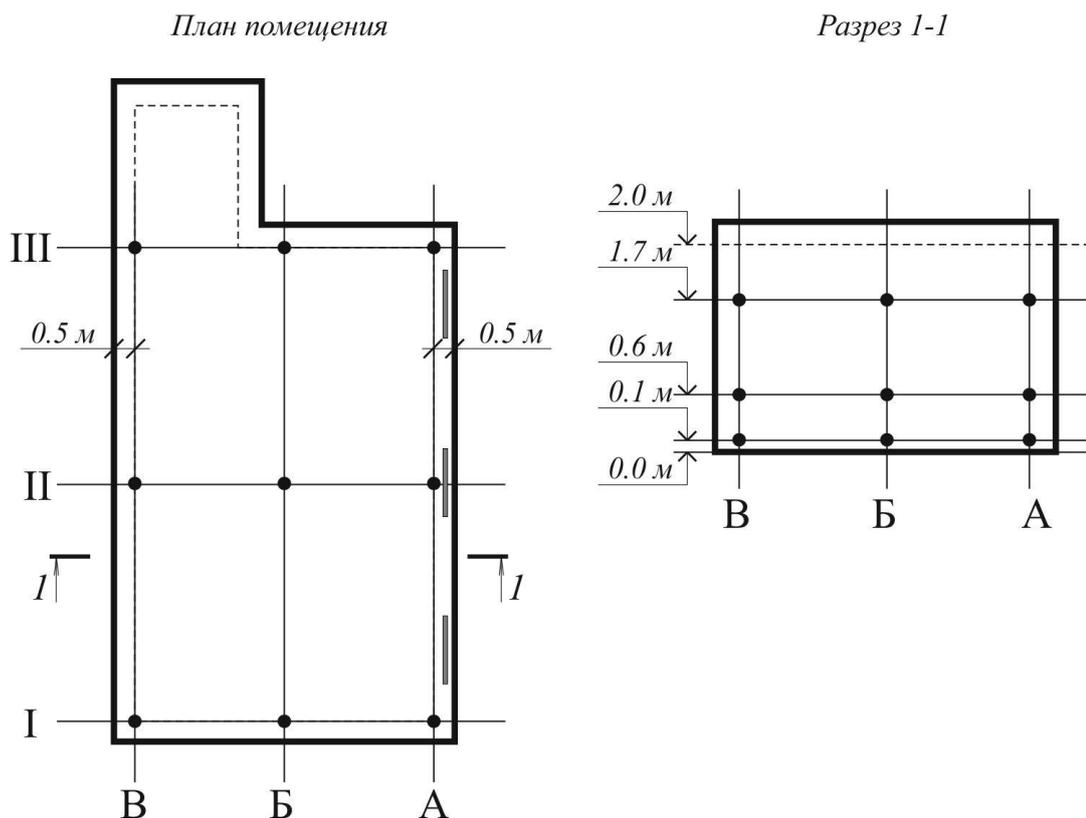
## Методика выполнения работы

1. Для заданного помещения вычерчивается план и разрез в соответствующем масштабе.

2. На план и разрез помещения наносятся границы обслуживаемой зоны помещения: 0.5 м от стен, 0.1 м и 2.0 м от пола (рис. 1.2). Контрольные точки для измерения температуры и влажности воздуха размещаются в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1.2: по границам обслуживаемой зоны и в центре помещения на высоте 0.1 м, 0.6 м и 1,7 м от пола на пересечении плоскостей А, Б, В и I, II, III.

3. Измерения температуры и влажности воздуха с помощью прибора ТКА-ТВ производятся путем установки зонда прибора на необходимую высоту последовательно во всех точках помещения. Измерения температуры и влажности производятся путем переключения рычага (3) в соответствующее положение.

4. Результаты измерения температуры и влажности воздуха заносятся в табл. 1.1 в соответствии с плоскостями (I, II, III и А, Б, В) и уровнями (высотой от пола 0,1; 0,6; 1,7 м).



**Рис. 1.2.** Обслуживаемая зона помещения

5. По измеренным параметрам температуры и относительной влажности воздуха оценивается абсолютная влажность **воздуха** в

помещении. С этой целью усредняются значения температуры и влажности, полученные в центре помещения (II плоскость и вертикаль Б) на трех уровнях (0,1 м; 0,6 м и 1,7 м):

$$t_{cp} = \frac{t_{0.1} + t_{0.6} + t_{1.7}}{3}, \quad (1.1)$$

$$\varphi_{cp} = \frac{\varphi_{0.1} + \varphi_{0.6} + \varphi_{1.7}}{3}. \quad (1.2)$$

По величине  $t_{cp}$  с использованием таблицы приложения № 1в находят величину максимальной абсолютной влажности воздуха в  $\text{г/м}^3$  –  $A_t$  (плотности насыщения). Далее по формуле относительной влажности воздуха  $\phi = (a / A_t) \cdot 100\%$  находят величину абсолютной влажности воздуха в помещении:

$$a = (\varphi_{cp} \cdot A_t) / 100, \text{ г/м}^3. \quad (1.3)$$

**6. Температура точки росы** представляет собой температуру, при которой действительное парциальное давление водяного пара (Па) или абсолютная влажность воздуха ( $\text{г/м}^3$ ) становятся равными максимальным значениям парциального давления (Па) или максимальной плотности ( $\text{г/м}^3$ ). В этом состоянии воздух не в состоянии аккумулировать в себе избыточную влагу ( $e = E$ ), которая выделяется из воздуха в виде конденсата (росы). Это имеет место в тех случаях, когда при неизменном влагосодержании воздуха снижается его температура (например, у холодных наружных стен) или при неизменной температуре увеличивается влагосодержание (большие испарения от людей или влажных процессов).

Для определения температуры точки росы усредняют значения температуры и влажности воздуха, полученные внизу помещения (уровень 0,1 м) по наружной стене (вертикаль А, плоскости I, II, III).

$$t_{cp} = \frac{t_I + t_{II} + t_{III}}{3}, \quad (1.4)$$

$$\varphi_{cp} = \frac{\varphi_I + \varphi_{II} + \varphi_{III}}{3}. \quad (1.5)$$

По значениям  $t_{cp}$  и  $\varphi_{cp}$  с использованием приложения № 1б определяют значение температуры точки росы для данных условий.

## **Рекомендации по заполнению журнала лабораторных работ**

В журнале лабораторных работ должны найти отражение:

- наименование работы;
- цель;
- основные выписки из теоретических предпосылок;
- чертежи планов и разрезов исследуемого помещения;
- схематический рисунок прибора ТКА – ТВ;
- таблица результатов измерений (таблица 1.1);
- вывод о границах комфорта в обслуживаемой зоне помещения;
- расчет абсолютной влажности воздуха помещения;
- расчет температуры точки росы.

## **Заключение**

В заключении работы делается вывод о соответствии температуры и относительной влажности помещения нормативным значениям (допустимым или оптимальным параметрам) согласно ГОСТ 30494–96 (Приложение 1а) в соответствии с периодом года.

## **Контрольные вопросы**

1. Что такое микроклимат помещения?
2. Какими показателями характеризуется микроклимат помещения?
3. Чем отличаются оптимальные параметры микроклимата от допустимых параметров?
4. Каковы характеристики холодного и теплого периодов года?
5. Как определяются границы обслуживаемой зоны помещения?

Таблица 1.1

**Результаты экспериментального исследования  
температуры и влажности воздуха в помещении**

Плоскость измерения	Вертикаль измерения	Высота измерения от пола, м (уровень)	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %
I	А	0,1		
		0,6		
		1,7		
	Б	0,1		
		0,6		
		1,7		
	В	0,1		
		0,6		
		1,7		
II	А	0,1		
		0,6		
		1,7		
	Б	0,1		
		0,6		
		1,7		
	В	0,1		
		0,6		
		1,7		
III	А	0,1		
		0,6		
		1,7		
	Б	0,1		
		0,6		
		1,7		
	В	0,1		
		0,6		
		1,7		

## Приложение № 1а

Выписка из ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата помещений».

Нормируемые значения параметров микроклимата  
в обслуживаемой зоне помещений жилых зданий и общежитий

Период года	Тип помещения	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая, не более	Оптимальная, не более	Допустимая, не более
Холодный	Жилая комната	20-22	18-24	45-30	60	0,15	0,2
	То же, при наружной температуре -31°С и ниже	21-23	20-24	45-30	60	0,15	0,2
	Кухня	19-21	18-26	НН	НН	0,15	0,2
	Ванная	24-26	18-26	НН	НН	0,15	0,2
Теплый	Жилая комната	22-25	20-28	60-30	65	0,2	0,3
Примечание: НН – не нормируется							

Нормируемые значения параметров микроклимата  
в обслуживаемой зоне общественных зданий

Период года	Тип помещения	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая, не более	Оптимальная, не более	Допустимая, не более
Холодный	Для умственного труда, учебы (2 <sup>я</sup> категория)	19-21	18-23	45-30	60	0,2	0,3
Теплый	То же	23-25	18-28	60-30	65	0,3	0,5

## Приложение № 16

Температура точки росы в зависимости от температуры внутреннего воздуха  $t_{в}$  и относительной влажности воздуха  $\phi_{в}$

Температура воздуха, $t_{в}$ , °С	Относительная влажность воздуха, $\phi_{в}$ , %													
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
-10	-23,2	-21,8	-20,4	-19,0	-17,8	-16,7	-15,8	-14,9	-14,1	-13,3	-12,6	-11,9	-10,6	-10,0
-5	-18,9	-17,2	-15,8	-14,5	-13,3	-11,9	-10,9	-10,2	-9,3	-8,8	-8,1	-7,7	-6,5	-5,8
0	-14,5	-12,8	-11,3	-9,9	-8,7	-7,5	-6,2	-5,3	-4,4	-3,5	-2,8	-2	-1,3	-0,7
+2	-12,8	-11,0	-9,5	-8,1	-6,8	-5,8	-4,7	-3,6	-2,6	-1,7	-1	-0,2	-0,6	1,3
+4	-11,3	-9,5	-7,9	-6,5	-4,9	-4,0	-3,0	-1,9	-1,0	0,0	0,8	1,6	2,4	3,2
+5	-10,5	-8,7	-7,3	-5,7	-4,3	-3,3	-2,2	-1,1	-0,1	0,7	1,6	2,5	3,3	4,1
+6	-9,5	-7,7	-6,0	-4,5	-3,3	-2,3	-1,1	-0,1	0,8	1,8	2,7	3,6	4,5	5,3
+7	-9,0	-7,2	-5,5	-4,0	-2,8	-1,5	-0,5	0,7	1,6	2,5	3,4	4,3	5,2	6,1
+8	-8,2	-6,3	-4,7	-3,3	-2,1	-0,9	0,3	1,3	2,3	3,4	4,5	5,4	6,2	7,1
+9	-7,5	-5,5	-3,9	-2,5	-1,2	0,0	1,2	2,4	3,4	4,5	5,5	6,4	7,3	8,2
+10	-6,7	-5,2	-3,2	-1,7	-0,3	0,8	2,2	3,2	4,4	5,5	6,4	7,3	8,2	9,1
+11	-6,0	-4,0	-2,4	-0,9	0,5	1,8	3,0	4,2	5,3	6,3	7,4	8,3	9,2	10,1
+12	-4,9	-3,3	-1,6	-0,1	1,6	2,8	4,1	5,2	6,3	7,5	8,6	9,5	10,4	11,7
+13	-4,3	-2,5	-0,7	0,7	2,2	3,6	5,2	6,4	7,5	8,4	9,5	10,5	11,5	12,3
+14	-3,7	-1,7	-0,0	1,5	3,0	4,5	5,8	7,0	8,2	9,3	10,3	11,2	12,1	13,1
+15	-2,9	-1,0	0,8	2,4	4,0	5,5	6,7	8,0	9,2	10,2	11,2	12,2	13,1	14,1
+16	-2,1	-0,1	1,5	3,2	5,0	6,3	7,6	9,0	10,2	11,3	12,2	13,2	14,2	15,1
+17	-1,3	0,6	2,5	4,3	5,9	7,2	8,8	10,0	11,2	12,2	13,5	14,3	15,2	16,6
+18	-0,5	1,5	3,2	5,3	6,8	8,2	9,6	11,0	12,2	13,2	14,2	15,3	16,2	17,1
+19	0,3	2,2	4,2	6,0	7,7	9,2	10,5	11,7	13,0	14,2	15,2	16,3	17,2	18,1
+20	1,0	3,1	5,2	7,0	8,7	10,2	11,5	12,8	14,0	15,2	16,2	17,2	18,1	19,1
+21	1,8	4,0	6,0	7,9	9,5	11,1	12,4	13,5	15,0	16,2	17,2	18,1	19,1	20,0
+22	2,5	5,0	6,9	8,8	10,5	11,9	13,5	14,8	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0
+23	3,5	5,7	7,8	9,8	11,5	12,9	14,3	15,7	16,9	18,1	19,1	20,0	21,0	22,0
+24	4,3	6,7	8,8	10,8	12,3	13,8	15,3	16,5	17,8	19,0	20,1	21,1	22,0	23,0
+25	5,2	7,5	9,7	11,5	13,1	14,7	16,2	17,5	18,8	20,0	21,1	22,1	23,0	24,0
+26	6,0	8,5	10,6	12,4	14,2	15,8	17,2	18,5	19,8	21,0	22,2	23,1	24,1	25,1
+27	6,9	9,5	11,4	13,3	15,2	16,5	18,1	19,5	20,7	21,9	23,1	24,1	25,0	26,1
+28	7,7	10,2	12,2	14,2	16,0	17,5	19,0	20,5	21,7	22,8	24,0	25,1	26,1	27,0

**Приложение № 1в**

Значения абсолютной влажности газа с относительной влажностью  
по воде 100 % при различных температурах

T, °C	A, г/м <sup>3</sup>						
-50	0,063	-19	1,168	12	10,66	43	59,29
-49	0,070	-18	1,266	13	11,35	44	62,25
-48	0,078	-17	1,372	14	12,07	45	65,34
-47	0,087	-16	1,486	15	12,83	46	68,56
-46	0,096	-15	1,608	16	13,63	47	71,91
-45	0,107	-14	1,739	17	14,48	48	75,40
-44	0,118	-13	1,879	18	15,37	49	79,03
-43	0,131	-12	2,029	19	16,31	50	82,81
-42	0,145	-11	2,190	20	17,30	51	86,74
-41	0,160	-10	2,361	21	18,33	52	90,82
-40	0,177	-9	2,545	22	19,42	53	95,07
-39	0,196	-8	2,741	23	20,57	54	99,48
-38	0,216	-7	2,950	24	21,78	55	104,06
-37	0,237	-6	3,173	25	23,04	56	108,81
-36	0,261	-5	3,411	26	24,37	57	113,75
-35	0,287	-4	3,665	27	25,76	58	118,87
-34	0,316	-3	3,934	28	27,22	59	124,19
-33	0,346	-2	4,222	29	28,75	60	129,70
-32	0,380	-1	4,527	30	30,36		
-31	0,416	0	4,852	31	32,04		
-30	0,455	1	5,197	32	33,80		
-29	0,498	2	5,563	33	35,64		
-28	0,544	3	5,952	34	37,57		
-27	0,594	4	6,364	35	39,58		
-26	0,649	5	6,801	36	41,69		
-25	0,707	6	7,264	37	43,89		
-24	0,770	7	7,754	38	46,19		
-23	0,838	8	8,273	39	48,59		
-22	0,912	9	8,822	40	51,10		
-21	0,991	10	9,403	41	53,71		
-20	1,076	11	10,02	42	56,44		

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### Исследование теплопроводности строительных материалов, используемых в стеновых ограждениях

#### Цель работы

Освоить лабораторный метод определения коэффициента теплопроводности строительных материалов и изучить зависимость коэффициента теплопроводности от влажности материала.

#### Теоретические предпосылки

Количественной мерой теплозащитных свойств материалов является их коэффициент теплопроводности –  $\lambda$ , Вт/(м · °С).

Коэффициент теплопроводности показывает количество тепла в Вт, которое будет проходить за 1 час через 1 м<sup>2</sup> плоского образца толщиной 1 метр при разности температур на противоположных поверхностях образца, равной 1 °С.

Коэффициент теплопроводности материалов зависит, главным образом, от плотности и пористости материала, а для анизотропных материалов (например, древесина) от направления теплового потока. Коэффициент теплопроводности не постоянен: он изменяется с изменением влажности материала и его температуры.

Строительные материалы в большинстве своем являются пористыми материалами. При заполнении пор материала водой в процессе эксплуатации увеличивается теплопроводность материала. так как теплопроводность воды в 20 раз выше теплопроводности воздуха. Это обстоятельство учитывается при проектировании ограждающих конструкций.

Так, при расчете сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций по СП 50.13330 «Тепловая защита зданий» используется два значения коэффициентов теплопроводности строительных материалов:  $\lambda_A$  и  $\lambda_B$ . Индексы А и Б определяют влажностные условия эксплуатации ограждающих конструкций, которые зависят от зоны влажности места строительства влажностного режима помещений проектируемого здания. Условия «А» определяют более «сухую» эксплуатацию ограждающих конструкций, чем условия «Б», в этой связи  $\lambda_A$  для строительных материалов ниже, чем  $\lambda_B$ . Для материалов, которые хорошо впитывают влагу, разница между  $\lambda_A$  и  $\lambda_B$  может достигать значительных величин. для материалов, не способных впитывать влагу, теплопроводность  $\lambda_A$  и  $\lambda_B$  не изменяется. Выборка значений коэффициентов теплопроводности ряда

строительных материалов приведена в таблице 2.1 (по СП 50.13330 «Тепловая защита зданий»).

Таблица 2.1

**Расчетные теплотехнические показатели строительных материалов и изделий**

Материал	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность в сухом состоянии $\lambda_0$ , Вт/(м · °С)	Характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкции А и Б			
			Влажность $w$ , %		Теплопроводность $\lambda$ , Вт/(м · °С)	
			А	Б	А	Б
Плиты из пенополистирола	до 10	0,049	2	10	0,052	0,059
	35-38	0,037	2	10	0,040	0,046
Плиты минераловатные из каменного волокна	80-125	0,036	2	5	0,042	0,045
Газобетон	1000	0,29	8	12	0,38	0,43
	400	0,11	8	12	0,14	0,15
Кладка из глиняного кирпича	1800	0,56	1	2	0,7	0,81
Стекло оконное	2500	0,76	0	0	0,76	0,76

**Описание приборов и установок**

Для измерения теплопроводности строительных и теплоизоляционных материалов методом стационарного теплового потока в соответствии с ГОСТ 7076-99 в данной работе применяется прибор ИТС-1.

Прибор ИТС-1 состоит из измерительной ячейки (1) (теплозащитный кожух (2), нагреватель (3), холодильник (4)) и электронного блока (5), размещенных в едином корпусе. На лицевой панели прибора расположены клавиатура (6) и графический индикатор (7) (рис. 2.1). На задней торцевой стенке расположены выключатель, предохранитель, выход шнура сетевого питания и разъем для подключения нагревателя измерительной ячейки.

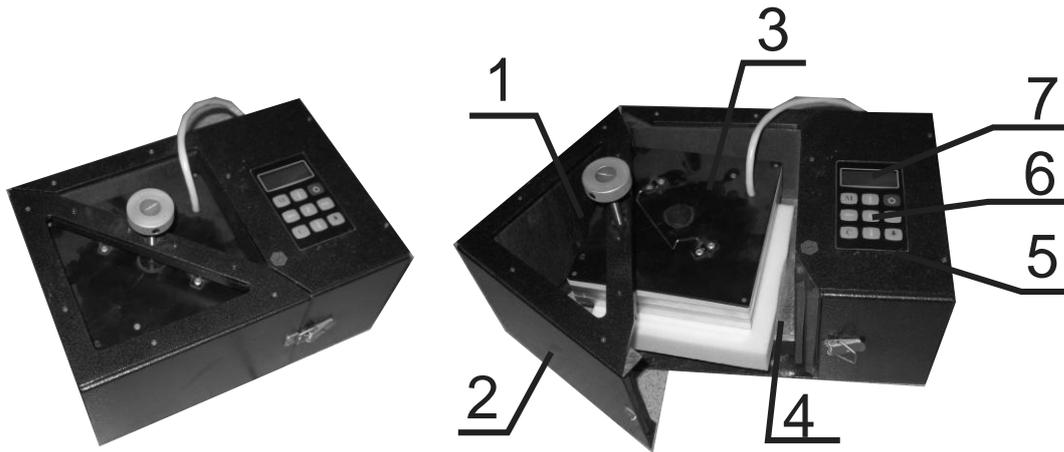


Рис. 2.1. Внешний вид прибора ИТС-1

Принцип действия прибора основан на создании проходящего через исследуемый плоский образец стационарного теплового потока. По величине этого теплового потока, температуре противоположных граней образца и его толщине вычисляется теплопроводность образца  $\lambda$  по формуле:

$$\lambda = \frac{\delta \cdot Q}{\Delta T}, \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}, \quad (2.1)$$

где  $\delta$  – толщина образца, м;

$Q$  – плотность теплового потока, проходящего через образец, Вт/м<sup>2</sup>;

$\Delta T = (t_{\text{Г}} - t_{\text{Х}})$  – разность температур между горячей  $t_{\text{Г}}$  и холодной  $t_{\text{Х}}$  поверхностями образца, °С.

Исследуемый образец должен иметь форму прямоугольного параллелепипеда, лицевые грани которого – квадрат с размерами 150x150 мм. Толщина образца должна находиться в пределах 10...25 мм.



Рис. 2.2. Принципиальная схема прибора

## Элементы управления прибора ИТС-1

Клавиатура состоит из 9 клавиш (рис. 2.3):

Клавишей «( ' )» производится включение и отключение процесса измерения.

Клавиша «☀» служит для включения и выключения подсветки дисплея. При включении прибора подсветка всегда включена.

Клавиша «М» (измерение) – служит для перевода прибора из режима «меню» в режим измерений, а также для фиксации в памяти очередного результата.

Клавиша «F» является функциональной и предназначена для:

- входа в главное меню из режима измерений;
- входа и выхода из пунктов главного меню и подменю.

Клавишами «←→», «→←» управляется курсор (мигающий знак, цифра и т.п.) в режиме установки параметров работы и осуществляется просмотр памяти результатов по номерам (из режима измерений).

Клавиши «↑», «↓» предназначены для выбора строки меню, установки значений параметров и ускоренного просмотра памяти по датам. Клавишей «С» выполняется сброс устанавливаемых параметров в начальное состояние и удаление результатов.

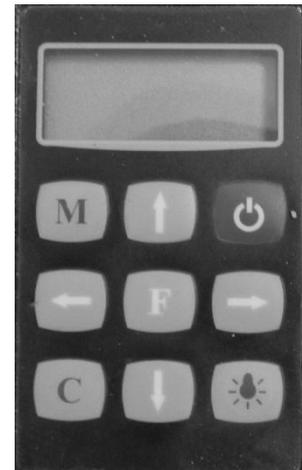
### **Методика выполнения работы**

1. Перед включением прибора необходимо визуально убедиться в исправности прибора.

Далее следует включить прибор в сеть и выключателем на задней торцевой стенке прибора включить питание, при этом на несколько секунд на дисплее индицируется название прибора и его версия, после чего прибор переходит в режим измерений.

2. Для измерений выбирается образец в виде прямоугольного параллелепипеда, наибольшие грани которого имеют форму квадрата с размерами 150x150 мм. Толщина образцов должна находиться в диапазоне 10...25 мм.

3. Измеряется толщина образцов штангенциркулем с погрешностью не более 0,1 мм в четырех углах и посередине каждой стороны. За толщину образца принимается среднеарифметическое значение результатов всех измерений.



**Рис. 2.3**

4. Перед установкой в прибор образцы взвешиваются, и определяются их плотность и влажность.

Плотность вычисляется по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ г/см}^3, \quad (2.2)$$

где  $m$  – масса образца, г;  
 $V$  – объем образца, см<sup>3</sup>.

Величина влажности образца вычисляется по формуле:

$$W = \frac{m_B - m_C}{m_C} \cdot 100, \% , \quad (2.3)$$

где:  $m_B$  и  $m_C$  – масса влажного и сухого образцов.

5. Для проведения измерений в измерительную ячейку между холодильником и нагревателем вставляется образец и прижимается фиксирующим винтом. При испытании влажного образца следует удалить излишнюю воду со всех поверхностей образца мягкой салфеткой.

*Внимание! Чтобы избежать лишних царапин на измерительных пластинах нагревателя и холодильника, следует образец и нагреватель поднимать и опускать вертикально вверх.*

6. Нажатием клавиши «(↵)» включается режим измерения. Прибор запросит у пользователя толщину образца в мм., нужно ввести полученное значение средней толщины образца. Два раза нажать клавишу «F», затем автоматически включится режим измерения, по окончании которого прибор выдаст значение теплопроводности измеряемого образца и автоматически начнет новое измерение. Для остановки серии измерений необходимо нажать кнопку «(↵)» и подтвердить необходимость остановки. Со вторым образцом проделать пункты с 1 по 3.

7. Полученные значения теплопроводности  $\lambda$  и теплового сопротивления  $R$  заносятся в журнал.

Для замера коэффициента теплопроводности увлажнённого образца повторяют пункты 2–7. Результаты измерений заносятся в табл. 2.2.

Таблица 2.2

**Результаты экспериментальных исследований**

Материал	Уровень влажности	Масса образца, $m$ , г	Объем образца, $V$ , см <sup>3</sup>	Плотность, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Влажность, $W$ , %	Теплопроводность $\lambda$ , Вт/(м·°C)	Сопрот. теплопер. $R$ , (м <sup>2</sup> ·°C)/Вт
	сухой				0		
	влажный						
Увеличение $\lambda$ и снижение $R$ при увлажнении материала, %.							

## **Заключение**

Составляется заключение о влиянии влажности материалов на их теплопроводность.

## **Контрольные вопросы**

1. Дать определение коэффициента теплопроводности материалов.
2. Перечислить факторы, влияющие на изменение коэффициента теплопроводности материалов.
3. Объяснить явление увеличения коэффициента теплопроводности материала при его увлажнении.
4. Объяснить принцип работы прибора «ИТС-1» по измерению коэффициента теплопроводности материалов.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### Исследование сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в климатической камере

#### Цель работы

Освоение лабораторного метода измерения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций в климатической камере.

#### Теоретические предпосылки

Под ограждающими конструкциями понимаются конструкции зданий, отделяющие внутренний объем здания от наружной среды. Ограждающие конструкции могут совмещать функции несущих и ограждающих конструкций. К ограждающим конструкциям относятся: наружные стены, окна, наружные двери, покрытия, перекрытия над холодными техподпольями и проездами и т.п.

К ограждающим конструкциям зданий предъявляют ряд требований, связанных с защитой внутреннего объема зданий и людей от внешнего воздействия среды:

- требования к теплозащите в холодный период года;
- требования к теплоустойчивости в теплый период года;
- требования к воздухопроницанию;
- требования к шумозащите и пр.

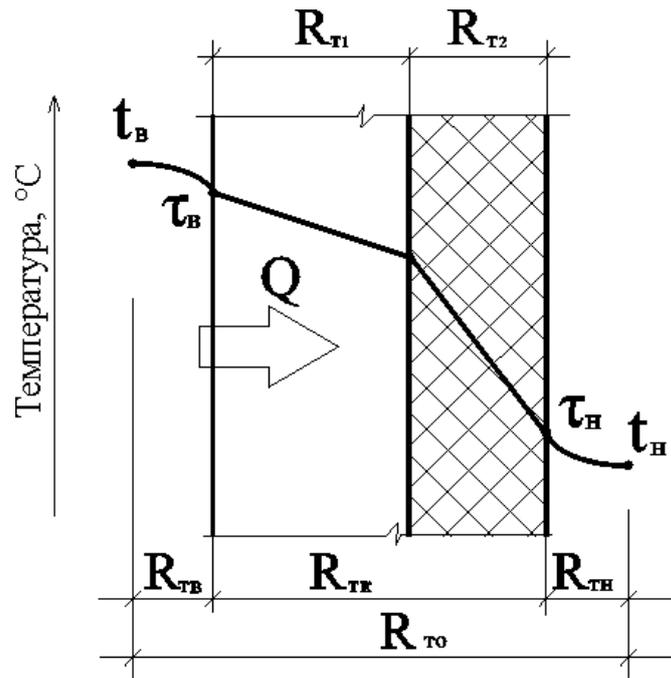
Территория Российской Федерации практически полностью располагается в северной и умеренной климатических зонах, поэтому требования теплозащиты для ограждающих конструкций зданий являются наиболее значимыми.

Характеристикой ограждающих конструкций, которая определяет их уровень тепловой защиты, является сопротивление теплопередаче  $R$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ .

Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций ( $R_{TO}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ ) прямо пропорционально разности температур внутреннего ( $t_B$ ) и наружного ( $t_H$ ) воздуха и обратно пропорционально тепловому потоку, проходящему через ограждение ( $Q$ ,  $\text{Вт} / \text{м}^2$ ).

$$R_{TO} = \frac{t_B - t_H}{Q}, \text{Вт} / \text{м}^2. \quad (3.1)$$

Графически эта зависимость представлена на рис. 3.1.



**Рис. 3.1.** Схема распределения температур по сечению ограждающей конструкции

Можно видеть, что общее сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций  $R_{TO}$  состоит из трех слагаемых: сопротивления теплопередаче у внутренней ( $R_{TB}$ ) и наружной ( $R_{TH}$ ) поверхностей, а также сопротивления теплопередаче суммы функциональных слоев ( $R_{TK}$ ):

$$R_{TO} = R_{TB} + R_{TK} + R_{TH} \quad (3.2)$$

Сопротивления теплопередаче у внутренней и наружной поверхностей ограждения  $R_{TB}$  и  $R_{TH}$  определяются особенностями лучистого и конвективного теплообмена у этих поверхностей и являются обратными величинами коэффициентов теплоотдачи у внутренней  $\alpha_B$  и наружной  $\alpha_H$  поверхностей, то есть:

$$R_{TB} = \frac{1}{\alpha_B}, \text{ где } \alpha_B = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}), \quad (3.3)$$

$$R_{TH} = \frac{1}{\alpha_H}, \text{ где } \alpha_H = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}). \quad (3.4)$$

Сопротивление теплопередаче конструкции ограждения  $R_{TK}$  зависит от толщины ограждения –  $\delta$ , м и коэффициента теплопроводности материала ограждения –  $\lambda$ , Вт/( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ ) и определяется по формуле (3.5):

$$R_{TK} = \frac{\delta}{\lambda}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}. \quad (3.5)$$

Для многослойных ограждений сопротивление теплопередаче  $R_{TK}$  определяется как сумма сопротивлений теплопередаче отдельных слоев: (рис. 3.1):

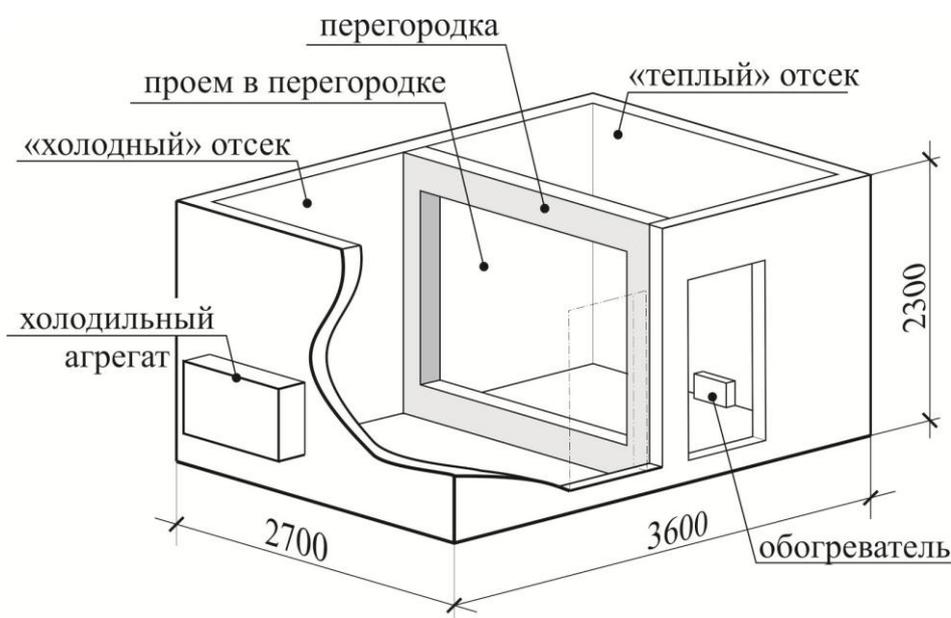
$$R_{TK} = \sum_1^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}. \quad (3.6)$$

### Описание приборов и оборудования

В исследовании теплотехнических характеристик ограждающих конструкций используется климатическая камера.

Климатическая камера представляет собой собственно камеру с теплозащитными стенками толщиной 150 мм и размером 3,6×2,7×2,3 м. Камера разделена разделительной перегородкой на два отсека, имеющих самостоятельные входы: «теплый» и «холодный». Разделительная перегородка имеет проем размером 1,35×1,55 м, в котором размещается исследуемая конструкция. Холодный отсек снабжен холодильным агрегатом, позволяющим получать температуры воздуха до минус 45±1 °С. Теплый отсек имеет нагревательное устройство и систему автоматического регулирования температуры и влажности.

Схема климатической камеры приведена на рис. 3.2.



**Рис. 3.2.** Схема климатической камеры

Для измерения температуры воздуха в теплом и холодном отсеках, температур на поверхностях испытуемых ограждающих конструкций, а также тепловых потоков, используется измерительный комплекс ИТП-МГ 4.03.10-«Поток». Для поддержания заданных температур и влажности в теплом отсеке используется электронный регулятор МПРК-24.

Комплекс ИТП-МГ 4.03-10-«Поток» позволяет автоматически измерять величину температуры в 14 точках с интервалами от 1 минуты до 3 часов. Информация собирается в модулях прибора и считывается

компьютером. Компьютерная программа позволяет усреднять полученные данные, строить графики и выводить итоговые таблицы.

При испытании фрагментов ограждений в климатической камере (ГОСТ 26254-84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций») получают комплексную теплозащитную характеристику ограждающих конструкций:

- величину теплового потока,  $Q$ , Вт/м<sup>2</sup>;
- общее сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций,  $R_{ТО}$ , (м<sup>2</sup> · °С)/Вт.

Испытания в климатической камере позволяют проверять расчетные и конструктивные решения наружных стен, проводить сравнительные испытания различных конструкций и оценить реальные теплотери через ограждающие конструкции.

### Методика выполнения работы

1. В проем разделительной перегородки устанавливается испытуемый фрагмент ограждающей конструкции.

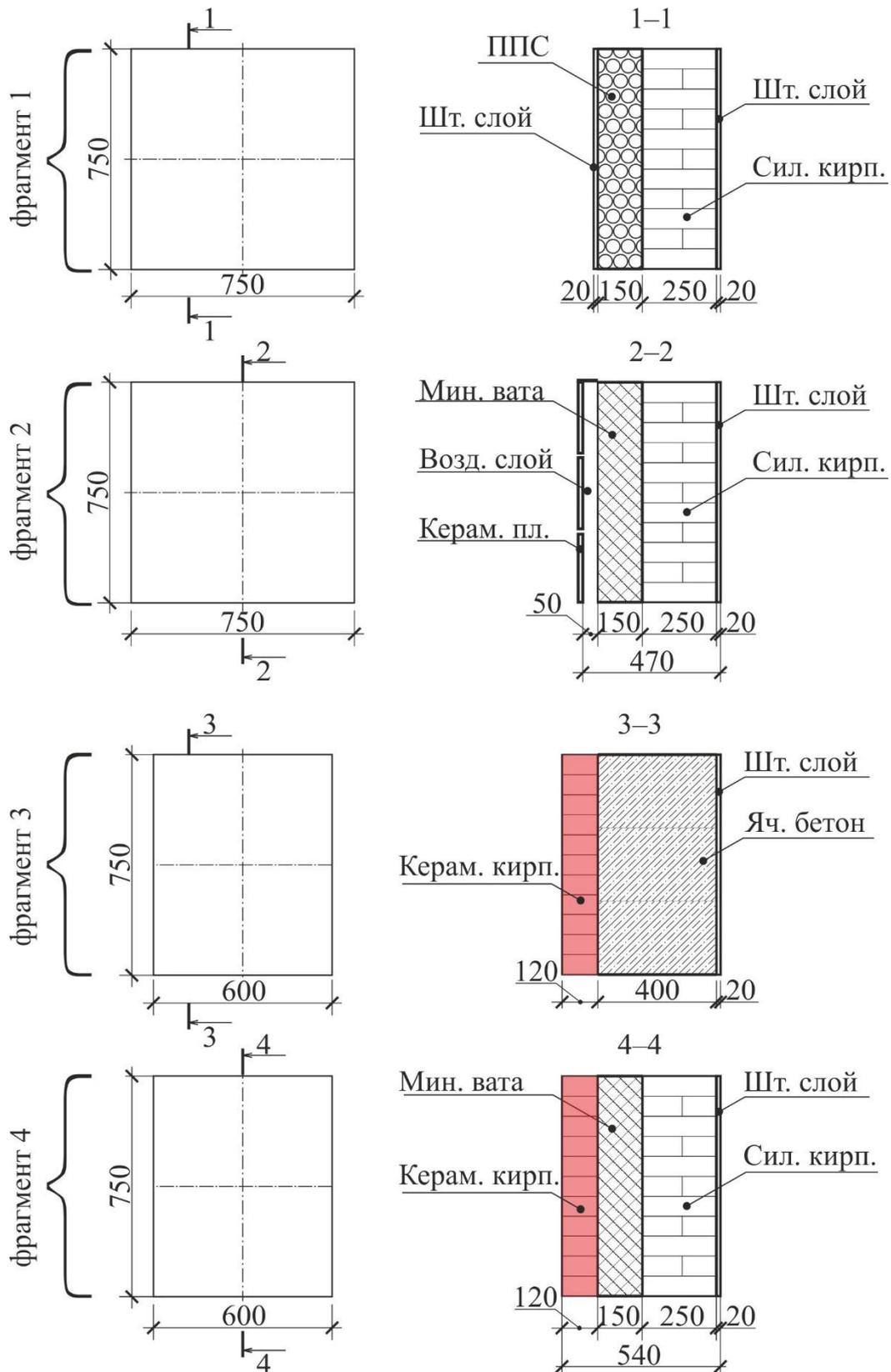
В данной работе исследуемая ограждающая конструкция представлена четырьмя типами наружных стен. Схемы фрагментов ограждающих конструкций представлены на рис. 3.3. Расчетные характеристики фрагментов представлены в табл. 3.1

Таблица 3.1

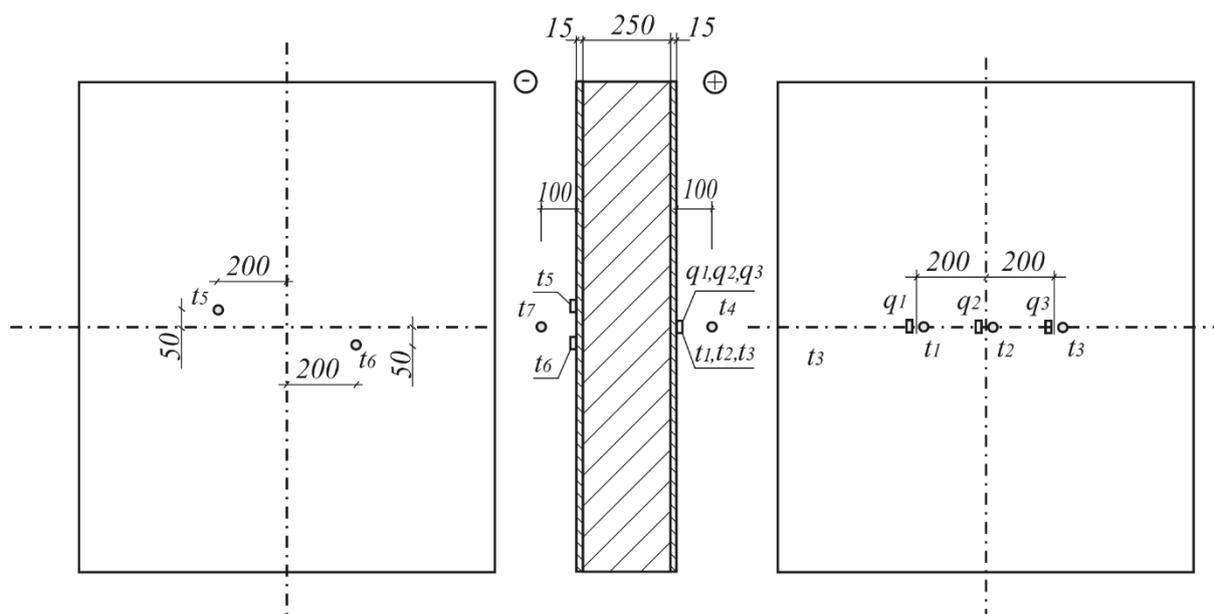
#### Расчетные характеристики фрагментов ограждающих конструкций

	Тип наружной стены	Конструкционный слой	Теплоизоляционный слой	Облицовочный слой
1	Штукатурный фасад с утеплителем по кирпичу	Кирпич силикатный, 250 мм, $\lambda = 0.87$ Вт/м·°С	Пенополистирол, 150 мм, $\lambda = 0.044$ Вт/м·°С	Штукатурка, 10 мм, $\lambda = 0.90$ Вт/м·°С
2	Навесной фасад с основой по кирпичу	Кирпич силикатный, 250 мм, $\lambda = 0.87$ Вт/м·°С	Минеральная вата, 150 мм, $\lambda = 0.045$ Вт/м·°С	
3	Штукатурный фасад с утеплителем по газобетону	Газобетон, 400 мм, $\lambda = 0.26$ Вт/м·°С		Кирпич керамический, 120 мм, $\lambda = 0.81$ Вт/м·°С
4	Кирпичный фасад с утеплением по газобетону	Кирпич силикатный, 250 мм, $\lambda = 0.87$ Вт/м·°С	Минеральная вата, 150 мм, $\lambda = 0.045$ Вт/м·°С	Кирпич керамический, 120 мм, $\lambda = 0.81$ Вт/м·°С

2. По схеме, представленной на рис. 3.4, на испытуемой конструкции и в отсеках устанавливаются датчики температуры и тепловых потоков.



**Рис. 3.3.** Схемы фрагментов ограждающих конструкций



**Рис. 3.4.** Схема размещения датчиков температуры ( $T$ ) и тепловых потоков ( $q$ )

Датчики  $t_5$  и  $t_6$ , измеряющие температуру наружной поверхности ограждающей конструкции ( $\tau_n$ ), прикреплены непосредственно к поверхности конструкции. Датчик  $t_7$ , измеряющий температуру воздуха в холодном отсеке ( $t_n$ ), находится на расстоянии 100 мм от поверхности конструкции в средней зоне. Датчики тепловых потоков  $q_1$ ,  $q_2$  и  $q_3$  прикреплены к поверхности конструкции со стороны теплой камеры через тонкий слой теплопроводной пасты КТП-8 с коэффициентом теплопроводности  $0,003 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ . Датчики  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$ , измеряющие температуру внутренней поверхности ограждающей конструкции ( $\tau_e$ ), прикреплены к поверхности на штукатурку. Датчик  $t_4$ , измеряющий температуру воздуха в теплом отсеке ( $t_e$ ), находится на расстоянии 100 мм от поверхности конструкции в средней зоне.

Температурный режим в холодном отсеке должен соответствовать расчетным значениям температур наружного воздуха ( $t_n$ ). Как правило, это температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

В теплой камере устанавливается и поддерживается температура и влажность воздуха помещения в соответствии с назначением помещения по требованиям соответствующих СНиП или ГОСТ 30494-96.

3. После установления стационарных условий теплопередачи записываются значения температур и тепловых потоков, значения заносятся в табл. 3.2.

*В рамках учебной лабораторной работы нет возможности выполнить весь комплекс испытаний в силу большой продолжительности периода установления стационарных условий теплопередачи (от 1,5 до*

7,0 суток). Поэтому студенты знакомятся с конструкцией климатической камеры и правилами размещения датчиков температур и тепловых потоков, системой их регистрации и обработки.

Расчет теплотехнических параметров фрагментов ограждения студент выполняет по экспериментальным данным, полученным сотрудниками лаборатории строительной физики при испытании реальных ограждающих конструкций для различных климатических районов.

Таблица 3.2

### Результаты испытания

Тип ограждающей конструкции	Температура, $t_i$ °С		Тепловой поток, $q_i$ , Вт/м <sup>2</sup>				Сопротивление теплопередаче, $R_0$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт	
	$t_7$ ( $t_n$ )	$t_4$ ( $t_b$ )	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$q_{cp}$	Измеренное	Расчетное
1.								
2.								
3.								
4.								

4. По формуле (3.1) рассчитывается сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции для всех фрагментов.

5. По формулам (3.2–3.6) с использованием справочных данных (табл. 3.1) устанавливается расчетное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции.

### Заключение

На основании сопоставления измеренного и расчетного сопротивления теплопередаче делается вывод о точности расчета, а также о влиянии различных фактов на обнаруженные расхождения

### Контрольные вопросы

1. Дать определение ограждающей конструкции здания. Какие требования предъявляют к ограждающим конструкциям?
2. От чего зависит сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции здания?
3. Дать описание климатической камеры.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### Исследование влагопроводности строительных материалов

#### Цель работы

Изучение основных закономерностей капиллярного перемещения влаги в строительных материалах.

#### Теоретические предпосылки

Большинство строительных материалов имеет пористую структуру. Если поры материала сообщаются между собой и имеют открытую структуру, т.е. сообщаются с внешней средой, то такую структуру пор можно рассматривать как систему открытых капилляров (узких каналов), доступных для перемещения в них воды.

Если конец такого капилляра соприкасается с жидкостью, то она, стремясь смочить внутренние стенки капилляра, образует внутри него вогнутый мениск (рис. 4.1). Притяжение молекул воды и молекул стенки капилляра больше, чем между молекулами воды и воды, поэтому вблизи стенки капилляра вода поднимается вверх по стенке – это и есть капиллярный эффект. Капиллярная сила поднимает воду до тех пор, пока не уравновесится гидростатическим давлением воды, равным  $gph$  ( $\rho$  – плотность жидкости,  $g$  – ускорение свободного падения,  $h$  – высота столба жидкости).

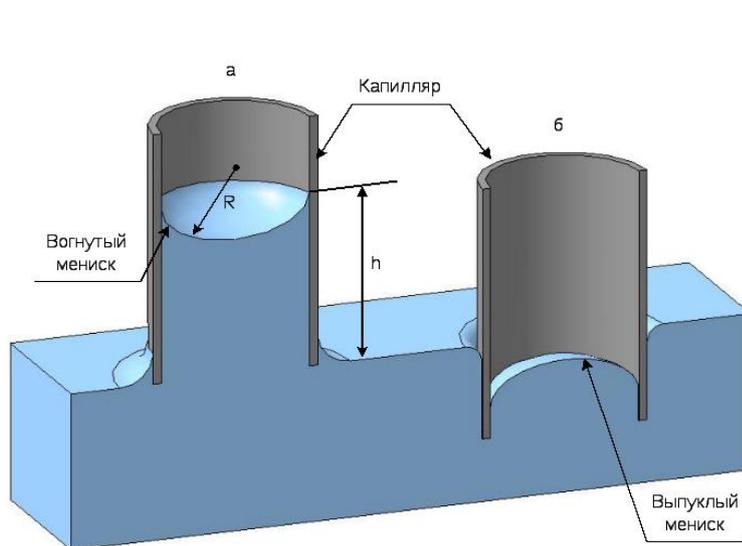


Рис. 4.1. Капиллярный эффект для смачиваемой поверхности (а) и несмачиваемой поверхности (б)

В узких сосудах расстояние между стенками очень мало, выпуклости поверхности воды соединяются между собой; суммируется и капиллярная

сила, поэтому уровень воды в тонкой трубке-капилляре может подняться выше, чем он есть в большом сосуде.

Высота  $h$  поднятия смачивающей жидкости в трубчатых капиллярах равна:

$$h = 2\sigma/\rho g r, \quad (4.1)$$

где  $\sigma = 0,073$  Н/м – коэффициент поверхностного натяжения воды;

$\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup> – плотность воды;

$g = 9,8$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения;

$r$  – радиус капилляра.

Отсюда радиус капилляра:

$$r = 2\sigma/\rho g h. \quad (4.2)$$

### ***Капиллярный подсос воды в строительных конструкциях***

При повреждении или отсутствии гидроизоляции бетонного фундамента (плитного или ленточного) может происходить проникновение грунтовой влаги в его толщу, откуда она будет капиллярно подниматься, попадая в ограждающие стены здания. Влага оказывает негативное воздействие на любые пористые стеновые материалы – брус, бревно, кирпич, поризованная керамика, газо- или пенобетонные блоки и др. Увлажнение приводит к повреждению как наружной поверхности стен (поскольку влага при замерзании будет расширяться, деформируя материал), так и отделки помещений первого этажа (штукатурка, краска, обои), особенно в их нижней части и по углам.

Для исключения замачивания стен капиллярной влагой необходимо предусматривать устройство горизонтальной отсечной гидроизоляции между конструкцией фундамента и стеной.



**Рис. 4.2.** Горизонтальная отсечная гидроизоляция

## Описание приборов и приспособлений

Для выполнения лабораторной работы требуются:

- образцы материалов с различной плотностью (кирпичи силикатный и глиняный, бетон тяжелый без примеси и с примесью солей, ячеистый бетон, керамзитобетон и др.),
- мелкая ванна с сетчатой подставкой под образцы,
- контактный измеритель влажности строительных материалов *GANN Hydromette Compact*.

Схема мелкой ванны с установленным образцом показана на рис. 4.3.

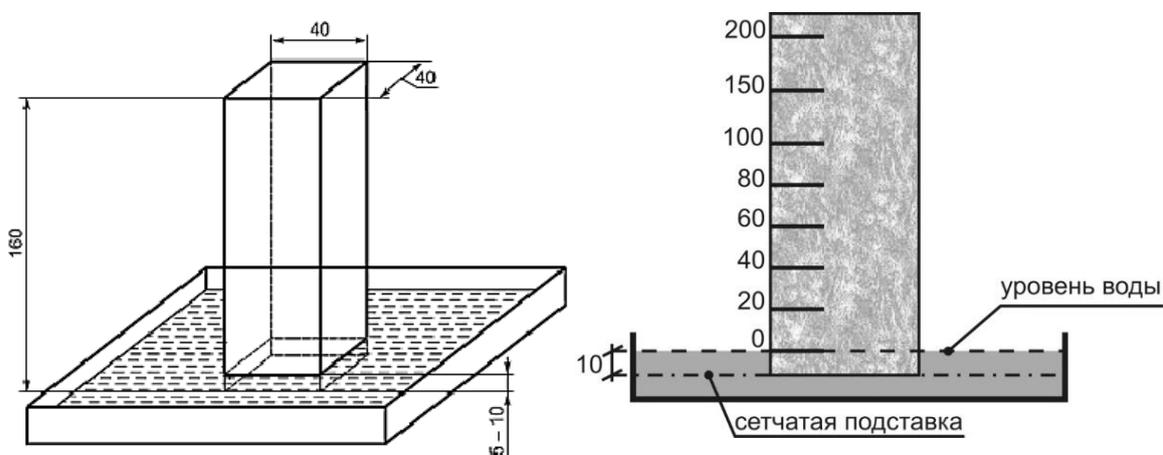
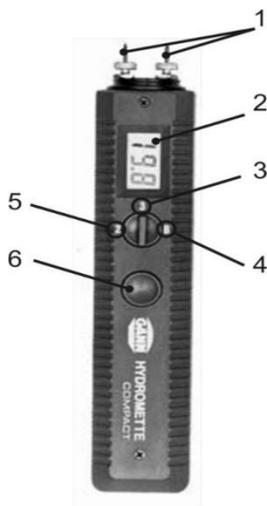


Рис. 4.3. Вид экспериментальной установки

Измерение поверхностной влажности строительных материалов прибором *GANN Hydromette Compact* производят в следующей последовательности:

- 1) Определяется требуемая установка прибора исходя из его режима эксплуатации (**В** для строительных материалов, **2** и **3** для различных сортов древесины),
- 2) Металлические электроды прибора прислоняют к поверхности образца в той зоне, где необходимо произвести измерение (без усилия),
- 3) Нажатие кнопки **6** (рис. 4.3) произведет мгновенное измерение влажности. Результат отобразится на дисплее с непосредственным показанием в весовых процентах.

Общий вид измерителя влажности *GANN Hydromette Compact* показан на рис. 4.4.



**Рис. 4.4.** Общий вид прибора:

- 1 – металлические электроды
- 2 – жидкокристаллический дисплей индикации (отображает % влажности материала)
- 3 – установка сорта древесины 3
- 4 – установка **В** для оценки влажности штукатурки
- 5 – установка сорта древесины 2
- 6 – кнопка измерения ВКЛ/ВЫКЛ

**Порядок выполнения работы**

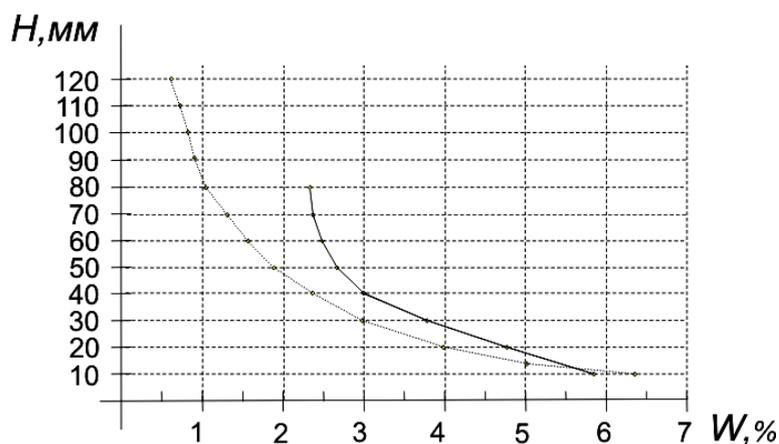
1. На образцах проводят линию на расстоянии 10 мм от погружаемого в воду торца – это уровень погружения образца в воду и нулевая точка шкалы, наносимой на образец, рис. 4.3.
2. Образец устанавливается в воду и выдерживается до стационарного состояния.
3. Не вынимая образец из воды, производят замеры влажности на поверхности образца по делениям шкалы ( $h_1, h_2, h_3, \dots$ ). При этом полагается, что влажность по всему сечению образца соответствует измеренной величине влажности.
4. Результаты измерения заносят в табл. 4.1.

Таблица 4.1

**Результаты измерения весовой влажности образцов  $W\%$**

Высота, мм	$h_1$	$h_2$	$h_3$	...											
	Материал														
силикатный кирпич															
керамический кирпич															
ячеистый бетон															
дерево															

5. По экспериментальным результатам вычерчиваются графики зависимости  $W\%$  и  $H$  мм, где  $W$  – весовая влажность %,  $H$  – высота подъема воды мм для каждого образца материала, рис. 4.5.



**Рис. 4.5.** Зависимость весовой влажности материала  $W$  % от высоты образца  $H$ , мм

6. По результатам измерений определяется максимальная высота подъема воды  $H$  мм в каждом образце. Максимальная высота подъема воды в образце соответствует наиболее **низкому** показанию влажности  $W$  % измерителя. В случае повторяющихся значений влажности по высоте, за максимальную высоту подъема влаги  $H$  мм следует принимать самое нижнее из этих значений. Значение максимального подъема воды  $H$ , мм в образцах занести в табл. 4.2.

7. Вычисляются значения радиусов капилляров  $r$ , мм для всех образцов по формуле (4.2). Данные вычислений заносятся в табл. 4.2.

8. На основании сопоставления результатов расчета делается вывод о закономерности капиллярного перемещения влаги в строительных материалах.

Таблица 4.2

**Результаты расчета радиуса капилляров**

	Силикатный кирпич	Керамический кирпич	Тяжелый бетон	Ячеистый бетон	Дерево
Максимальная высота подъема $H$ , мм					
Радиус капилляра $r$ , мм					

## **Рекомендации по заполнению журнала лабораторных работ**

В журнале следует отразить:

- наименование работы
- цель
- основные сведения из теоретической части
- рисунки ванны с установленным образцом, образец с разметкой зон измерения, измерителя влажности
- таблицу экспериментальных значений и график по этим значениям
- заключение о закономерностях капиллярного подъема воды в различных материалах.

## **Контрольные вопросы**

1. Что понимают под капиллярами материала?
2. На чем основывается капиллярный эффект?
3. От чего зависит и как определяется высота подъема жидкости в капилляре?
4. Какова роль капиллярных явлений в строительстве?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### Исследование светопропускания оконной конструкции

#### Цель работы

Освоить экспериментальные методы определения общего коэффициента светопропускания оконной конструкции.

#### Теоретические предпосылки

Одним из видов ограждающих конструкций зданий являются окна. Функции оконных конструкций довольно разнообразны:

- обеспечение естественного освещения помещений;
- обеспечение облучения помещений прямым солнечным светом;
- обеспечение притока свежего воздуха;
- обеспечение визуальной связи человека, находящегося в здании, с внешней природной средой;
- формирование выразительного архитектурного облика здания.

**Воздействие прямой солнечной радиации** обладает общим тонизирующим (эритемным) воздействием на человека и бактерицидным воздействием на микроорганизмы за счет присутствия в солнечном спектре коротковолнового ультрафиолетового излучения.

**Приток свежего воздуха** через неплотности в конструкции окна или специальные проемы и устройства-клапаны необходим для нормального функционирования системы естественной вентиляции помещений. Современные герметичные пластиковые окна зачастую нарушают процессы вентиляции помещений, ухудшая показатели микроклимата.

**Визуальная связь человека с внешней средой** необходима для психофизиологического здоровья человека, когда существует возможность бросить хотя бы беглый взгляд сквозь световые проемы и получить самую краткую информацию о наружном пространстве, например, о состоянии погоды.

**Естественное освещение помещений** имеет неоспоримые преимущества перед искусственным освещением благодаря тому, что организм человека сформировался под воздействием естественного освещения. Глаз человека является сложным «прибором», отрегулированным именно на восприятие солнечного спектра. К тому же, переход на искусственное освещение влечет за собой значительные экономические затраты.

Проектирование естественного освещения помещений заключается в выборе формы, размеров и расположения световых проемов, а также во многом зависит от характеристики оконных конструкций.

Наиболее значимой характеристикой оконных конструкций, определяющей качество естественного освещения, является общий коэффициент светопропускания.

В общем случае *коэффициент светопропускания*  $k$  представляет собой отношение интенсивности светового потока, прошедшего через образец, к интенсивности светового потока, падающего на образец, выраженное в процентах или долях единицы.

$$k = \frac{E_{прош}}{E_{пад}} \quad (5.1)$$

Так как окно представляет собой конструкцию, состоящую из материалов с различными характеристиками светопропускания (стекло и рама), то для конструкции окна общий коэффициент светопропускания определяется по следующей формуле:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2, \quad (5.2)$$

где  $\tau_1$  – коэффициент светопропускания стекла;  $\tau_2$  – коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема.

Коэффициент  $\tau_1$  зависит от типа стекла или стеклопакета, и определяется характером отражения и преломления света в материале. Его значения известны для большого числа светопрозрачных материалов:

Таблица 5.1

Вид светопропускающего материала	Значения $\tau_1$	Вид светопропускающего материала	Значения $\tau_1$	Вид светопропускающего материала	Значения $\tau_1$
Стекло оконное листовое:		Стекло листовое со специальными свойствами:		Пустотелые стеклянные блоки:	
одинарное	0,9	солнцезащитное	0,65	светорассеивающие	0,5
двойное	0,8	контрастное	0,75	светопрозрачные	0,55
тройное	0,75	Органическое стекло:		Стеклопакеты	0,8
Стекло витринное 6-8 мм	0,8	прозрачное	0,9		
Стекло листовое армированное	0,6	молочное	0,6		

Коэффициент  $\tau_2$  зависит от вида рамного переплета и геометрии окна. Чем толще рама оконной конструкции и больше площадь рамы, приведенная к площади прозрачной части, тем ниже будет значение коэффициента  $\tau_2$ . В справочной литературе приведены значения этого коэффициента для ряда конструкций:

Таблица 5.2

Вид переплета	Значения $\tau_2$	Вид переплета	Значения $\tau_2$
Переплеты в жилых, общественных и вспомогательных зданиях:		металлические:	
деревянные:		одинарные	0,9
одинарные	0,8	спаренные	0,85
спаренные	0,75	двойные раздельные с тройным остеклением	0,8
двойные раздельные с тройным остеклением	0,5		

Для точного определения этого коэффициента необходимо проводить экспериментальные измерения для каждой конструкции окна в отдельности. Для этих целей применяется установка «Искусственный небосвод».

### Описание приборов и оборудования

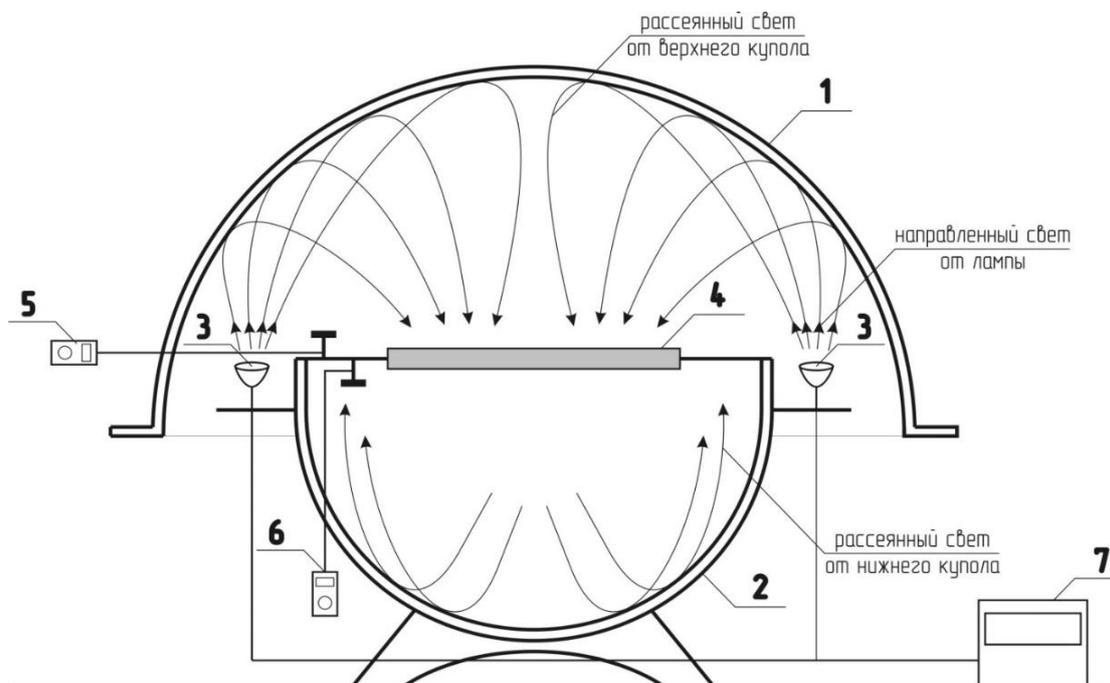
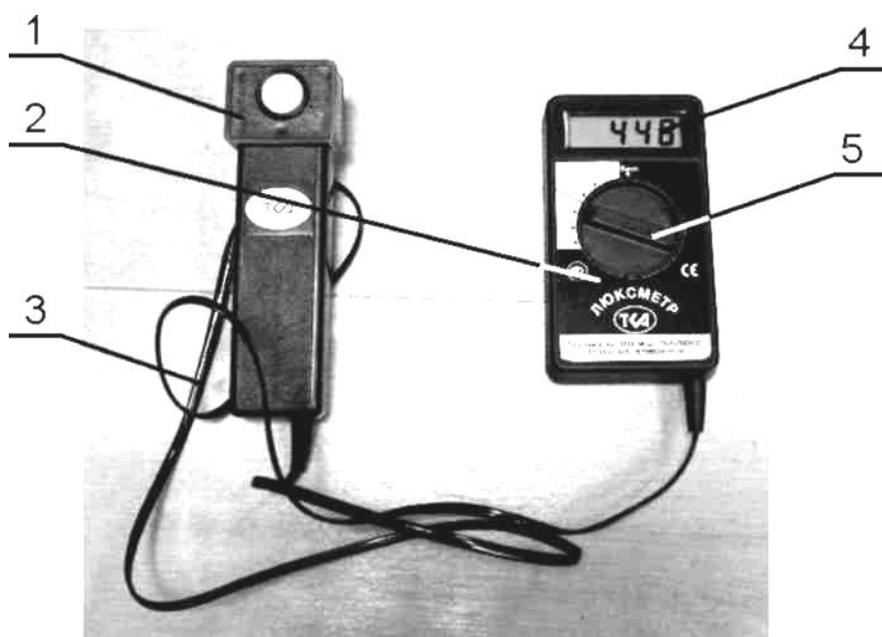


Рис. 5.1. Схема установки «Искусственный небосвод»

Определение светопропускания окон и других светопрозрачных конструкций проводят в модельной установке «Искусственный небосвод» (рис. 5.1). Установка состоит из двух частей. Верхняя часть – искусственный небосвод, окрашенный белой диффузно отражающей краской, является источником диффузного света (1). Нижняя часть представляет собой светомерную камеру (2), окрашенную матовой белой диффузно отражающей краской. Камера разделена горизонтальной перегородкой с опорной решеткой, на которую устанавливается оконный блок (4). По окружности нижнего купола установлены лампы – источника света (3), для которых с помощью регулятора (7) возможно изменять интенсивность свечения. Для фиксирования значений падающего света и значений светового потока, прошедшего через светопрозрачную конструкцию, в куполах установлены люксометры «ТКА-Люкс» (5 и 6).



**Рис. 5.2.** Люксметр

Прибор (рис. 5.2) состоит из выносного зонда с фотоэлементом (1), который электрическим кабелем (3) соединен с измерителем освещенности (2). На корпусе измерителя освещенности находится графический индикатор (4) и регулятор освещенности (5).

Установка «Искусственный небосвод» имитирует реальные природные условия естественного освещения, отраженного от небосвода без учета прямых солнечных лучей.

Так как солнечный свет в природе непостоянен и меняется в течение суток, для имитации реальных природных условий в камере, испытания по

определению светопропускания проводят при трех фиксированных значениях освещенности:  $E = 500, 750, 1000$  лк.

### Методика выполнения работы

1. С помощью рычага приподнять верхний купол установки на угол  $45^\circ - 50^\circ$ , зафиксировать трос в неподвижном положении.
2. На опорную решетку горизонтально установить испытываемый образец светопрозрачной конструкции.
3. В горизонтальной плоскости опорной решетки установить люксметр 1. Убедиться, что фотоэлемент люксметра обращен в верх камеры.
4. Разблокировав фиксатор, закрыть купол.
5. С помощью регулятора источника света (кнопкой 3 и 4) выставить значение освещенности 500 лк на люксметре 1.
6. С помощью люксметра 2 и 3 измерить световой поток, прошедший сквозь изделие.
7. Эксперимент повторить для значений освещенности 750, 1000 лк.
8. Данные измерений занести в табл. 5.3.

Таблица 5.3

### Оформление результатов измерений и определение общего коэффициента пропускания света образца изделия

Сила светового потока, $E$ , лк				Коэффициент пропускания			
В верхнем куполе	В нижнем куполе						
	Без окна	С окном		$k_1$	$k_2$	$\bar{k}$	$k_0$
		люксметр 1	люксметр 2				
500	200						
750	300						
1000	400						

### Порядок подсчета коэффициента светопропускания

1. Коэффициенты пропускания образца определяют по формулам:

$$k_i^{500} = \frac{E_{\text{с окном}}^{500}}{E_{\text{без окна}}^{500}}, \quad k_i^{750} = \frac{E_{\text{с окном}}^{750}}{E_{\text{без окна}}^{750}}, \quad k_i^{1000} = \frac{E_{\text{с окном}}^{1000}}{E_{\text{без окна}}^{1000}},$$

где  $k_i^{500,750,1000}$  – коэффициент пропускания, подсчитанный по показаниям люкметров 1 и 2,

$E_{с\ оконной}^{500,750,1000}$  – сила светового потока, прошедшего через образец при интенсивности 500, 750, 1000 лк с оконной конструкцией,

$E_{без\ окна}^{500,750,1000}$  – сила светового потока, прошедшего через образец при интенсивности 500, 750, 1000 лк без оконной конструкции.

2. Среднее значение коэффициента пропускания света  $\bar{k}_i$  определяют по формулам:

$$\bar{k}^{500} = \frac{k_1^{500} + k_2^{500}}{2}, \bar{k}^{750} = \frac{k_1^{750} + k_2^{750}}{2}, \bar{k}^{1000} = \frac{k_1^{1000} + k_2^{1000}}{2}.$$

3. Общий коэффициент пропускания света образца изделия определяют по формуле:

$$\bar{k}_0 = \frac{\bar{k}^{500} + \bar{k}^{750} + \bar{k}^{1000}}{3}.$$

### Заключение

Полученные значения коэффициента пропускания сравниваются с нормативными значениями, прописанными в ГОСТ 23166-99 (табл. 5.4), и делается вывод о классе стеклопакета по показателю общего коэффициента светопропускания.

### Контрольные вопросы

1. Какие функции выполняют оконные конструкции в зданиях?
2. В чем заключается преимущество естественного света над искусственным?
3. Что представляет собой коэффициент светопропускания в общем виде и для светопрозрачной конструкции – в частности?
4. Что представляет из себя установка «Искусственный небосвод»?

Таблица 5.4

### Классы изделий по показателю общего коэффициента светопропускания

Класс изделия	Коэффициента светопропускания
А	0,50 и более
Б	0,45-0,49
В	0,40-0,44
Г	0,35-0,39
Д	0,30-0,34

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### Исследование естественной освещенности помещений

#### Цель работы

Освоить лабораторную методику определения коэффициента естественной освещенности помещения

#### Теоретические предпосылки

Помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь естественное освещение.

Рациональная организация освещения помещений и рабочих мест позволяет обеспечить:

- благоприятное психофизиологическое воздействие на работающих и улучшение протекания основных технологических процессов;
- улучшение условий зрительной работы и соответственно снижение утомляемости, повышение производительности труда и качества продукции.

Применяют следующие виды освещения:

- естественное, создаваемое прямым и отраженным солнечным светом;
- искусственное, осуществляемое электрическими лампами;
- совмещенное, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным.

Естественное освещение, в свою очередь, подразделяется на боковое, верхнее и комбинированное. Боковое освещение помещений осуществляется через световые проемы в наружных стенах зданий, а в некоторых случаях – через стены, если они выполнены из материалов, частично пропускающих свет. При ширине помещения до 12 м рекомендуется боковое одностороннее освещение, при ширине 12...24 м – боковое двухстороннее.

Верхнее освещение производится через световые проемы в перекрытии, аэрационные и зенитные фонари, также через световые проемы в местах перепада высот здания.

Комбинированное освещение рекомендуется при ширине помещения более 24 м. Оно является наиболее рациональным, так как создает относительно равномерное по площади освещение.

Для естественного света характерно, что создаваемая освещенность может меняться в очень широких пределах в зависимости от времени дня, времени года, географического положения и метеорологических факторов, состояния облачности и отражающих свойств земного покрова. Поэтому

оценка естественного освещения абсолютным значением освещенности на рабочем месте невозможна.

В качестве основной для естественного освещения принята относительная величина – коэффициент естественной освещенности (КЕО), который представляет собой выраженное в процентах отношение естественной освещенности в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения  $E_e$  к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности  $E_n$ , создаваемой светом полностью открытого небосвода, %:

$$KEO = \frac{E_e}{E_n} 100\%. \quad (6.1)$$

Таким образом, КЕО оценивает способность систем естественного освещения пропускать свет.

Уровень естественного освещения в помещениях в процессе эксплуатации здания может значительно снизиться вследствие загрязнения остекленных поверхностей стен, потолков, что уменьшает эффективность отражения. Поэтому санитарные нормы предусматривают обязательную очистку стекол световых проемов не реже двух раз в год в помещениях с незначительным выделением пыли, дыма и копоти и не реже четырех раз в год – при значительном загрязнении.

Требования к естественному освещению регламентируются СП 52.13330 «Естественное и искусственное освещение». Нормированное значение КЕО  $e_n$  для помещений различного назначения определяется с учетом характера зрительной работы и системы освещения по обязательному Приложению Л СП 52.13330.

Согласно СП 52.13330, при двустороннем боковом освещении помещений любого назначения нормируемое значение КЕО должно быть обеспечено в расчетной точке в центре помещения на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза и рабочей поверхности.

В жилых и общественных зданиях при одностороннем боковом освещении нормируемое значение КЕО должно быть обеспечено:

а) в жилых помещениях жилых зданий – в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и плоскости пола на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов: в одной комнате для 1-, 2- и 3-комнатных квартир и в двух комнатах для 4-комнатных и более квартир,

...

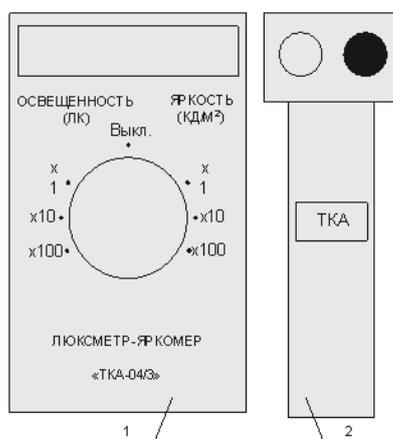
г) в учебных и учебно-производственных помещениях общеобразовательных организаций, интернатов, профессиональных образовательных организаций – в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности на расстоянии 1,2 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов;

## Описание приборов

В настоящей работе используется цифровой фотометр (люксметр-яркомер) модели ТКА-04/3.

Люксметр-яркомер модели «ТКА-04/3» (далее – прибор) предназначен для измерения освещенности в видимой области спектра, создаваемой искусственными или естественными источниками, расположенными произвольно относительно приемника.

Принцип работы прибора заключается в преобразовании фотоприемными устройствами оптического излучения в числовые значения освещенности, лк, и яркости, кд/м<sup>2</sup>. Внешний вид прибора представлен на рис. 6.1.



**Рис. 6.1.** Внешний вид прибора:

1 – блок обработки прибора; 2 – фотометрическая головка

## Методика выполнения работы

1. Вычертить план исследуемого помещения. Нанести на план расчетные точки, в которых необходимо произвести измерение КЕО (в характерных плоскостях на расстоянии 1,2 м от стены, противоположной окну, и в центре помещения), рис. 6.2.

2. Замерить освещенности внутри и снаружи помещения, исключая солнечное облучение, данные замеров заносят в табл. 6.1

Таблица 6.1

### Результаты измерения КЕО

№ точек помещения	Освещенность, лк		КЕО, %	
	Внутри помещения, $E_v$	Снаружи здания, $E_n$	Фактический, $e_p$	Нормированный, $e_n$
1				
...				
5				

3. Рассчитывается величина  $e_p$  по формуле 6.2 с использованием данных табл. 6.2. Результаты заносят в табл. 6.1.

$$e_p = C_N \cdot \frac{E_g}{E_n} \cdot 100\%. \quad (6.2)$$

где  $N$  – номер группы административного района по обеспеченности естественным светом;  $C_N$  – коэффициент, учитывающий особенности светового климата района.

Таблица 6.2

**Коэффициенты светового климата в зависимости от группы административного района и ориентации световых проемов по сторонам горизонта**

Световые проемы	Ориентация световых по сторонам горизонта	Коэффициент светового климата $C_N$ в соответствии с номером группы административных районов				
		1	2	3	4	5
В наружных стенах зданий	С	1	1,11	0,91	0,83	1,25
	СВ-СЗ	1	1,11	0,91	0,83	1,25
	З-В	1	1,11	0,91	0,91	1,25
	ЮВ-ЮЗ	1	1,18	1	0,91	1,25
	Ю	1	1,18	1	0,91	1,33

4. Согласно табл. 6.3 принимается нормативное значение КЕО,  $e_n$ , %, в зависимости от назначения помещения.

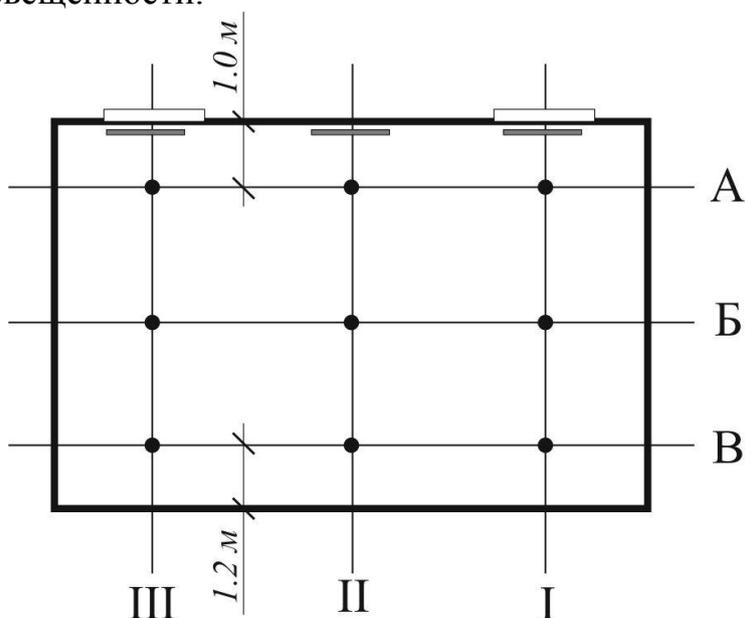
Таблица 6.3

**Нормативные показатели освещения основных помещений общественных, жилых и вспомогательных зданий**

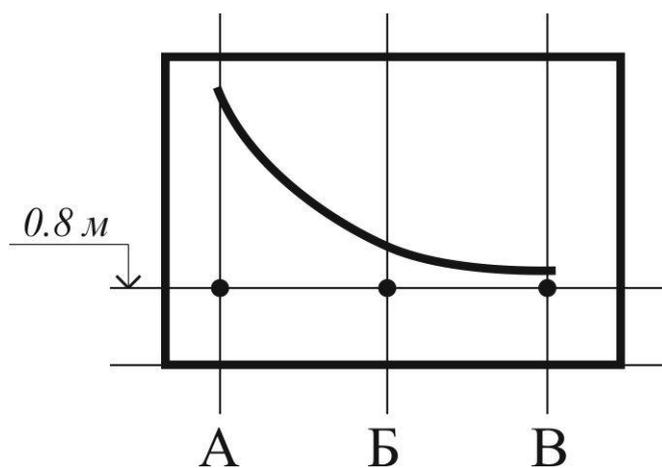
Помещения	Плоскость (Г – горизонтальная, В – вертикальная) нормирования освещенности и КЕО, высота плоскости над полом, м	Естественное освещение КЕО, $e_n$ , %	
		при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
Кабинеты и рабочие комнаты, офисы	Г-0,8	3,0	1,0
Проектные залы и комнаты	Г-0,8	4,0	1,5
Читальные залы	Г-0,8	3,5	1,2
Классные комнаты, аудитории общеобразовательных организаций	Г-0,8	4,0	1,5
Аудитории, учебные кабинеты высших учебных заведений	Г-0,8	3,5	1,2
Спортивные залы	Г-0,0	2,5	0,7

Определенное для заданных условий зрительной работы нормативное значение КЕО вносится в табл. 6.1.

5. По результатам выполненных исследований строится графическая зависимость КЕО от расстояния до световых проемов для характерных плоскостей (рис. 6.2). Здесь же показывается нормируемое значение КЕО, и делается вывод о соответствии естественной освещенности в исследуемом помещении, при необходимости намечаются мероприятия по улучшению освещенности.



**Рис. 6.2.** Схема помещения с расчетными точками



**Рис. 6.3.** Изменение КЕО по глубине помещения

## **Заключение**

Составляется заключение о соответствии КЕО в помещениях нормируемым значениям в обслуживаемой зоне.

Анализируется влияние оконных проемов, их расположения в плане и площади остекления на величину КЕО.

## **Контрольные вопросы**

1. Что позволяет обеспечить рациональная организация естественного освещения помещений и рабочих мест?
2. Дайте характеристику видам естественного освещения.
3. Назовите разновидности естественного освещения.
4. Что представляет собой коэффициент естественной освещенности КЕО?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

### Исследование светопропускания светопрозрачных материалов световых проемов

#### Цель работы

Освоить лабораторную методику определения коэффициентов светопропускания различных светопрозрачных материалов.

#### Теоретические предпосылки

При прохождении светового потока через светопрозрачное ограждение часть световой энергии теряется. Количественно светопропускание проема характеризуется коэффициентом светопропускания  $k$ , который представляет собой отношение интенсивности светового потока, прошедшего через образец, к интенсивности светового потока, падающего на образец, выраженное в процентах или долях единицы.

$$k = \frac{E_{\text{прош}}}{E_{\text{пад}}} \quad (7.1)$$

В строительных расчетах светопропускание оконных проемов характеризуется общим коэффициентом светопропускания  $\tau_0$ , который определяется как произведение коэффициентов  $\tau_i$ , соответствующих видам потерь энергии света в проеме. В наиболее общем виде  $\tau_0$  вычисляется как

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5, \quad (7.2)$$

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  $\tau_1$ , необходимые для выполнения расчетов освещенности на стадии проектирования помещений и выбора конструктивных решений оконных заполнений, приведены в нормативной литературе. 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). В этом случае для проведения исследования из остекления должны вырезаться образцы. В натуральных условиях с помощью приборов-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. 7.1.

Для оценки светопрозрачных свойств остекления, кроме коэффициента светопропускания  $\tau_1$ , определяемого отношением прошедшего через остекление светового потока  $E_\tau$  к падающему на него потоку  $E_\Pi$ :

$$\tau_1 = \Phi_\tau / \Phi_\Pi , \quad (7.3)$$

необходима иногда информация о коэффициентах поглощения  $\alpha$  и отражения световой энергии  $\rho$ . Коэффициент  $\alpha$  определяется отношением поглощаемого светового потока  $E_\alpha$  к падающему  $E_\Pi$ :

$$\alpha = \Phi_\alpha / \Phi_\Pi . \quad (7.4)$$

Коэффициенты  $\alpha$ ,  $\rho$ ,  $\tau_1$  связаны между собой соотношением

$$\alpha + \rho + \tau_1 = 1. \quad (7.5)$$

В табл. 7.1 приведены усредненные значения коэффициентов  $\alpha$ ,  $\rho$  и  $\tau_1$  некоторых строительных материалов:

Таблица 7.1

**Усредненные коэффициенты отражения, пропускания и поглощения света строительными материалами**

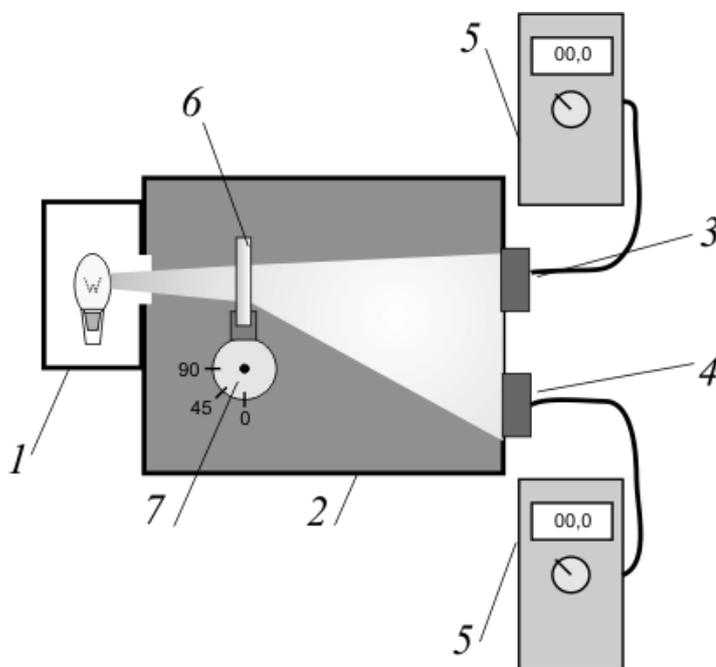
Материалы	Толщина, мм.	Коэффициенты		
		$\rho$	$\tau_1$	$\alpha$
Стекло:				
Листовое оконное	2 ÷ 3	0,08	0,90	0,02
Узорчатое прокатное	3 ÷ 6,5	0,20	0,70	0,10
Матированное	2 ÷ 3	0,10	0,85	0,05
Молочное	2 ÷ 3	0,45	0,15	0,40
Мраморные полированные плиты	8 ÷ 10	0,55	0,05	0,40
Зеркало посеребренное	—	0,85	0,00	0,15
Окраска белая	—	0,80	0,00	0,20

## Описание приборов

Лабораторные испытания светопрозрачности стекол выполняются на установке, изображенной на рис. 7.1. Установка представляет собой короб с крышкой (2) и тремя отверстиями прямоугольной формы. Внутри короба размещается поворотный штатив (7) для закрепления светопрозрачного образца (6).

К одному из отверстий примыкает источник света (1). В два других отверстия помещаются измерительные фотоэлементы люксметров (3–5).

Данная установка позволяет измерять коэффициенты светопропускания светопрозрачных образцов при различных углах падения светового потока.



**Рис. 7.1.** Схема лабораторной установки для определения коэффициентов светопропускания:

1 – источник света; 2 – корпус светоприемника; 3 – фотоэлемент прямого света; 4 – фотоэлемент рассеянного света; 5 – люксметр; 6 – испытуемый образец стекла; 7 – поворотное устройство

### Методика выполнения работы

1. Определение коэффициентов  $\alpha$ ,  $\rho$  и  $\tau_l$  для различных типов стекол.

1.1. В измерительную установку помещается образец светопрозрачного материала и закрепляется в штативе.

1.2. В верхнее отверстие (3, рис. 7.1) на торцевой поверхности помещается фотоэлемент люксметра. Нижнее отверстие закрывается защитной крышкой.

1.3. При включенном источнике света производятся измерения освещенности при отсутствии ( $E_n$ ) и при наличии образцов светопрозрачных материалов ( $E_{\tau l}$ ). Результаты измерений заносятся в табл. 7.2.

1.4. Для каждого исследуемого вида остекления производятся вычисления:

- падающего светового потока  $\Phi_n = S \cdot E_n$ , лм;
- прошедшего светового потока  $\Phi_{\tau l} = S \cdot E_{\tau l}$ , лм;
- поглощенного светового потока  $\Phi_a = \alpha \cdot \Phi_n$ , лм;
- отраженного светового потока  $\Phi_p = \Phi_n - (\Phi_a + \Phi_{\tau l})$ , лм;
- коэффициента отражения  $\rho = \Phi_p / \Phi_n$ .

Здесь  $S$  – площадь отверстия приемного устройства;  $\alpha$  – коэффициент поглощения материала остекления, принимаемый по табл. 7.1.

Результаты измерений и расчетов заносятся в табл. 7.2.

Таблица 7.2

**Результаты лабораторного определения коэффициентов  $\alpha$ ,  $\rho$  и  $\tau_1$**

№ п/п	Наименование материала*	Освещенность, лк		Световой поток лм			Коэффициенты		
		$E_n$	$E_{\tau l}$	$\Phi_{\tau l}$	$\Phi_p$	$\Phi_n$	$\tau_1$	$\alpha$	$\rho$
1									
2									
...									
10									

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

2. Оценка влияния загрязнения на коэффициент светопропускания стекла.

2.1. Аналогично п. 1 работы производится измерение освещенностей  $E_n$ ,  $E_{\tau l}$  – чистого стекла и освещенность  $E_{[\tau_1 \cdot \tau_3]}$  – при различной степени его загрязнения;

2.2. Определяются значения коэффициентов  $\tau_1 = E_{\tau l} / E_n$  – для чистого стекла и  $\tau_1 \cdot \tau_3 = E_{[\tau_1 \cdot \tau_3]} / E_n$  – для загрязненного стекла.

2.3. Определяются коэффициенты светопропускания, учитывающие светопотери за счет загрязненности поверхности стекла  $\tau_3 = \tau_1 \cdot \tau_3 / \tau_1$ .

Результаты измерений и расчетов заносятся в табл. 7.3.

Таблица 7.3

**Результаты определения коэффициентов светопропускания стекла при различной степени его загрязнения**

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

**Заключение**

На основании выполненных исследований делается анализ влияния различных факторов на светопропускание стекол различного вида, а также влияние загрязнения стекол на их коэффициент светопропускания.

**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.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

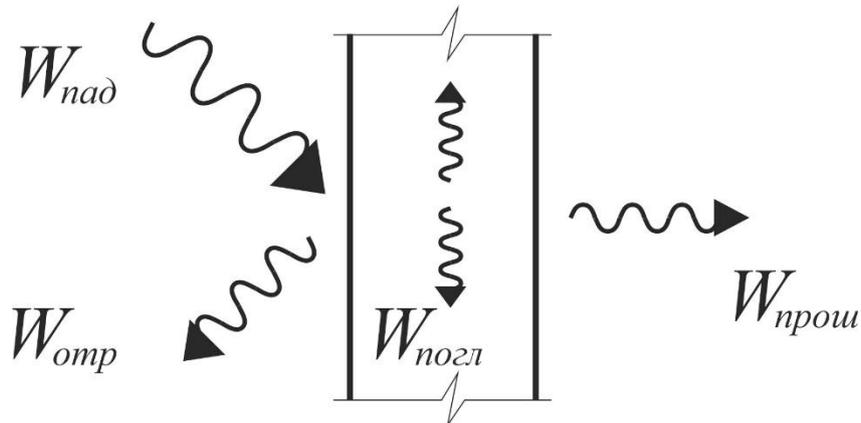
### Построение частотной характеристики изоляции воздушного шума ограждающей конструкции

#### Цель работы

Освоить экспериментальный метод построения частотной характеристики изоляции воздушного шума ограждающей конструкции.

#### Теоретические предпосылки

При падении звуковой волны на ограждающую конструкцию часть звуковой энергии волны отражается от нее, часть энергии поглощается конструкцией и переходит в тепловую, а часть – передается в смежное помещение (рис. 8.1). Передача энергии в смежное помещение происходит через незакрытые поры материала, отверстия и щели, а также за счет излучения энергии колеблющимся под воздействием звуковых волн ограждением.



**Рис. 8.1.** Схема передачи звуковой энергии через конструкцию:

$W_{над}$  – падающая на конструкцию звуковая энергия,  $W_{погл}$  – поглощенная звуковая энергия,  $W_{прош}$  – прошедшая звуковая энергия,  $W_{отр}$  – отраженная звуковая энергия

Под звукоизоляцией конструкции от воздушного шума  $R$ , дБ, понимается отношение звуковой энергии, падающей на конструкцию, к звуковой энергии, прошедшей сквозь нее, что можно выразить формулой:

$$R = 10 \lg \frac{W_{над}}{W_{прош}}, \text{ дБ.} \quad (8.1)$$

Изоляция воздушного шума ограждением  $R$ , дБ, может быть также оценена разностью уровней звукового давления в помещении с

источником шума  $L_1$  и в изолируемом от шума помещении  $L_2$  с учетом звукопоглощения:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A}, \text{ дБ}, \quad (8.2)$$

где  $S$  – площадь ограждения,  $\text{м}^2$ ;

$A$  – эквивалентная площадь звукопоглощения изолируемого помещения,  $\text{м}^2$ ;

$$A = \sum \alpha_i S_i, \text{ м}^2;$$

$\alpha_i$  – коэффициент звукопоглощения  $i$ -й поверхности помещения;

$S_i$  – площадь  $i$ -й поверхности помещения,  $\text{м}^2$ .

Величина звукоизоляции ограждения определяется конструкцией и свойствами материалов ограждения. Величина звукоизоляции конструкций изменяется в зависимости от частоты падающего на конструкцию звука, так как на разных звуковых частотах закономерности звукоизоляции имеют свои особенности.

**На низких частотах** звукоизоляция однослойных конструкций определяется жесткостью ограждения и резонансными явлениями. У большинства однослойных ограждений собственная частота колебаний лежит ниже нижней границы нормируемого диапазона частот ( $<100$  Гц).

**На средних частотах** звукоизоляция определяется массой ограждения, но зависит также от частоты звукового диапазона. Ограждение можно рассматривать как сумму большого количества отдельных масс, колеблющихся независимо одна от другой. В этом частотном диапазоне звукоизолирующая способность ограждения определяется по так называемому закону масс:

$$R = 20 \lg(m \cdot f) - 54, \text{ дБ}, \quad (8.3)$$

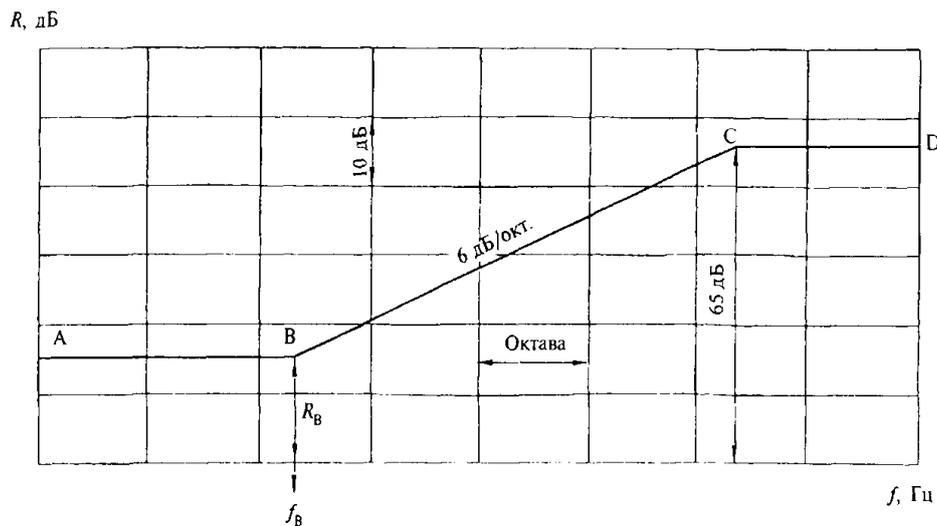
где  $m$  – поверхностная плотность конструкции ограждения,  $\text{кг}/\text{м}^2$ ;

$f$  – частота звука, Гц.

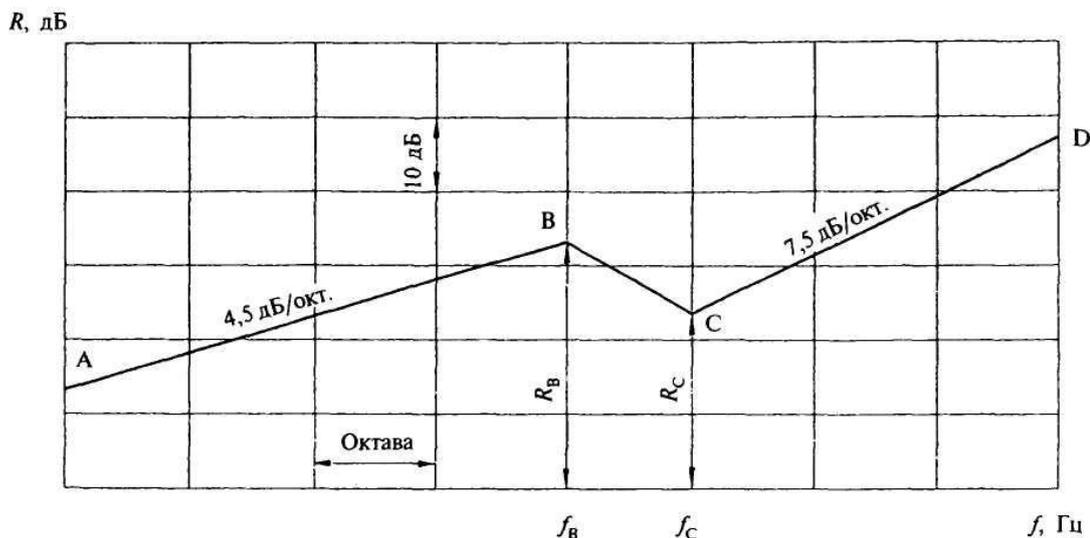
Из этого уравнения следует, что с увеличением массы (поверхностной плотности) ограждений их звукоизолирующая способность возрастает. Из уравнения следует также, что звукоизолирующая способность ограждения возрастает с увеличением частоты (рис. 8.2).

**В области высоких частот** звукоизолирующая способность ограждения зависит не только от массы, но и от жесткости конструкции. При наклонном падении звуковых волн на ограждение энергия волны передается ограждению и вызывает в нем бегущую волну изгиба ограждения. При определенных условиях длина изгибающей волны в

ограждении может оказаться равной проекции длины звуковой волны, падающей на ограждение. В результате такого совпадения амплитуда волн изгиба значительно возрастает, и наступает полная передача звуковой энергии по другую сторону ограждения (т.е. резко снижаются звукоизоляционные качества ограждений). Это явление получило название **эффекта волнового совпадения**, или резонансом конструкции. Эффект волнового совпадения особенно ярко проявляется в тонких однослойных конструкциях снижением изоляции воздушного шума на определенных частотах (рис. 8.3, частоты  $f_B$  и  $f_C$ ).



**Рис. 8.2.** Частотная характеристика изоляции воздушного шума массивным ограждением



**Рис. 8.3.** Частотная характеристика изоляции воздушного шума тонколистовым ограждением

Звукоизоляция ограждающих конструкций (стен, перегородок, перекрытий) от воздушного шума определяется двумя основными характеристиками:

- индексом изоляции воздушного шума –  $R_w$ , дБ;
- частотной характеристикой изоляции воздушного шума ограждением.

**Индекс изоляции** воздушного шума представляет собой определенным образом усредненную величину звукоизоляции для нормируемого диапазона частот.

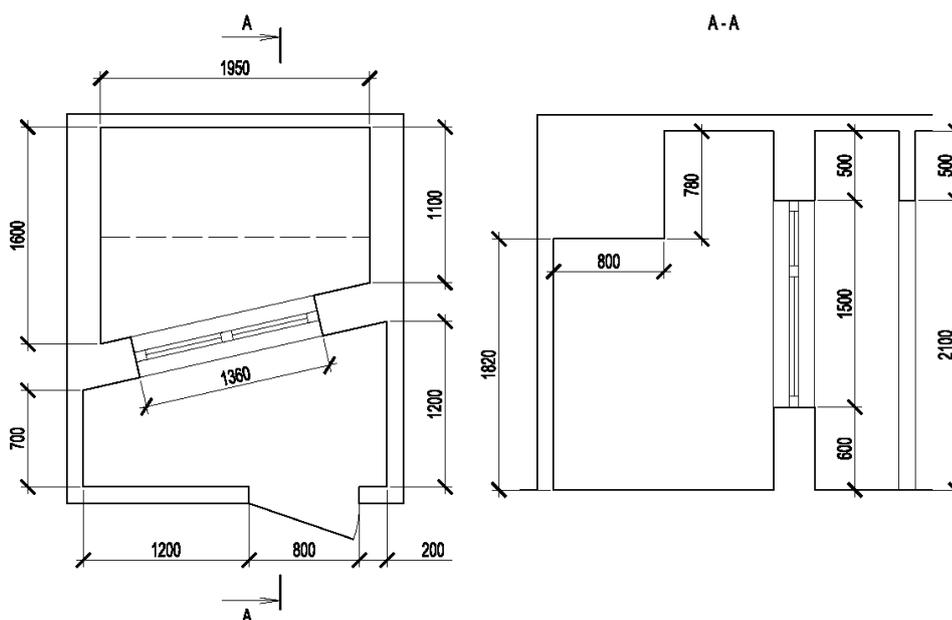
**Частотная характеристика** представляет собой зависимость звукоизоляции ограждающей конструкции от частоты  $R(f)$ , дБ, в соответствии с этим она дает полное представление о звукоизоляции ограждающих конструкций в интервале нормируемых частот. Частотная характеристика может быть представлена в графической или табличной форме.

Величина звукоизоляции ограждающей конструкции  $R$  определяется экспериментальным или расчетным путем, как правило, для третьоктавных полос в нормируемом диапазоне частот 100...3150 Гц. Экспериментальные исследования звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций зданий выполняются в соответствии с ГОСТ 27296-2012.

### **Описание приборов и установок**

Экспериментальное исследование звукоизоляции ограждающих конструкций выполняется в акустической камере.

Акустическая камера представляет собой помещение, изолированное от окружающей среды и разделяемое перегородкой на два отсека: камеру высокого давления (где создается шум) и камеру низкого давления. В разделяемой перегородке устраивается проем для возможности установки испытываемой конструкции ограждения (рис. 8.4). В камерах высокого и низкого давления устанавливаются шумомеры, по разности значений которых ( $L_1$  и  $L_2$ ) при включенном источнике звука устанавливается величина звукоизоляции испытываемой ограждающей конструкции.



**Рис. 8.4.** План и разрез акустической камеры для измерения звукоизоляции воздушного шума

### Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

1. Определяется площадь испытываемого ограждения (окна)  $S$ , разделяющего камеры высокого и низкого давления (рис. 8.4).

2. Определяются параметры камеры низкого давления: вычисляются площади всех поверхностей  $S_i$  и соответствующие им коэффициенты звукопоглощения  $\alpha_i$  для среднегеометрических частот 125, 250, 500, 1000, 2000 и 4000 Гц (таблица Приложения 8а). Данные записываются в табл. 8.1.

3. Вычисляется величина эквивалентной площади звукопоглощения камеры низкого давления для каждой частоты:

$$A = \sum \alpha_i S_i, \text{ м}^2.$$

Результаты расчетов заносятся в таблицу 8.1.

Таблица 8.1

**Характеристики звукопоглощения камеры низкого давления**

Полоса частот $f$ , Гц	Стены, потолок		Пол		Звукоизоляционные панели		Окно		Дверь		Эквивалентная площадь звукопоглощения $A = \sum \alpha_i S_i$
	$\alpha$	$S$	$\alpha$	$S$	$\alpha$	$S$	$\alpha$	$S$	$\alpha$	$S$	
125		11,2		2,1		3,6		2,0		1,7	
250											
500											
1000											
2000											
4000											

4. В камере высокого давления путем включения источника шума создается звуковое поле по очереди на частотах 125, 250, 500, 1000, 2000 и 4000 Гц.

5. С помощью шумомеров производится измерение уровней звукового давления в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Гц в камерах высокого  $L_1$  и низкого давления  $L_2$ . Результаты измерений заносятся в табл. 8.2.

Таблица 8.2

**Результаты измерений уровней звукового давления**

Полоса частот, Гц	Уровни звукового давления, дБ		Поправка на звукопоглощение камеры низкого давления $10 \lg(S/A)$	Изоляция воздушного шума, дБ $R$
	$L_1$	$L_2$		
$f$				
125				
250				
500				
1000				
2000				
4000				

6. По формуле (8.2), используя данные табл. 8.1 и 8.2, рассчитывают звукоизолирующую способность ограждения  $R$ , дБ, для каждой частоты.

7. Строится график измеренной частотной характеристики изоляции воздушного шума.

8. Делается вывод о степени изоляции данного ограждения от воздушного шума по различным частотам.

## **Контрольные вопросы**

1. Что понимают под звукоизоляцией ограждающей конструкции?
2. Какими параметрами определяется звукоизоляция конструкция на различных частотах?
3. В чем отличие индекса изоляции от частотной характеристики изоляции воздушного шума ограждающей конструкции?
4. Дать описание акустической камеры. Каким образом проводятся измерения в ней?
5. В чем заключается явление эффекта волнового совпадения? Наблюдается ли этот эффект в исследуемом ограждении?

**Коэффициенты звукопоглощения некоторых материалов**

Название материала или конструкции	Коэффициенты звукопоглощения на частотах, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Бетонная стена гладкая, неокрашенная	0,010	0,012	0,015	0,019	0,023	0,035
Кирпичная стена нештукатуренная	0,024	0,025	0,032	0,042	0,049	0,070
Стены оштукатуренные, окрашенные краской	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
Мрамор, гранит шлифованные	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Плиты сухой штукатурки	0,02	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Переплеты оконные застекленные	0,3	0,2	0,15	0,1	0,06	0,04
Светопрозрачные ограждения из стеклоблоков	0,01	0,02	0,02	0,06	0,06	0,06
Пол паркетный	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Пол дощатый на лагах	0,1	0,1	0,1	0,08	0,08	0,09
Линолеум толщиной 5 мм на твердой основе	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04	0,04
Плитка керамическая	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Ковер шерстяной толщиной 9 мм по бетону	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37
То же, на войлочной подкладке толщиной 3 мм	0,11	0,14	0,37	0,43	0,27	0,3
Ткань хлопчатобумажная 360 г/м <sup>2</sup>	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Ткань бархатная 650 г/м <sup>2</sup>	0,05	0,12	0,35	0,45	0,38	0,36
Резиновый ковер толщиной 0.5 см	0,04	0,04	0,08	0,12	0,13	0,10
Полотно дверное деревянное	0,3	0,15	0,06	0,05	0,04	0,04
Акустическая панель Экофон	0,2	0,6	1	1	1	0,9

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

### Определение экспериментальным методом изоляции оконной конструкцией транспортного шума

#### Цель работы

Освоить лабораторный метод определения изоляции оконной конструкцией транспортного шума.

#### Теоретические предпосылки

Источники шума в окружающей человека среде можно разделить на два типа: внутренние и внешние. К внутренним источникам шума, прежде всего, относится инженерное, технологическое, бытовое и санитарно-техническое оборудование, а также источники шума, непосредственно связанные с жизнедеятельностью людей (музыка, разговор, танцы и т.п.).

Внешними источниками шума являются различные средства транспорта (наземные, водные, воздушные), промышленные и энергетические предприятия и учреждения, а также различные источники шума внутри кварталов, связанные с жизнедеятельностью людей (например, спортивные и игровые площадки и др.).

Проникающий в помещение шум не должен превышать допустимых значений, что определяется величиной звукоизоляции ограждающих конструкций.

Нормируемыми параметрами звукоизоляции **внутренних** ограждающих конструкций жилых и общественных зданий являются индексы изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями  $R_w$ , дБ, и индексы приведенного уровня ударного шума (изоляция ударного шума)  $L_{пв}$ , дБ (для перекрытий).

Требуемая звукоизоляция **наружных** ограждающих конструкций (в том числе окон, витрин и других видов остекления), представляющая собой изоляцию внешнего шума, производимого потоком городского транспорта от транспортного шума, определяется величиной  $R_{Атран}$ , дБА.

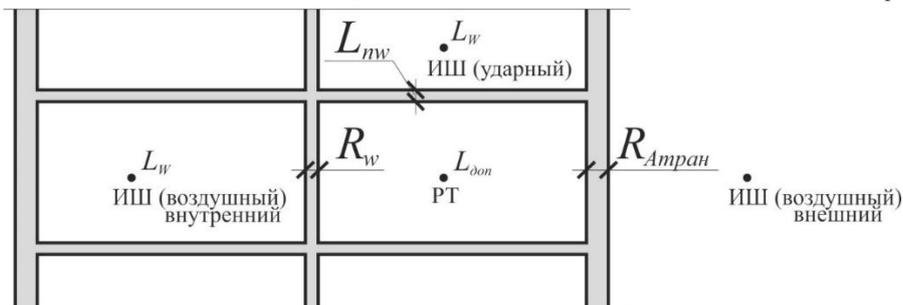


Рис. 9.1. Параметры звукоизоляции ограждающих конструкций

При других источниках шума (промпредприятия, одиночные источники шума и т.д.) требуемая изоляция воздушного шума определяется расчетным путем, исходя из норм шума в защищаемом помещении в диапазоне 63-8000 Гц и уровней шума внешнего источника шума в том же диапазоне (формула 9.1):

$$R_{тр} = L_w - L_{доп} - 10 \lg B + 10 \lg S - 10 \lg k, \text{ дБ}, \quad (9.1)$$

где  $L_w$  – октавный уровень звукового давления в помещении с источником шума на расстоянии 2м от разделяющего помещения ограждения дБ или октавный уровень звукового давления снаружи здания на расстоянии 2м от ограждающей конструкции, дБ;

$L_{доп}$  – допустимый октавный уровень звукового давления, дБ;

$S$  – площадь ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>;

$B$  – акустическая постоянная изолируемого помещения, м<sup>2</sup>;

$k$  – коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении.

Нормативные значения индексов изоляции воздушного шума внутренними ограждающими конструкциями и индексов приведенного уровня ударного шума для жилых, общественных зданий, приведены в СП 51.13330.2011 «Защита от шума» (выборка приведена в табл. 9.1). Причем фактическая или расчетная величина индекса звукоизоляции  $R_w$  должна быть больше, чем  $R_w(тр)$ , а  $L_{пв}$  – меньше требуемой величины  $L_{пв(тр)}$ .

Таблица 9.1

### Нормативные требования к звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций зданий

Наименование и расположение ограждающей конструкции	$R_w$ , дБ	$L_{пв}$ , дБ
<b>Жилые здания</b>		
Перекрытия между помещениями квартир и перекрытия, отделяющие помещения квартир от холлов, лестничных клеток и используемых чердачных помещений	52	60
Перекрытия между помещениями квартир и расположенными под ними магазинами	55	60
Стены и перегородки между квартирами, между помещениями квартир и офисами; между помещениями квартир и лестничными клетками, холлами, коридорами, вестибюлями	52	-
<b>Учебные заведения</b>		
Перекрытия между классами, кабинетами, аудиториями и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования (коридоры, вестибюли, холлы)	47	63
Стены и перегородки между классами, кабинетами и аудиториями и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования	48	-

Полная таблица нормативных требований к звукоизоляции окон приведена в СНиП 23-103-2003, а в табл. 9.2 в качестве примера приведена выборка из полной таблицы.

Таблица 9.2

**Нормативные требования к звукоизоляции окон**

Назначение помещений	Требуемое значение $R_{Атран}$ , дБА, при эквивалентных уровнях звука у фасадов зданий от транспортного шума в часы «пик», дБА				
	60	65	70	75	80
Жилые комнаты квартир в домах:					
Категории А	15	20	25	30	35
Категории Б и В	-	15	20	25	30
Жилые комнаты общежитий	-	-	15	20	25

Индекс изоляции воздушного шума  $R_w$  определяется путем усреднения частотной характеристики изоляции шума с использованием стандартной оценочной кривой (строка 1, табл. 9.3), т.е. представляет собой некоторым образом усредненное значение изоляции воздушного шума по всем частотам в нормируемом диапазоне.

Величину звукоизоляции конструкции от транспортного шума  $R_{Атран}$ , дБА, определяют на основании известной частотной характеристики изоляции воздушного шума конструкции  $R_i$  с помощью эталонного спектра шума потока городского транспорта  $L_{ти}$ . Эталонный спектр скорректирован по кривой частотного спектра «А» для шума с уровнем 75 дБА (строка 2, табл. 9.3).

При сравнении частотной характеристики  $R_i$  с эталонным спектром  $L_{ти}$  по каждой третьоктавной полосе определяют разность  $(L_{ти}-R_i)$ , а полученные уровни складывают энергетически по формуле:

$$10 \lg \sum 10^{0.1(L_{ти}-R_i)}, \text{ дБА.} \quad (9.2)$$

Полученный результат вычитают из уровня эталонного шума, равного 75 дБА. Окончательная формула для определения величины звукоизоляции конструкции от транспортного шума  $R_{Атран}$  примет вид:

$$R_{Атран} = 75 - 10 \lg \sum 10^{0.1(L_{ти}-R_i)}, \text{ дБА.} \quad (9.3)$$

где  $L_i$  – скорректированные по кривой частотной коррекции «А» уровни звукового давления эталонного спектра в  $i$ -й третьоктавной полосе частот, дБ;  
 $R_i$  – изоляция воздушного шума данной конструкцией окна в  $i$ -й третьоктавной полосе частот (или частотная характеристика изоляции) дБ.

Таблица 9.3

### Значения оценочной кривой изоляции воздушного шума и эталонного спектра шума транспортного потока

Показатель	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Оценочная кривая изоляции воздушного шума, дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
Эталонный спектр шума транспортного потока $L_T$ , дБ	55	55	56	59	60	61	62	63	64	66	67	66	65	64	62	60

### Описание приборов и установок

Экспериментальное исследование звукоизоляции ограждающих конструкций выполняется в акустической камере.

Акустическая камера представляет собой помещение, изолированное от окружающей среды и разделяемое перегородкой на два отсека: камеру высокого давления (где создается шум) и камеру низкого давления. В разделяемой перегородке устраивается проем для возможности установки испытываемой конструкции ограждения (рис. 9.2). В камерах высокого и низкого давления устанавливаются шумомеры, по разности значений которых ( $L_1$  и  $L_2$ ) при включенном источнике звука устанавливается величина звукоизоляции испытываемой ограждающей конструкции.

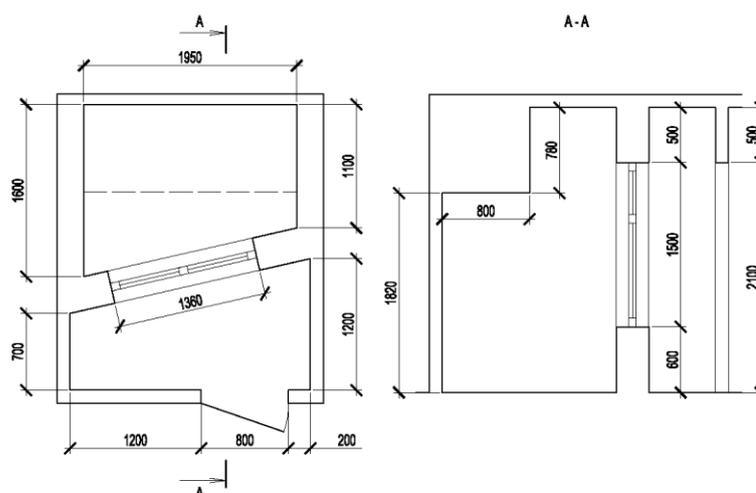


Рис. 9.2. План и разрез акустической камеры для измерения звукоизоляции воздушного шума

## Методика выполнения работы

1. В камере высокого давления путем включения источника шума создается звуковое поле по очереди на частотах 125, 250, 500, 1000, 2000 Гц.

2. С помощью шумомеров производится измерение уровней звукового давления в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 125, 250, 500, 1000, 2000 Гц в камерах высокого  $L_1$  и низкого давления  $L_2$ . Результаты измерений заносятся в табл. 9.4.

Таблица 9.4

**Результаты измерений уровней звукового давления**

Полоса частот $f$ , Гц	Уровни звукового давления, дБ		Изоляция воздушного шума $R$ , дБ	Эталонный спектр шума транспортного потока $L_T$ , дБ	Разница $(L_T - R_i)$	Сумма по формуле (9.2)	$R_{Атран}$ , дБА
	$L_1$	$L_2$					
125							
250							
500							
1000							
2000							

3. По формуле (4) рассчитывается звукоизолирующая способность ограждения  $R$  на исследуемых частотах. Данные заносятся в табл. 9.4.

$$R = L_1 - L_2, \text{ дБ}, \quad (9.4)$$

4. Вычисляется разница между эталонным спектром шума транспортного потока (таблица 9.2) и звукоизолирующей способностью ограждения  $R$  для каждой исследуемой частоты  $(L_T - R)$ , дБ. Данные заносятся в табл. 9.4.

5. По формуле (9.2) вычисляется сумма этих разностей по всем частотам. Данные заносятся в табл. 9.4.

6. По формуле (9.3) вычисляется значение  $R_{Атран}$ , дБА. Данные заносятся в табл. 9.4.

7. По полученному значению  $R_{Атран}$ , дБА, делается вывод о возможном уровне транспортного шума у фасада здания для различных типов жилых зданий согласно табл. 9.2.

## Контрольные вопросы

1. Какие источники шума относятся к внутренним, какие – к наружным?

2. Чем характеризуется звукоизоляция шума внутренними и наружными ограждающими конструкциями?

3. Как определяется показатель изоляции транспортного шума  $R_{Атран}$ ?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

### Исследование влияния отделки помещения на его акустические характеристики

#### Цель работы

Освоить экспериментальный метод определения акустических характеристик помещения.

#### Теоретические предпосылки

При проникновении шума в помещение через ограждающую конструкцию стоит принимать во внимание два процесса: звукоизоляцию и звукопоглощение.

**Звукоизоляция** определяется изоляционными свойствами ограждающей конструкции и зависит, в основном, от массы последней. Чем выше масса одного квадратного метра ограждающей конструкции, тем выше будут и звукоизоляционные свойства ограждения.

**Звукопоглощение** определяется свойствами поверхностей изолируемого помещения. Чем выше будут свойства звукопоглощения поверхностей, тем тише будет восприниматься проникающий через ограждение шум, за счет того, что часть проникающей звуковой энергии будет поглощаться материалами отделки самого помещения.

В основе снижения шума в помещениях средствами звукопоглощения лежит снижение энергии отраженных звуковых волн за счет частичного поглощения энергии падающих звуковых волн материалами ограждений. При поглощении звуковой волны материалами ограждений происходит процесс преобразования энергии звуковой волны в тепловую энергию.

Наиболее полно процесс превращения колебательной энергии звуковой волны в тепловую проявляется у материалов, имеющих высокую пористость, низкую плотность и максимально возможную удельную площадь поверхности пор. Звукопоглощающие свойства материалов характеризуются коэффициентом звукопоглощения.

**Коэффициент звукопоглощения** представляет собой отношение поглощенной энергии звуковой волны –  $W_{\text{погл}}$  к падающей –  $W_{\text{пад}}$ :

$$\alpha = \frac{W_{\text{погл}}}{W_{\text{пад}}} = \frac{W_{\text{пад}} - W_{\text{отр}}}{W_{\text{пад}}} \quad (10.1)$$

В зависимости от структуры материалов их звукопоглощающие свойства различны для различных частот звуковой волны. В соответствии

с [19], звукопоглощающие материалы подразделяются на следующие частотные диапазоны: низкочастотные (Н), максимальное звукопоглощение которых находится в октавных полосах частот 63, 125, 250 Гц; среднечастотные (С), максимальное звукопоглощение которых находится в октавных полосах частот 500, 1000 Гц, и высокочастотные (В) с максимальным звукопоглощением в октавных полосах частот 2000, 4000, 8000 Гц.

\*\*\*

Уровень звука, проходящего в помещение через ограждающую конструкцию, определяется по выражению:

$$L_2 = L_1 - R + 10 \lg \frac{S}{A}, \text{ дБ}, \quad (10.2)$$

где  $S$  – площадь ограждения,  $\text{м}^2$ ;

$A$  – эквивалентная площадь звукопоглощения изолируемого помещения,  $\text{м}^2$ ;

$L_1$  – уровень звука в помещении с источником шума, дБ;

$L_2$  – уровень звука в изолируемом помещении, дБ;

$R$  – звукоизоляция ограждения, дБ.

Согласно формуле (11.2) на уровень звука  $L_2$  влияние оказывает эквивалентная площадь звукопоглощения изолируемого помещения. Чем выше эта величина, тем большее количество звуковой энергии, прошедшей в изолируемое помещение, поглотится материалами отделки, а, соответственно, величина шума в изолируемом помещении также будет меньше.

Эквивалентная площадь звукопоглощения является важнейшей акустической характеристикой любого помещения. Величина  $A$ ,  $\text{м}^2$  определяется видом отделки помещения (площадью и коэффициентом звукопоглощения материалов отделки) и наличием штучных звукопоглотителей:

$$A = \sum \alpha_i \cdot S_i + \sum nA_i, \text{ м}^2, \quad (10.3)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент звукопоглощения  $i$ -й поверхности помещения;

$S_i$  – площадь  $i$ -й поверхности помещения,  $\text{м}^2$ ;

$A_i$  – площадь звукопоглощения штучного звукопоглотителя,  $\text{м}^2$ ;

$n$  – количество штучных звукопоглотителей.

Штучные звукопоглотители применяют при недостаточности свободных поверхностей помещения для закрепления звукопоглощающих облицовок. Поглотители различных конструкций, представляющие собой



звукопоглощения  $\alpha_i$  для среднегеометрических частот 125, 500, 2000 Гц (таблица Приложения 10а). Данные записываются в табл. 10.1.

3. Вычисляется величина эквивалентной площади звукопоглощения камеры низкого давления:

$$A = \sum \alpha_i S_i, \text{ м}^2.$$

Результаты расчетов заносятся в табл. 10.1.

Таблица 10.1

**Характеристики звукопоглощения камеры низкого давления**

Полоса частот f, Гц	Стены, потолок		Пол		Звукоизоляционные панели		Окно		Дверь		Эквивалентная площадь звукопоглощения $A = \sum \alpha_i S_i$
	$\alpha$	S	$\alpha$	S	$\alpha$	S	$\alpha$	S	$\alpha$	S	
125		11,2		2,1		3,6		2,0		1,7	
500											
2000											

4. В камере высокого давления путем включения источника шума последовательно создается звуковое поле на частотах 125, 500, 2000 Гц.

5. С помощью шумомеров производится измерение уровней звукового давления в камерах высокого  $L_1$  и низкого давления  $L_2$ . Результаты измерений заносятся в табл. 10.2.

Таблица 10.2

**Результаты измерений уровней звукового давления**

Полоса частот f, Гц	Уровни звукового давления, дБ			
	Без штучного звукопоглотителя		Со штучным звукопоглотителем	
	$L_1$	$L_2$	$L'_1$	$L'_2$
125				
500				
2000				

6. В камеру низкого давления вносится штучный звукопоглотитель, площадь звукопоглощения которого необходимо определить.

7. С помощью шумомеров производится измерение уровней звукового давления в камерах высокого  $L'_1$  и низкого давления  $L'_2$ . Результаты измерений заносятся в табл. 10.2.

8. По формуле (10.4) с использованием данных табл. 10.1 и 10.2 вычисляется звукопоглощающая площадь штучного звукопоглотителя  $A_{\text{доп}}$ ,  $\text{м}^2$  для частот 125, 500, 2000 Гц.

$$A_{\text{доп}} = \frac{S}{10^{0.1(L'_2 - L_2 + 10 \lg(S/A))}} - A, \text{ м}^2 \quad (10.4)$$

9. Делается заключение о влиянии частоты звука на площадь звукопоглощения штучного звукопоглотителя.

## Коэффициенты звукопоглощения некоторых материалов

Название материала или конструкции	Коэффициенты звукопоглощения на частотах, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Бетонная стена гладкая, неокрашенная	0,010	0,012	0,015	0,019	0,023	0,035
Кирпичная стена нештукатуренная	0,024	0,025	0,032	0,042	0,049	0,070
Стены оштукатуренные, окрашенные краской	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
Мрамор, гранит шлифованные	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Плиты сухой штукатурки	0,02	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Переплеты оконные застекленные	0,3	0,2	0,15	0,1	0,06	0,04
Светопрозрачные ограждения из стеклоблоков	0,01	0,02	0,02	0,06	0,06	0,06
Пол паркетный	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Пол дощатый на лагах	0,1	0,1	0,1	0,08	0,08	0,09
Линолеум толщиной 5 мм на твердой основе	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04	0,04
Плитка керамическая	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Ковер шерстяной толщиной 9 мм по бетону	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37
То же, на войлочной подкладке толщиной 3 мм	0,11	0,14	0,37	0,43	0,27	0,3
Ткань хлопчатобумажная, 360 г/м <sup>2</sup>	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Ткань бархатная, 650 г/м <sup>2</sup>	0,05	0,12	0,35	0,45	0,38	0,36
Резиновый ковер толщиной 0.5 см	0,04	0,04	0,08	0,12	0,13	0,10
Полотно дверное деревянное	0,3	0,15	0,06	0,05	0,04	0,04
Акустическая панель Экофон	0,2	0,6	1	1	1	0,9

**Контрольные вопросы**

1. Что понимают под звукопоглощением?
2. Какой физический смысл несет коэффициент звукопоглощения?
3. Как определяется эквивалентная площадь звукопоглощения?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Куприянов В.Н. Физика среды и ограждающих конструкций. – Учебник для бакалавров. – М., Издательство АСВ, 2015. – 312 с.
2. Архитектурная физика. – Учебник для вузов/ В.К. Лицкевич, Л.И. Макриненко, И.В. Мигалина и др.; Под ред. Н.В. Оболенского. – М., СИ, 2001. – 448 с.
3. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – Учебник для вузов. – 2-е издание, доп. и перераб. – М., Высш.шк., 1982. – 415 с.
4. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. – Изд. 4-е перераб. и доп. – М., СИ, 1973. – 287 с.
5. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий.
6. СП 51.13330.2011. Защита от шума.
7. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.
8. СП 131.13330.2012. Строительная климатология.
9. СП 275.1325800.2016. Конструкции ограждающие жилых и общественных зданий. Правила проектирования звукоизоляции.
10. СП 345.1325800.2017. Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты.
11. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.

**Иванцов Алексей Игоревич  
Петров Артем Сергеевич  
Куприянов Валерий Николаевич**

### **ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ФИЗИКА СРЕДЫ И ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ»**

Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ для студентов очного и заочного обучения направления подготовки 08.03.01 «Строительство» и специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»