

Е.П. МАТУС
М.С. СОППА
П.В. МОКРУШНИКОВ
Ю.О. КАБОВА

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКЕ

НОВОСИБИРСК 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(СИБСТРИН)

Е.П. Матус, М.С. Соппа, П.В. Мокрушников, Ю.О. Кабова

**ЛАБОРАТОРНЫЙ
ПРАКТИКУМ
ПО СТРОИТЕЛЬНОЙ
ФИЗИКЕ**

Учебное пособие

НОВОСИБИРСК 2017

УДК 69:53
ББК 38.113
Л 125

Лабораторный практикум по строительной физике : учеб. пособие / Е. П. Матус, М. С. Соппа, П. В. Мокрушников, Ю. О. Кабова ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2017. – 80 с.

ISBN 978-5-7795-0818-6

В настоящем учебном пособии представлены расчетные и экспериментальные задания по архитектурно-строительной светотехнике и акустике.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 «Строительство» и 07.03.01 «Архитектура» и специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» всех форм обучения.

Рецензенты:

- А.П. Пичугин, д-р техн. наук, профессор,
зав. кафедрой ТиПФ НГАУ;
- Л.В. Глазкова, канд. физ.-мат. наук,
доцент кафедры физики НГАСУ (Сибстрин)

ISBN 978-5-7795-0818-6 © Матус Е.П., Соппа М.С.,
Мокрушников П.В.,
Кабова Ю.О., 2017
© Новосибирский государственный
архитектурно-строительный
университет (Сибстрин), 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. РАСЧЕТ ИНСОЛЯЦИИ	
1.1. Нормы инсоляции.....	6
1.2. Расчет продолжительности инсоляции	9
1.3. Задание для расчета инсоляции	14
1.4. Порядок расчета инсоляции	16
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОПУСКАНИЯ СВЕТА	
Лабораторная работа № 62 «Определение общего коэффициента пропускания света моделей оконных блоков»	17
<i>Краткая теория</i>	17
<i>Порядок выполнения работы</i>	22
<i>Контрольные вопросы</i>	24
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ	
Лабораторная работа № 64 «Определение геометрического коэффициента естественной освещенности в модели помещения»	25
<i>Краткая теория</i>	25
<i>Порядок выполнения работы</i>	27
<i>Контрольные вопросы</i>	29
4. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ	
4.1. Нормы естественного освещения	30
4.2. Проверочный расчет коэффициента естественной освещенности при боковом освещении	33
4.3. Порядок выполнения расчета коэффициента естественной освещенности	40

5. ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ	
5.1. Звукоизоляция воздушного шума.....	45
5.2. Рекомендации и сведения к заданию по расчету индекса изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями жилых и общественных зданий.....	56
Варианты заданий	60
6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ	
Лабораторная работа № 66 «Определение нормального коэффициента звукопоглощения материала».....	66
<i>Краткая теория</i>	66
<i>Описание установки.....</i>	70
<i>Порядок выполнения работы</i>	71
<i>Контрольные вопросы</i>	73
7. ИЗУЧЕНИЕ СТОЯЧИХ ВОЛН	
Лабораторная работа № 68 «Изучение стоячей акустической волны в трубе»	74
<i>Краткая теория</i>	74
<i>Описание установки.....</i>	76
<i>Порядок выполнения работы</i>	76
<i>Контрольные вопросы</i>	78
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	79

ВВЕДЕНИЕ

Выпускник бакалавриата по направлению подготовки «Строительство» или специалитета «Строительство уникальных зданий и сооружений» должен уметь решать задачи обеспечения соответствия разрабатываемых проектов и технической документации заданию, стандартам, нормам и правилам, техническим условиям и другим исполнительным документам; уметь проводить техническую и правовую экспертизы проектов строительства, ремонта и реконструкции зданий, сооружений и их комплексов. Выпускник бакалавриата по направлению подготовки «Архитектура» должен знать методы исследования и критерии оценки акустических и световых качеств среды, принципы проектирования средовых качеств, в том числе акустику, освещение, принципы, лежащие в основе проектирования систем обеспечения и управления световой и звуковой среды. Перечисленные компетенции должны излагаться в курсах физики, архитектурной и строительной физики.

Архитектурно-строительная физика включает в себя светотехнику и акустику. Целью настоящего учебного пособия является выявление сущности основных понятий архитектурно-строительной физики, что позволит студенту выполнить расчетные и экспериментальные задания в соответствии со всеми правилами, а также понять и освоить основные принципы проектирования световой и акустической среды.

1. РАСЧЕТ ИНСОЛЯЦИИ

1.1. Нормы инсоляции

Инсоляция – это облучение прямыми солнечными лучами. Требования к инсоляции регламентируются санитарными правилами и нормами СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 «Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий» [13]. Расчеты инсоляции являются обязательным разделом в составе предпроектной и проектной документации. Соблюдение санитарных правил является обязательным для граждан, индивидуальных предпринимателей и юридических лиц, занимающихся проектированием, строительством, реконструкцией и эксплуатацией объектов. Требования к инсоляции предъявляются при размещении объектов – в проектах планировки и застройки микрорайонов и кварталов, в проектах строительства и реконструкции отдельных зданий и сооружений и при осуществлении надзора за строящимися и действующими объектами.

В чем польза инсоляции? Солнечные лучи оказывают бактерицидное и витаминизирующее воздействие. Проникновение прямого солнечного излучения в помещения и на прилегающие территории имеет психологическое и архитектурно-художественное значение. Но есть и отрицательные моменты: перегрев, блескость, канцерогенность. Поэтому в климатических районах с продолжительным и интенсивным солнечным воздействием должны выполняться меры по солнцезащите.

Продолжительность инсоляции регламентируется в жилых зданиях, детских дошкольных учреждениях (ДДУ), общеобразовательных учебных учреждениях, начального, среднего, дополнительного и профессионального образования, школах-интернатах, детских домах, лечебно-профилактических учреждениях (ЛПУ), санаторно-оздоровительных и курортных учреждениях, учреждениях социального обеспечения (домах-интернатах для инвалидов и престарелых, хосписах и др.).

Нормируемая продолжительность непрерывной инсоляции для помещений жилых и общественных зданий устанавливается дифференцированно в зависимости от типа квартир, функционального назначения помещений, планировочных зон города, географической широты в определенный календарный период:

- для северной зоны (севернее 58° с.ш.) – не менее 2,5 ч в день с 22 апреля по 22 августа;
- для центральной зоны (58° с.ш. – 48° с.ш.) – не менее 2 ч в день с 22 марта по 22 сентября;
- для южной зоны (южнее 48° с.ш.) – не менее 1,5 ч в день с 22 февраля по 22 октября.

Продолжительность инсоляции в жилых зданиях должна быть обеспечена не менее чем в одной комнате 1–3-комнатных квартир и не менее чем в двух комнатах 4-х и более комнатных квартир. В зданиях общежитий должно инсолироваться не менее 60 % жилых комнат. Допускается прерывистость продолжительности инсоляции, при которой один из периодов должен быть не менее 1 ч. При этом суммарная продолжительность нормируемой инсоляции должна увеличиваться на 0,5 ч соответственно для каждой зоны. Допускается снижение продолжительности инсоляции на 0,5 ч для северной и центральной зон в 2–3-комнатных, где инсолируется не менее двух комнат, многокомнатных квартирах (четыре и более комнаты), где инсолируется не менее трех комнат. Эта норма применима при реконструкции жилой застройки.

Нормируемая продолжительность инсоляции устанавливается в основных функциональных помещениях общественных зданий. К основным функциональным помещениям относятся:

- в зданиях ДДУ – групповые, игровые, изоляторы и палаты;
- в учебных зданиях – классы и учебные кабинеты;
- в ЛПУ – палаты (не менее 60 % от общей численности);
- в учреждениях социального обеспечения – палаты, изоляторы.

Инсоляция не требуется в патологоанатомических отделениях, операционных, реанимационных залах больниц, вивариях,

ветлечебницах, химических лабораториях, выставочных залах музеев, книгохранилищах и архивах. Допускается отсутствие инсоляции в учебных кабинетах информатики, физики, химии, рисования и черчения.

На территориях детских игровых площадок, спортивных площадок жилых домов, групповых площадках дошкольных учреждений, спортивных зон и зон отдыха общеобразовательных школ и школ-интернатов, зон отдыха ЛПУ стационарного типа продолжительность инсоляции должна составлять не менее 3 ч на 50 % площади участка независимо от географической широты.

Требования по ограничению избыточного теплового воздействия инсоляции распространяются на жилые комнаты отдельных квартир или комнаты коммунальных квартир, общежитий, ДДУ, учебные помещения общеобразовательных школ, школ-интернатов, ПТУ и других средних специальных учебных заведений, помещений ЛПУ, санаторно-оздоровительных и учреждений социального обеспечения, имеющих юго-западную и западную ориентации светопроемов.

На территории жилой застройки III и IV климатических районов [13] защита от перегрева должна быть предусмотрена не менее чем для половины игровых площадок, мест размещения игровых и спортивных снарядов и устройств, мест отдыха населения.

Ограничение избыточного теплового воздействия инсоляции помещений и территорий в жаркое время года должно обеспечиваться соответствующей планировкой и ориентацией зданий, благоустройством территорий. При невозможности обеспечения солнцезащиты помещений ориентацией необходимо предусматривать конструктивные и технические средства солнцезащиты (кондиционирование, внутренние системы охлаждения, жалюзи и т.д.). Ограничение теплового воздействия инсоляции территорий должно обеспечиваться затенением от зданий, специальными затеняющими устройствами и рациональным озеленением.

1.2. Расчет продолжительности инсоляции

За расчетный день инсоляции принимается день начала и/или конца календарного периода с нормируемой инсоляцией. Для г. Новосибирска (55° с.ш.) это 22 марта или 22 сентября – дни равноденствия.

Расчет продолжительности инсоляции помещений выполняется в расчетной точке, которая определяется с учетом расположения и размеров затеняющих элементов здания (рис. 1.1).

При расчете продолжительности инсоляции участка территории принимается расчетная точка, которая расположена в центре инсолируемой половины участка территории. Так как в СанПиН не конкретизируется алгоритм выбора этой половины, то, по-видимому, проектировщик может выбирать границы половины участка по своему усмотрению.

В расчетах продолжительности инсоляции не учитывается первый час после восхода и последний час перед заходом солнца для районов южнее 58° с.ш. и 1,5 ч для районов севернее 58° с.ш.

Расчет инсоляции может быть осуществлен либо по так называемым инсоляционным графикам, либо с помощью специальных компьютерных программ. Одна из наиболее известных программ – «Ситис.Солярис». Для определения продолжительности инсоляции в расчетных точках и соответствия действующим нормам необходимо импортировать в программу план застройки, поэтажные планы инсолируемых помещений, вертикальные разрезы зданий, внести сведения о географическом расположении объектов застройки и другие необходимые данные. Работа с программой достаточно трудоемка, поэтому оправдывает себя лишь в случае необходимости расчета большого количества точек. Если требуется расчет только нескольких основных точек (наиболее затененных), то его можно осуществить путем наложения специального инсографика (планшета Дунаева) на план застройки. Данная процедура весьма полезна как для понимания методики расчета инсоляции, так и для безошибочной работы с компьютерными программами.

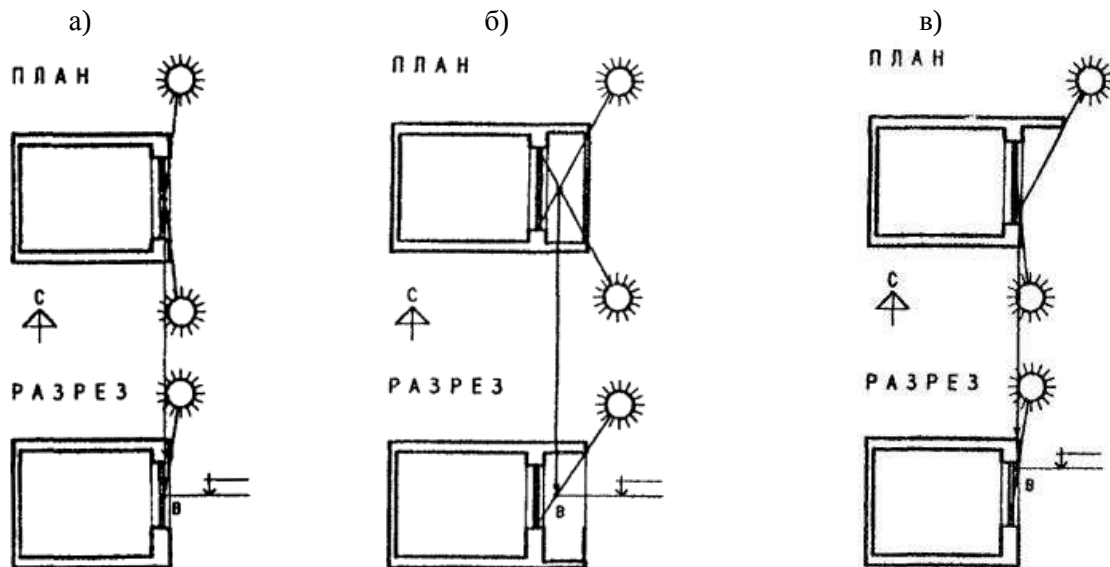


Рис. 1.1. Схема определения расчетной точки B :

а – для окна; б – для окна с лоджией; в – для окна с примыкающей стеной
 (положение точки в разрезе не совсем верно: нужно проводить луч под углом максимальной высоты солнца к козырьку, а летом необходимо учитывать, что лучи от высокого солнца могут совсем не попадать в помещение)

Поскольку траектория движения Земли вокруг Солнца и своей оси достаточно сложна, то инсографики определяют продолжительность инсоляции приближенно. Допустимая точность ± 10 мин, график, разработанный для определенной географической широты, может применяться для расчета продолжительности инсоляции в пределах полосы $\pm 2,5^\circ$. Каждый инсографик разрабатывается для определенного масштаба плана застройки.

Можно воспользоваться готовыми инсографиками, а если их нет, то построить самим. Для такого построения необходимо знать азимуты и высоты солнца как минимум каждые полчаса солнечного времени в расчетный день инсоляции. Азимут в Северном полушарии – это горизонтальный угол между направлением на север и направлением на солнце по часовой стрелке. Высота – это вертикальный угол подъема солнца над горизонтом.

Наиболее просто определяется высота солнца в полдень (12 ч по солнечному времени) для дня равноденствия. В этот момент солнце находится точно на юге на высоте, равной разнице между 90° и широтой местности. Для Новосибирска максимальный подъем солнца в день равноденствия 35° . Азимуты солнца определяются по специальным формулам или графически. На рис. 1.2 приведен инсоляционный график для г. Новосибирска, а на рис. 1.3 – для г. Санкт-Петербурга.

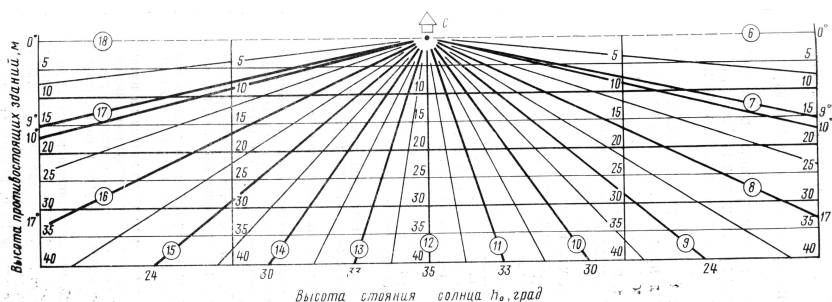


Рис. 1.2. Инсоляционный график для г. Новосибирска

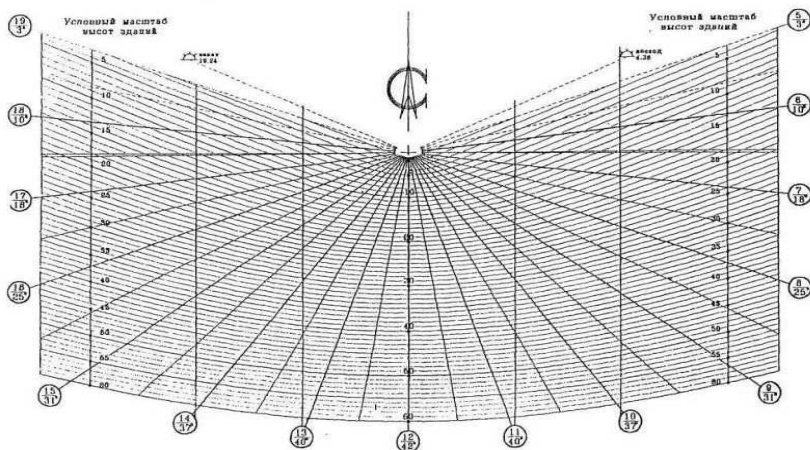


Рис. 1.3. Инсоляционный график для г. Санкт-Петербурга

Принципиальное различие этих графиков связано с тем, что в день равноденствия (а именно этот день является расчетным для г. Новосибирска) по солнечному времени солнце встает в 6.00 и садится в 18.00. Если в Новосибирске на горизонтальную поверхность поставить вертикальный столбик, то конец тени (от верхушки столбика) будет перемещаться по поверхности вдоль горизонтальной линии с запада на восток в течение дня. Поэтому линии высот противоположащих зданий на графике для Новосибирска горизонтальны. В Санкт-Петербурге они искривлены (см. рис. 1.3).

Линию высоты l противоположащего здания можно определить исходя из простых геометрических построений (рис. 1.4).

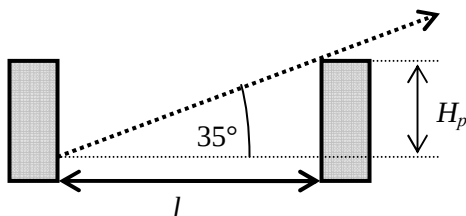


Рис. 1.4. Определение линии высоты противоположащего здания

$$l = \frac{H_p}{\operatorname{tg} 35^\circ}, \quad (1.1)$$

где H_p – расчетная высота противолежащего здания, отсчитываемая от расчетной точки исследуемого помещения до карниза (парапета) или конька кровли противостоящего здания.

Затем необходимо расстояние l перевести в масштаб плана застройки, центр графика поместить в расчетную точку и отложить от центра графика горизонтальную линию, соответствующую данной расчетной высоте H_p .

Те части противоположащих зданий, которые находятся к центру графика ближе проведенной линии высоты противоположащего здания, будут затенять расчетную точку (рис. 1.5).

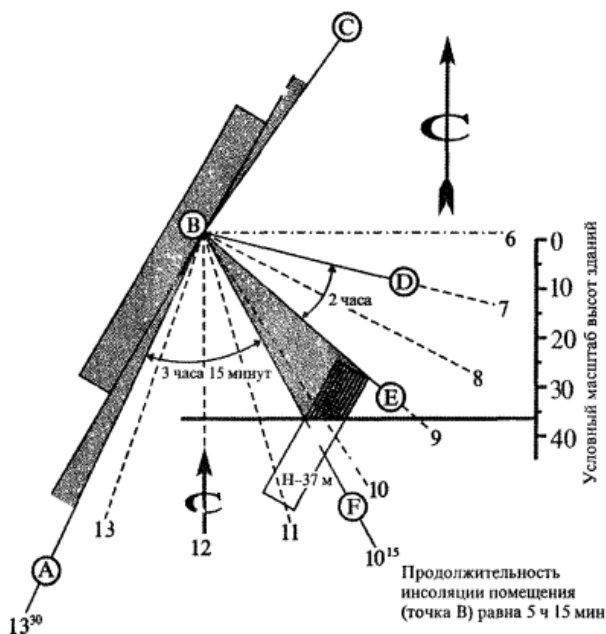


Рис. 1.5. Определение продолжительности инсоляции с помощью инсоляционного графика

Инсоляционный угол ABC светопроема – горизонтальный угол, в пределах которого возможно поступление прямых солнечных лучей. При расчете инсоляционных углов глубина световых проемов принимается равной расстоянию от наружной плоскости стены до внутренней плоскости переплета окна.

С помощью инсоляционного графика можно решать и другие задачи: построение контура (конверта) теней от зданий на территории, расчет эффективности применения солнцезащитных устройств (СЗУ).

1.3. Задание для расчета инсоляции

Определить продолжительность инсоляции жилой комнаты или точки на территории, соответствующей вашему варианту. Установить соответствие действующим нормам (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01) [13].

Точки указаны на плане микрорайона (рис. 1.6). Знак «*» означает, что комната имеет лоджию. Номер варианта соответствует номеру точки. Расчет производить для окон первого этажа (высота пола от уровня земли 1 м). Построения делать на плане микрорайона (можно использовать специальный бланк отчета). Построения по определению положения расчетной точки и необходимые расчеты произвести на обратной стороне листа с планом микрорайона.

Размеры оконных проемов: высота 1500 мм, ширина 1500 мм, а для домов № 130/4, 132/2, 140 – 2000×2000 мм²; расстояние от наружной поверхности ограждения до внутренней плоскости остекления 150 мм.

Размеры лоджий: высота 2500 мм, ширина 2500 мм, глубина 1800 мм (до внутренней поверхности остекления окна). Ось окна в плане расположена симметрично относительно боковых стен лоджии. Нижний край окна расположен на высоте 800 мм от пола.

Высоты и азимуты солнца (от юга) в различные моменты времени, соответствующие 22 марта для 55° с.ш., приведены в таблице ниже. Промежуточные значения находят приближенной интерполяцией.

Время, ч	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Азимут, °	78	65	51	36	19	0	19	36	51	65	78
Высота, °	9	17	24	30	33	35	33	30	24	17	9

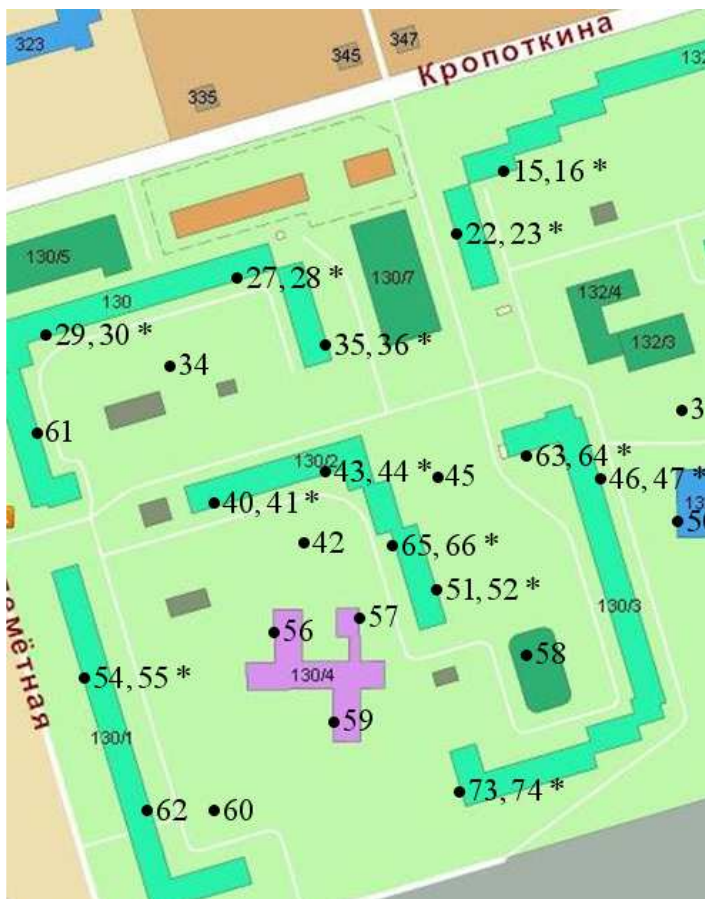


Рис. 1.6. Схема микрорайона
(точками обозначены номера вариантов)

Высоты зданий (рельеф не учитывать): № 130, 130/1, 130/2, 130/3, 132, 132/1, 134, 136, 138 – 30 м; № 130/4, 140 – 8 м;

№ 132/2 – 12 м; № 132/3, 132/4 – 10 м; № 130/7 – 5 м; остальные постройки не учитывать, варианты 5 и 58 – хоккейные коробки. Масштаб рисунка в пособии 1:3000.

1.4. Порядок расчета инсоляции

1. Из расчетной точки B провести вправо горизонтальную линию (запад–восток). Она имеет азимут 90° , по этому азимуту 22 марта и 22 сентября в Новосибирске в 6 утра встает солнце (см. рис. 1.5).

2. Провести линию BD с азимутом 78° , по этому азимуту солнце светит в 7 утра.

3. Из расчетной точки B провести влево горизонтальную линию (запад–восток). Она имеет азимут 90° , по этому азимуту в 18 часов солнце садится.

4. Провести линию BD' с азимутом 78° , по этому азимуту солнце светит в 17 часов, за час до захода. Линия BD' расположена симметрично BD относительно вертикальной линии через точку B (север–юг).

5. Построить инсоляционный угол ABC светопроема. Пересечение углов ABC и DBD' определяет положение солнца в момент, когда оно освещает точку B . С помощью таблицы на с. 15 определить возможное время инсоляции в точке B .

6. Для противоположащего здания определить его расчетную высоту H_p , по формуле (1.1) вычислить линию высоты l . Провести горизонтальную линию на расстоянии l снизу от точки B .

7. Провести линии EB и FB . Угол EBF является углом затенения, противоположащее здание не дает солнечным лучам попасть в точку B . Из возможного времени инсоляции вычесть время нахождения солнца в угле затенения EBF . Эта величина и есть время инсоляции расчетной точки B .

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОПУСКАНИЯ СВЕТА

Лабораторная работа № 62 «Определение общего коэффициента пропускания света моделей оконных блоков»

Цель работы: экспериментально определить общий коэффициент пропускания света моделей оконных блоков и сравнить полученные данные с расчетными значениями.

Оборудование: установка «Искусственный небосвод», модели оконных блоков.

Краткая теория

Всякое тело, обладающее температурой выше абсолютного нуля, излучает электромагнитные волны (лучи). Энергия этих волн называется лучистой энергией (W), измеряется в джоулях. Мощность излучения, или лучистый поток, – это энергия, излучаемая в единицу времени (1 с):

$$\Phi_{\text{луч}} = \frac{dW}{dt} \text{ [Вт]}. \quad (2.1)$$

Свет – это электромагнитная волна. Действуя на глаз, излучения разной длины волны λ вызывают ощущение того или иного цвета.

Чувствительность среднего человеческого глаза к излучению разной длины волны дается функцией относительной спектральной чувствительности глаза $V(\lambda)$ (рис. 2.1). Функция $V(\lambda)$ получена экспериментально. Перед добровольцами поочередно зажигали лампочки разных цветов. Лампочки были одинаковые (имели одинаковую мощность излучения $\Phi_{\text{луч}}$). Но добровольцам казалось, что наиболее ярко светит зеленая лампочка (длина волны 550 нм). Функция $V(\lambda)$ для этой длины волны принята равной единице. Красные и синие лампочки казались самыми тусклыми. Соответственно, функции $V(\lambda)$ для этих длин волн оказываются меньшими (рис. 2.1).

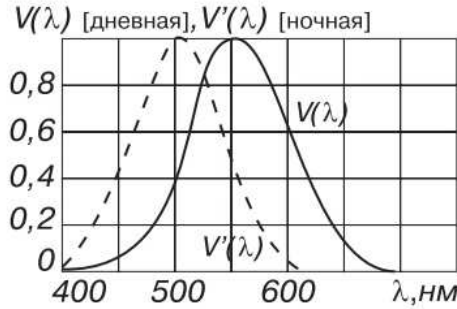


Рис. 2.1. Функции относительной спектральной чувствительности глаза для дневного зрения $V(\lambda)$ и ночного зрения $V'(\lambda)$

Величина, характеризующая воздействие лучистого потока на наш глаз, называется **световым потоком** Φ . Для интервала $d\lambda$ световой поток определяется как произведение лучистого потока на соответствующее значение функции $V(\lambda)$:

$$d\Phi = k \cdot V(\lambda) \cdot d\Phi_{\text{луч}} \quad [\text{Лм}].$$

Единицей его измерения является люмен. Константа

$$k = 683 \frac{\text{Лм}}{\text{Вт}}.$$

Полный световой поток

$$\Phi = k \cdot \int_0^{\infty} \frac{d\Phi_{\text{луч}}}{d\lambda} \cdot V(\lambda) d\lambda \quad [\text{Лм}].$$

Для характеристики точечных источников света применяется **сила света** I , которая определяется как световой поток источника, приходящийся на единицу телесного угла:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad [\text{Кд}] \quad (2.2)$$

($d\Phi$ – световой поток, излучаемый источником в пределах телесного угла $d\omega$). Единица измерения силы света – кандела. 1 кандела – это сила света, излучаемая $1/600\,000\text{ м}^2$ абсолютно черного тела (идеализированного тела, поглощающего все падающее на него излучение) в перпендикулярном направлении при температуре затвердевания платины 2042 К и давлении 101 325 Па. Световой поток в 1 люмен излучается в единичном телесном угле ω (измеряемом в стерadianах) равномерно ярким точечным источником света силой $I = 1\text{ Кд}$.

Для оценки освещения поверхности пользуются характеристикой **освещенности**. Освещенность в точке поверхности определяется как отношение светового потока, падающего на элемент поверхности, содержащей рассматриваемую точку, к площади этой поверхности:

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \text{ [Лк]}. \quad (2.3)$$

Единица освещенности – люкс.

Яркость L светящейся поверхности в некотором направлении α есть величина, равная отношению силы света в этом направлении I_α к площади $dS_\perp$ проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению α (рис. 2.2):

$$L = \frac{I_\alpha}{dS_\perp} = \frac{d\Phi}{d\omega \cdot dS \cdot \cos \alpha} \left[\frac{\text{Кд}}{\text{м}^2} \right],$$

где $d\Phi$ – световой поток, излучаемый источником в пределах телесного угла $d\omega$. Проекция светящейся поверхности dS на плоскость, перпендикулярную данному направлению α , равна

$$dS_\perp = dS \cdot \cos \alpha.$$

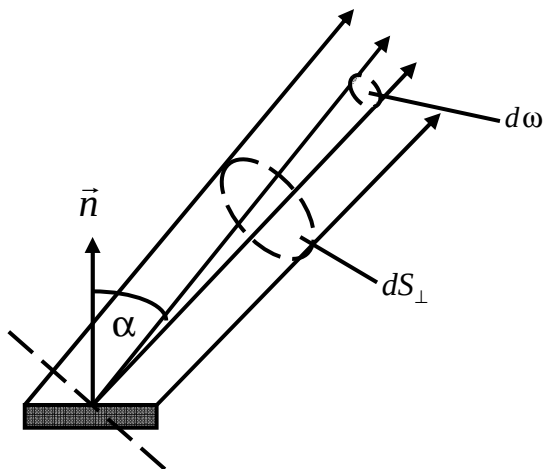


Рис. 2.2. Излучение света в заданном направлении α . Вектор $\vec{n}$ перпендикулярен светящейся площадке площадью dS . Проекция светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению α , равна $dS_{\perp}$

При падении светового потока Φ_i на тело часть этого потока отражается от него – Φ_r , часть проходит через тело – Φ_{τ} , часть поглощается телом – Φ_{α} . На основании закона сохранения энергии имеем:

$$\Phi_i = \Phi_r + \Phi_{\tau} + \Phi_{\alpha} . \quad (2.4)$$

Если разделить обе части на Φ_i , то получим:

$$\rho + \tau + \alpha = 1, \quad (2.5)$$

где ρ, τ, α – соответственно коэффициенты отражения, пропускания и поглощения.

По характеру распределения световых потоков, отраженных поверхностью или пропущенных телом, различают следующие основные виды:

- рассеянное (диффузное) отражение или пропускание света (оштукатуренная побеленная поверхность или молочное стекло);
- направленное отражение или пропускание, например, отражение света от поверхности зеркала, металла, дерева (полированного) или пропускание через оконное стекло;
- направленно-рассеянное отражение или пропускание света от поверхностей, окрашенных масляной краской, или пропускание света матированным стеклом.

Естественный свет проникает в помещение через световые проемы (например, оконные блоки), важной характеристикой которых является так называемый общий коэффициент пропускания света τ . Он равен отношению светового потока, прошедшего через оконный блок, и светового потока, прошедшего через световой проем в отсутствие оконного блока, при этом считается, что свет падает на проем равномерно со всех сторон:

$$\tau = \frac{\Phi_{\tau}}{\Phi_i} . \quad (2.6)$$

Так как для световых лучей, падающих на поверхность под разными углами, значения коэффициента пропускания различны, то, зная коэффициент пропускания стекла при нормальном падении света τ_0 (для оконного стекла 0,9), теоретически можно оценить значение коэффициента пропускания оконного блока:

$$\tau_{теор} = \frac{S_{остекл}}{S_{окна}} \tau_0^n , \quad (2.7)$$

где $S_{остекл}$ и $S_{окна}$ – площади остекления и всего оконного блока соответственно; n – количество стекол в стеклопакетах.

Значение общего коэффициента пропускания можно определить экспериментально, используя установку «Искусственный небосвод» (рис. 2.3).

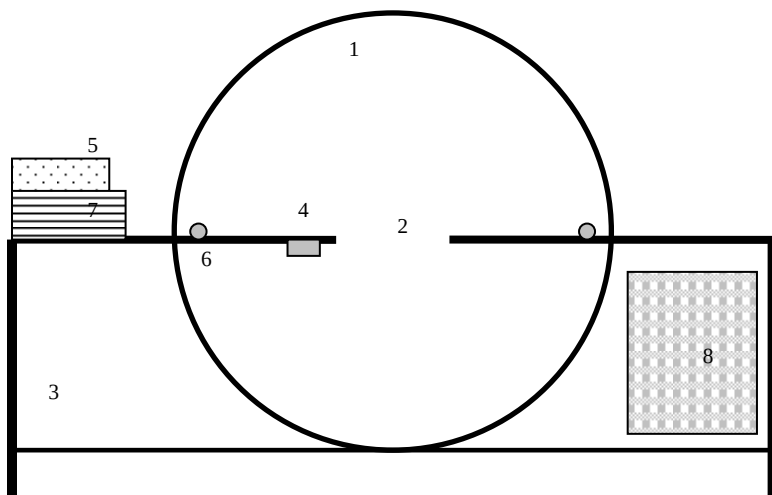


Рис. 2.3. Схема установки по строительной светотехнике:
 1 – открывающаяся полусфера; 2 – отверстие под крепление световых проемов; 3 – основание с ножками; 4 – световой датчик; 5 – люксметр; 6 – осветительные лампы; 7 – блок питания; 8 – набор из трех моделей световых проемов и помещения

При этом значение коэффициента пропускания может быть найдено через значения освещенности датчика в нижней полусфере:

$$\tau = \frac{E_m - E_m}{E_0 - E_m}, \quad (2.8)$$

где E_0 – освещенность при полностью открытом проеме; E_m – освещенность, когда в проеме находится оконный блок; E_m – освещенность при закрытом проеме (учитывает свет, попадающий в установку из-за несовершенства ее устройства).

Порядок выполнения работы

1. Аккуратно открыть до упора верхнюю полусферу установки «Искусственный небосвод». Расположить съемную горизонтальную площадку датчиком вниз (следить, чтобы не было передавливания провода датчика). Включить люкс-

метр в положение «ЛК». Закрывать полусферу и включить освещение.

2. Записать значение освещенности E_0 . Открыть полусферу, поместить в паз для измерений полностью затемненную модель окна, закрыть полусферу и измерить темновую освещенность E_m .
3. Поместить в паз для измерений модель окна с одинарным остеклением и измерить освещенность E_m . Поместить в паз для измерений модель окна с двойным остеклением и измерить освещенность.
4. Повернуть съемную площадку на 90° и повторить измерения по пунктам 1–3.
5. Повернуть площадку на 90° в другую сторону от первоначального и повторить измерения по пунктам 1–3. Выключить люксметр и освещение.
6. Линейкой замерить все размеры моделей световых проемов и по формуле (3.7) рассчитать теоретические коэффициенты светопропускания окон $\tau_{теор}$. По формуле (2.8) рассчитать экспериментальные значения общего коэффициента пропускания света в каждом опыте τ_i .
7. По формулам (2.9) и (2.10) рассчитать средние значения коэффициента пропускания и доверительный интервал. Систематическую погрешность измерения считать равной погрешности измерений люксметром по паспорту – 7 %. Сравнить полученные значения с теоретическими. Заполнить табл. 2.1 и 2.2.

$$\tau_{cp} = \frac{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3}{3}; \quad (2.9)$$

$$\Delta\tau = 4,3\sqrt{\frac{(\tau_{cp} - \tau_1)^2 + (\tau_{cp} - \tau_2)^2 + (\tau_{cp} - \tau_3)^2}{3(3-1)}}. \quad (2.10)$$

Таблица 2.1

Модель окна с одинарным остеклением

i	E_0	E_t	E_m	τ_i	τ_{cp}	$\Delta\tau$
1						
2						
3						

$$S_{окна1} = \underline{\hspace{2cm}}; S_{остекл1} = \underline{\hspace{2cm}}; \tau_{теор1} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

Таблица 2.2

Модель окна с двойным остеклением

i	E_0	E_t	E_m	τ_i	τ_{cp}	$\Delta\tau$
1						
2						
3						

$$S_{окна2} = \underline{\hspace{2cm}}; S_{остекл2} = \underline{\hspace{2cm}}; \tau_{теор2} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

Контрольные вопросы

1. Дайте определения силы света, светового потока, лучистого потока, освещенности поверхности.
2. Дайте определения коэффициентов отражения, пропускания и поглощения света. Какова связь между ними? Какие существуют виды отражений?
3. Что такое общий коэффициент пропускания света? Как он определяется экспериментально?
4. Как теоретически оценить значение общего коэффициента пропускания света в зависимости от видов остекления?

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

Лабораторная работа № 64

«Определение геометрического коэффициента естественной освещенности в модели помещения»

Цель работы: экспериментально определить геометрический коэффициент естественной освещенности (ГКЕО) в модели помещения и сравнить полученное значение с расчетным.

Оборудование: установка «Искусственный небосвод», модель помещения.

Краткая теория

Количественным критерием оценки естественного освещения служит коэффициент естественной освещенности (КЕО), который представляет собой отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба (непосредственно или после отражения) E , к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности под открытым полностью небосводом E_n (участие прямого солнечного света исключается):

$$e = \frac{E}{E_n} \cdot 100 \%. \quad (3.1)$$

Значение КЕО зависит от следующих факторов:

- а) доли естественного освещения, обусловленной светом неба, прошедшим через световой проем;
- б) доли КЕО, обусловленной отражением света наружными поверхностями стен и землей (при этом исключается участие прямого солнечного света в создании яркости отражающих поверхностей);
- в) доли КЕО, обусловленной отражением света от внутренних поверхностей помещения (при этом исключается участие прямого света в создании яркости внутренних отражающих поверхностей);

г) уменьшение КЕО за счет поглощения света стеклопакетом окна.

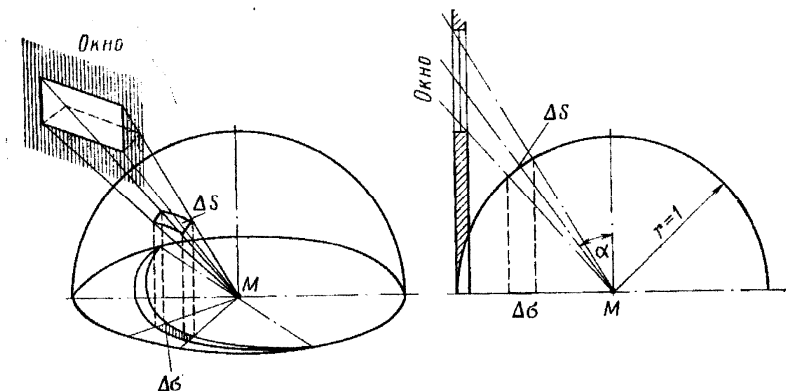
Учет фактора (а) соответствует значению геометрического коэффициента естественной освещенности ε (ГКЕО), который представляет собой отношение освещенности, создаваемой в точке M (на рабочем месте) внутри помещения светом, прошедшим через незастекленный световой проем, от равномерно яркого неба E_m к одновременному значению наружной освещенности под открытым полностью небосводом E_n (участие света, отраженного от поверхностей помещения, исключается):

$$\varepsilon = \frac{E_m}{E_n} \cdot 100 \%. \quad (3.2)$$

В основу экспериментального определения ГКЕО положены два закона светотехники.

Первый – это **закон проекции телесного угла**. Он устанавливает, что освещенность E_m в помещении, создаваемая равномерно светящимся небосводом, прямо пропорциональна яркости неба L и площади проекции $\Delta\sigma$ на освещаемую поверхность телесного угла, под которым из данной точки виден участок неба (см. рисунок):

$$E_m \sim L \cdot \Delta\sigma.$$



Пояснение к первому закону светотехники

Таким образом, согласно (3.2), значение ГКЕО в любой точке поверхности определяется отношением проекции $\Delta\sigma$ к величине πr^2 (где r – условный радиус сферы).

Второй закон – **закон светотехнического подобия**: освещенность в любой точке помещения зависит не от абсолютных, а от относительных размеров светопроемов и помещения, что позволяет получать достоверные сведения о величине КЕО, используя эксперименты на *моделях* помещений.

Для расчетного определения ГКЕО в какой-либо точке помещения используется метод Данилюка (см. гл. 4).

$$\epsilon_{теор} = 0,01 \cdot n_1 \cdot n_2. \quad (3.3)$$

В лабораторной работе № 64 экспериментальное определение ГКЕО для модели помещения с зачерненным внутренним покрытием стен проводится на установке «Искусственный небосвод», изображенной на рис. 2.3.

Порядок выполнения работы

1. Соблюдая предосторожности, открыть верхнюю полусферу установки «Искусственный небосвод». Расположить съемную горизонтальную площадку датчиком (фотоэлементом) вверх (следить, чтобы не было передавливания провода датчика). Включить люксметр в положение «КЛК». Закрывать полусферу и включить освещение. Записать значение освещенности E_n .
2. Открыть полусферу, поместить модель помещения между ограничителями так, чтобы датчик находился в дальней от окна половине помещения. По шкале сбоку помещения замерить и записать положение датчика по отношению к окну. Закрывать полусферу, люксметр поставить в положение «ЛК» и измерить освещенность E_m .
3. Открыть полусферу, снять модель помещения, повернуть съемную площадку на 90° и повторить измерения по пунктам 1 и 2.

4. Открыть полусферу, снять модель помещения, повернуть площадку на 90° в другую сторону от первоначального и повторить измерения по пунктам 1 и 2. Выключить люксметр и освещение.
5. Линейкой замерить все размеры модели помещения. Нарисовать вертикальный разрез помещения в масштабе 1:2 на графике Данилюка I (см. рис. 4.1, положение датчика соответствует точке O). Подсчитать количество лучей n_1 , проходящих через светопроем. Записать номер окружности, соответствующий середине окна. Нарисовать на графике Данилюка II (см. рис. 4.2) горизонтальный план помещения, при этом вертикальный луч графика должен проходить через датчик, а светопроем лежать на горизонтальной линии с номером, соответствующим номеру окружности, определенному по первому графику. Подсчитать количество лучей n_2 , проходящих через светопроем. По формуле (3.3) рассчитать теоретическое значение ГКЕО.
6. По формуле (3.2) рассчитать экспериментальные значения ГКЕО. По формулам (3.4) и (3.5) рассчитать средние значения ГКЕО, полуширину доверительного интервала и относительную погрешность. Систематическую погрешность измерения считать равной погрешности измерений люксметром по паспорту – 7 %. Сравнить полученное значение с теоретическим. Заполнить табл. 3.1.

$$\varepsilon_{cp} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{3}; \quad (3.4)$$

$$\Delta\varepsilon = 4,3 \sqrt{\frac{(\varepsilon_{cp} - \varepsilon_1)^2 + (\varepsilon_{cp} - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_{cp} - \varepsilon_3)^2}{3(3-1)}};$$

$$\delta = \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon_{cp}} \cdot 100 \%. \quad (3.5)$$

Таблица 3.1

i	E_n	E_m	ε_i	$\varepsilon_{ср}$	$\Delta\varepsilon, \delta$
1					
2					
3					

$n_1 =$ _____ ; $n_2 =$ _____ ; $\varepsilon_{теор} =$ _____ .

Контрольные вопросы

1. Дайте определения КЕО точки горизонтальной поверхности в помещении и ГКЕО. От чего зависит КЕО? Что учитывает ГКЕО?
2. Сформулируйте два основных закона светотехники: закон проекции телесного угла и закон светотехнического подobia.
3. Что представляют собой графики Данилюка? В чем смысл лучей этих графиков?
4. Как пользоваться графиками Данилюка для расчета ГКЕО в точке горизонтальной поверхности помещения при одностороннем боковом освещении?

4. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

4.1. Нормы естественного освещения

Естественную освещенность в абсолютных значениях нормировать нецелесообразно в связи с тем, что освещенность, создаваемая открытым небосводом, непостоянна. В каждый момент времени она зависит от многих природных факторов: положения солнца на небосводе, характера и степени облачности, прозрачности воздуха, состояния поверхностного слоя земли и т.д.

Поэтому главным критерием оценки естественного освещения служит КЕО, который представляет собой отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба (непосредственно или после отражения) E , к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности под полностью открытым небосводом E_n , выраженное в процентах:

$$e = \frac{E}{E_n} \cdot 100 \% . \quad (4.1)$$

При расчете КЕО не учитываются прямые солнечные лучи, зеленые насаждения, временные постройки, мебель.

Естественное освещение (системы освещения) подразделяется на боковое, верхнее и комбинированное (верхнее и боковое). Нормы КЕО зависят от системы освещения и назначения помещения. Поэтому проектирование естественного освещения целесообразно проводить поэтапно в следующей последовательности.

1. Определение требований к естественному освещению помещений: выбор систем освещения; выбор типа светового проема и светопропускающего материала; выбор средств для ограничения слепящего действия прямого солнечного света; учет ориентации зданий и световых проемов по сторонам горизонта.

2. Выполнение предварительного расчета естественного освещения помещений: определение необходимой площади световых проемов; уточнение параметров световых проемов и помещений.

3. Выполнение проверочного расчета естественного освещения помещений: определение помещений, зон и участков, имеющих недостаточное по нормам естественное освещение; определение требований к дополнительному искусственному освещению помещений; определение требований к эксплуатации световых проемов (необходимость устройства подходов к остеклению).

4. Внесение необходимых корректив в проект естественного освещения и повторный проверочный расчет (при необходимости).

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, в остальных жилых помещениях многокомнатных квартир и в кухне нормируемое значение КЕО должно обеспечиваться в точке, расположенной в центре помещения на плоскости пола (характерный разрез помещения – поперечный разрез посередине помещения, плоскость которого перпендикулярна к плоскости остекления световых проемов (при боковом освещении) или к продольной оси пролетов помещения, в характерный разрез помещения должны попадать участки с наибольшим количеством рабочих мест, а также точки рабочей зоны, наиболее удаленные от световых проемов);

б) в жилых помещениях общежитий, гостиных и номеров гостиниц – в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и плоскости пола в центре помещения;

в) в групповых и игровых помещениях детских дошкольных учреждений, изоляторах и комнатах для заболевших детей – 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;

г) в учебных и учебно-производственных помещениях школ, школ-интернатов, профессионально-технических и средних специальных учебных заведений (техникумов) – 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;

д) в палатах и спальнях комнатах санаториев и домов отдыха и пансионатов – 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;

е) в кабинетах врачей, ведущих прием больных, в смотровых, в приемно-смотровых боксах, перевязочных – в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности в центре помещения;

ж) в остальных помещениях жилых и общественных зданий – в расчетной точке, расположенной в центре помещения на рабочей поверхности.

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

В крупногабаритных производственных помещениях глубиной более 6,0 м при боковом освещении нормируется мини-

мальное значение КЕО в точке на условной рабочей поверхности, удаленной от световых проемов:

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

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

в) 3,0 высоты от пола до верха светопроемов для зрительных работ VIII разряда.

Допускается деление помещений на зоны с боковым освещением (зоны, примыкающие к наружным стенам с окнами) и зоны с верхним освещением. Нормирование и расчет естественного освещения в каждой зоне производятся независимо друг от друга.

4.2. Проверочный расчет коэффициента естественной освещенности при боковом освещении

Проверочный расчет КЕО в точках характерного разреза помещения при боковом освещении следует выполнять в соответствии с методикой, изложенной в СП 23-102-2003 [16], либо с помощью сертифицированных компьютерных программ, алгоритм расчета КЕО в которых соответствует указанному СП.

Освещенность в точке помещения можно разделить на две составляющие: освещенность непосредственно участками неба и участками фасадов противоположных зданий, видимыми через световые проемы, и освещенность светом, отраженным от внутренних поверхностей помещения. Учет второй составляющей достаточно сложен и порой вообще невозможен, поэтому, в соответствии с опытом, считается, что отраженная составляющая пропорциональна прямой, и учитывается с помощью определенных коэффициентов. Вся методика базируется на основе расчета ГКЕО от участков неба и зданий, видимых из расчетной точки через световой проем.

ГКЕО равен отношению освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом равномерно яркого неба E_m , к значению наружной горизонталь-

ной освещенности под этим же полностью открытым небосводом E_n , выраженному в процентах:

$$\varepsilon = \frac{E_m}{E_n} \cdot 100 \% . \quad (4.2)$$

При расчете ГКЕО не учитываются прямые солнечные лучи, зеленые насаждения, временные постройки, заполнение светового проема и отраженный свет. Этот коэффициент называется геометрическим, так как его можно подсчитать, используя геометрические параметры помещения.

Советский ученый А.М. Данилюк в 1930-х годах сформулировал графическую методику расчета ГКЕО для наиболее распространенных прямоугольных световых проемов, основанную на так называемых графиках Данилюка (хотя термин «график» здесь не совсем уместен). Графики накладываются на разрез и план помещения. Масштаб графиков не связан с масштабом чертежей помещения, главное, чтобы графиками было удобно пользоваться, масштабы первого и второго графиков были одинаковыми (так же как и масштабы плана и разреза) и сохранено оригинальное соотношение сторон графиков (что зачастую нарушается при импортировании графиков в AutoCAD). Пунктирные лучи на первом графике (рис. 4.1) соответствуют десятым долям последнего луча. Для других лучей также рекомендуется определять десятые доли «на глаз».

Рассмотрим на примере простого помещения (рис. 4.3) методику работы с графиками. Будем использовать принятые в СП обозначения для размеров помещения: h_{01} – высота верхней грани светового проема над уровнем расчетной поверхности (УРП); b_n – ширина помещения; d_n – глубина помещения; l_T – расстояние от расчетной точки M до внутренней поверхности наружной стены; θ – угол между горизонталью и линией, соединяющей точку M и середину светового проема (точка C), Δ_{cm} – толщина стены.

График Данилюка I накладывается на поперечный разрез помещения так, чтобы его центр был совмещен с расчетной точкой, а основание – с горизонтальной рабочей плоскостью (см.

рис. 4.1). Подсчитывается число лучей n_1 , проходящих через световой проем; отмечается номер полуокружности, которая проходит через середину светового проема; замеряется угол θ (который не всегда можно определить только по разрезу), под которым видна точка середины светопроема (по высоте окна и толщине стены).

График Данилюка II (рис. 4.2) накладывается на план помещения таким образом, чтобы параллель, номер которой равен номеру отмеченной полуокружности по графику I, проходила через центр светового проема, а линия поперечного разреза с расчетной точкой помещения (перпендикулярная фронту окон) проходила через центр графика II (см. рис. 4.2). Далее осуществляется подсчет количества лучей n_2 , проходящих через световой проем (с учетом толщины стен).

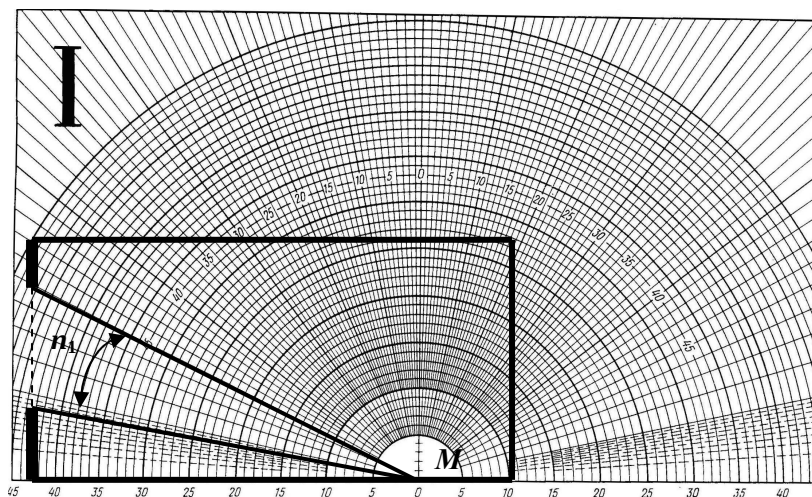


Рис. 4.1. Определение числа световых лучей n_1 на графике Данилюка I

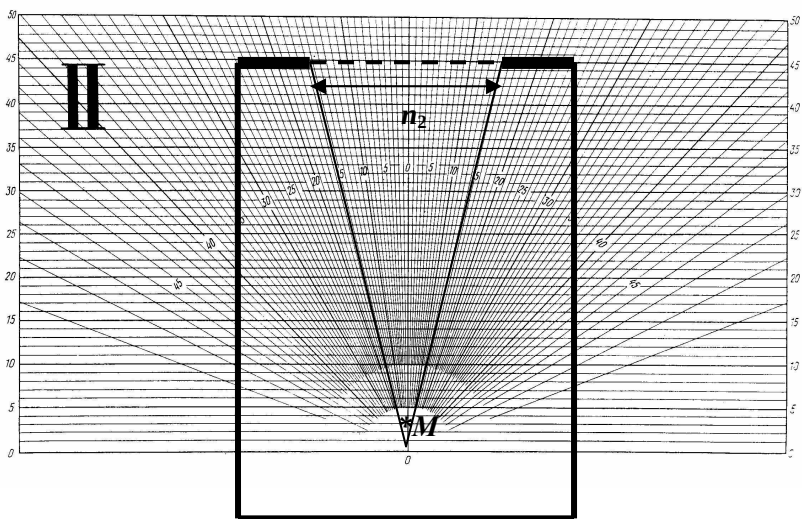


Рис. 4.2. Определение числа световых лучей n_2 на графике Данилюка II

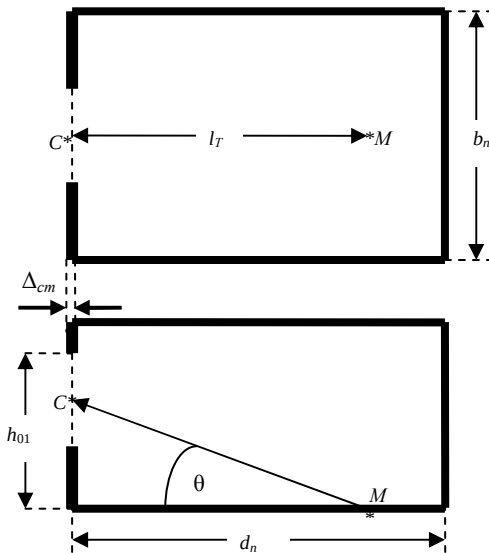


Рис. 4.3. Схема помещения (вверху – план, внизу – разрез)

Необходимо отметить, что в общем случае расчетная точка не будет совпадать с центром второго графика. Подсчитывается ГКЕО (индекс указывает, что освещение боковое) по формуле

$$\varepsilon_{\delta} = 0,01 \cdot (n_1 \cdot n_2). \quad (4.3)$$

Окончательное расчетное значение КЕО при боковом освещении определяется по формуле

$$e_p^{\delta} = \left(\sum_{i=1}^L \varepsilon_{\delta i} q_i + \sum_{j=1}^M \varepsilon_{\delta j} b_{\phi j} k_{\delta j} \right) r_0 \tau_0 / K_s, \quad (4.4)$$

где L – число участков небосвода, видимых через световые проемы из расчетной точки; $\varepsilon_{\delta i}$ – ГКЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий прямой свет от i -го участка неба; q_i – коэффициент МКО (Международной комиссии по освещению), учитывающий неравномерную яркость i -го участка облачного неба, рассчитываемый по формуле

$$q_i = (1 + 2 \sin \theta_i) \cdot 3/7; \quad (4.5)$$

M – число участков фасадов зданий противостоящей застройки, видимых через световые проемы из расчетной точки; $\varepsilon_{\delta j}$ – ГКЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий свет, отраженный от j -го участка фасадов зданий противостоящей застройки; $b_{\phi j}$ – средняя относительная яркость j -го участка фасадов зданий противостоящей застройки, которая зависит от расстояния между зданиями, длины и расчетной высоты (расстояние по вертикали от расчетной точки до карниза (парапета или конька кровли) противолежащего здания, а также средневзвешенного коэффициента отражения фасада противолежащего здания; r_0 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения, зависящий от положения расчетной поверхности, средневзвешенного коэффициента отражения пола, стен и потолка, глубины и ширины помеще-

ния, положения расчетной точки и высоте верха светопроема над расчетной точкой. Значения этого коэффициента находятся по табл. 4.1 (рассмотрен случай, когда расчетная точка находится на уровне пола).

Таблица 4.1

$\frac{d_n}{h_{01}}$	$\frac{l_T}{d_n}$	Средневзвешенный коэффициент отражения пола, стен и потолка ρ_{cp}											
		0,60			0,50			0,45			0,35		
		Отношение ширины помещения b_n к его глубине d_n											
		0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
1,00	0,10	1,05	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03
1,00	0,50	1,46	1,41	1,31	1,31	1,27	1,20	1,23	1,20	1,14	1,08	1,06	1,03
1,00	0,90	2,32	2,17	1,88	1,89	1,79	1,57	1,68	1,59	1,42	1,25	1,21	1,12
3,00	0,10	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
3,00	0,20	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02
3,00	0,30	1,32	1,29	1,23	1,22	1,20	1,16	1,17	1,16	1,12	1,08	1,07	1,05
3,00	0,40	1,85	1,77	1,59	1,60	1,54	1,41	1,47	1,42	1,32	1,21	1,09	1,14
3,00	0,50	2,51	2,36	2,05	2,06	1,95	1,73	1,84	1,75	1,57	1,38	1,34	1,25
3,00	0,60	3,21	2,98	2,53	2,55	2,39	2,06	2,22	2,09	1,83	1,56	1,50	1,37
3,00	0,70	3,90	3,60	3,00	3,04	2,83	2,40	2,61	2,44	2,09	1,74	1,66	1,49
3,00	0,80	4,60	4,23	3,48	3,53	3,26	2,73	2,99	2,78	2,36	1,92	1,82	1,61
3,00	0,90	5,29	4,85	3,96	4,02	3,70	3,06	3,38	3,12	2,62	2,10	1,98	1,72

При промежуточных значениях d_n/h_{01} , l_T/d_n , b_n/d_n и ρ_{cp} коэффициент r_0 определяют интерполяцией. Здесь необходимо сделать оговорку. В СП 23-102 [16] не уточнено, какую интерполяцию использовать, поэтому, ввиду приближенности методики расчета КЕО, промежуточные значения можно интерполировать линейно. Но даже такая интерполяция функции нескольких переменных достаточно трудоемка, поэтому можно рекомендовать делать интерполяцию только по той переменной, от которой значение расчетного коэффициента зависит сильнее всего. Например, если $b_n/d_n = 1,2$, $d_n/h_{01} = 1$, $l_T/d_n = 1$, $\rho_{cp} = 0,6$, то при $b_n/d_n = 1,0$ значение $r_0 = 2,17$, при $b_n/d_n = 2$ значение $r_0 = 1,88$. Искомое значение r_0 определяется по формуле

$$r_0 = 2,17 + \frac{(1,88 - 2,17)}{(2 - 1)} \cdot (1,2 - 1) = 2,11 \text{ (округляем до сотых);}$$

k_{30j} – коэффициент, учитывающий изменения внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при наличии противостоящих зданий; τ_0 – общий коэффициент светопропускания оконных блоков, равный отношению светового потока, прошедшего через оконный блок, и светового потока, прошедшего через световой проем в отсутствии оконного блока (при этом считается, что свет падает на проем равномерно со всех сторон); K_z – коэффициент запаса, зависящий от предназначения помещения, состояния внутренней и наружной воздушной среды, угла наклона остекления к горизонту.

При разработке типовых проектов жилых зданий, когда неизвестно расположение противостоящих зданий, значение КЕО рассчитывается по формуле

$$e_p^{\delta} = \sum_{i=1}^L \varepsilon_{oi} q_i k_{301} r_0 \tau_0 / K_z, \quad (4.6)$$

где k_{301} – коэффициент, определяемый по табл. 4.2, учитывающий среднестатистическое затенение световых проемов в жилых помещениях первого или второго (в случае расположения на первом этаже магазинов, библиотек, ателье и т.п.) этажа противостоящими зданиями.

Таблица 4.2

Значения k_{301}

Глубина помещения, м	От 2 до 3	От 3 до 4	От 4 до 5	От 5 до 6
Значение коэффициента k_{301}	1,00	0,75	0,60	0,50

4.3. Порядок выполнения расчета коэффициента естественной освещенности

1. Характерный разрез и план помещения рисуется по параметрам вашего варианта индивидуального задания. Характерный разрез помещения – это поперечный разрез посередине помещения, плоскость которого перпендикулярна к плоскости остекления световых проемов (при боковом освещении) или к продольной оси помещения (при верхнем освещении). В характерный разрез помещения должны попадать участки с наибольшим количеством рабочих мест, а также точки рабочей зоны, наиболее удаленные от световых проемов.

2. Условная рабочая плоскость (УРП) в жилых помещениях совпадает с уровнем пола. Расчетная точка M выбирается на расстоянии 1 м от задней стены помещения.

3. На графике Данилюка I в масштабе 1:50 вычерчивается поперечный разрез помещения так, чтобы центр графика был совмещен с расчетной точкой УРП, а его основание – с горизонтальной рабочей плоскостью.

4. Подсчитывается число лучей n_1 , пересекающих световой проем; отмечается номер полуокружности на графике Данилюка I (см. рис. 4.1), которая проходит через середину светового проема, а также угол θ , под которым видна точка середины светопроема. Эти значения вносятся в табл. 4.3.

5. Осуществляется подсчет количества лучей n_2 по графику Данилюка II (см. рис. 4.2): для этого план помещения вычерчивается на графике таким образом, чтобы ось плана проходила по линии поперечного разреза помещения перпендикулярно фронту окон и через центр графика II, а параллель, номер которой соответствует номеру полуокружности по графику I, проходила через центр светового проема. Результат вносится в табл. 4.3.

6. Определяется геометрический коэффициент естественной освещенности КЕО от неба ε_6 и вносится в табл. 4.3.

7. Рассчитывается q – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость облачного неба в пасмурный день (по МКО), – и вносится в табл. 4.3.

8. Значение средневзвешенного коэффициента отражения стен, потолка и пола (дано в задании) ρ_{cp} вносится в табл. 4.3.

9. Определяется r_0 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО за счет многократных отражений внутри помещения, – и вносится в табл. 4.3.

10. Вычисляется отношение коэффициента потерь света при прохождении его через окно (берем $\tau_0 = 0,5$) к коэффициенту запаса $K_z = 1,2$, т.е. τ_0/K_z , и вносится в табл. 4.3.

11. Рассчитывается КЕО при боковом освещении. Расчетные значения КЕО следует округлять до сотых долей процента.

12. По таблицам СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 [13] находится регламентируемое нормами значение КЕО для данного помещения при боковой системе освещения, которое составляет для жилых помещений $e_n = 0,5 \%$ (в г. Новосибирске), и вносится в табл. 4.3.

Таблица 4.3

d_n	l_r	h_{01}	d_n/h_{01}	l_r/d_n	b_n	b_n/d_n	ρ_{cp}	r_0	θ	n_1	n_2	e_δ	q	t_0/k_z	e_p	e_n

13. Полученное расчетное значение КЕО сопоставляется с нормированным значением e_n . Допускается отклонение расчетного значения от нормированного на 10 %.

14. Задание выполняется на листах формата А4 и включает в себя:

- а) титульный лист, который оформляется в соответствии со стандартом;
- б) лист с номером варианта и параметрами задания;
- в) лист с графиками Данилюка с разрезом и планом помещения в соответствующем масштабе;
- г) лист с заполненной табл. 4.3 с необходимыми расчетами.

Возможно оформление в виде стандартного бланка-отчета (при его наличии).

При наличии балконов и лоджий расчетное значение КЕО умножается на соответствующий коэффициент по табл. 4.4.

Таблица 4.4

Балконы глубиной	до 1,20 м	1,50 м	2,00 м	3,00 м
Коэффициент τ_4	0,90	0,85	0,78	0,62

Лоджии глубиной	до 1,20 м	1,50 м	2,00 м	3,00 м
Коэффициент τ_4	0,80	0,70	0,55	0,22

Таблица 4.5

Варианты задания (расположение окон в плане и их количество выбрать самостоятельно, толщина стен – 0,6 м), «нулевой» вариант соответствует десятому (для заочников вариант определяется по последней цифре шифра зачетной книжки)

№ варианта	Глубина помещения d_n , м	Ширина помещения b_n , м	Высота помещения h , м	Размеры окон, м		Высота верха светового проема над уровнем УРП h_{01}	Средний коэффициент отражения ρ_{cp}
				высота	ширина		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	6	3,5	3	2	1,5	3	0,6
2	6	3,5	3	2	2	3	0,5
3	6	3	3,2	1,5	2	2,8	0,5
4	6	3	3,2	1,5	1,5	2,8	0,45
5	6	3	3,2	1,5	1,0	2,8	0,35
6	5,5	2,75	3,1	2	2	2,5	0,6
7	5,5	5,5	3,0	1,5	2	2,5	0,5

Продолжение табл. 4.5

1	2	3	4	5	6	7	8
8	5,5	11	3,2	1,5	1	2,5	0,5
9	5,5	2,75	3,1	1,8	2,3	2,7	0,45
10	5,5	5,5	3,4	1,6	2,1	2,7	0,35
11	5	5	3,5	1,4	1	3	0,6
12	5	2,5	3,4	1,3	2	3,2	0,5
13	5	5	3,2	1,5	1	3,0	0,5
14	5	10	3,1	1,0	1,3	2,8	0,45
15	5	5	3	1,2	1	2,6	0,35
16	4,5	2,25	3,2	2	1,5	3	0,6
17	4,5	4,5	3,0	1,5	1,2	2,8	0,5
18	4,5	9	3,4	1,2	1,2	2,6	0,5
19	4,5	2,25	3,4	1,0	1,3	3,2	0,45
20	4,5	4,5	3,4	1,1	1,1	3,1	0,35
21	4	8	2,8	1,5	1	2,2	0,6
22	4	4	3	1,6	1,2	2,4	0,5
23	4	2	3,2	1,3	1,2	2,6	0,5
24	4	4	3,4	1,4	2	2,6	0,45
25	4	8	3,5	1,6	2	3	0,35
26	3,5	3,5	4	1,5	1	3,5	0,6
27	3,5	7	3,8	1	1	3,5	0,5
28	3,5	3,5	3,7	0,9	1	3,5	0,5
29	3,5	7	3,9	0,5	1	3,5	0,45
30	3,5	3,5	4,1	1,5	2	3,5	0,35
31	3	3	3,1	1	0,5	3	0,6

Окончание табл. 4.5

1	2	3	4	5	6	7	8
32	3	6	3,2	2	1,5	3	0,5
33	3	3	3,3	1,5	1	3	0,5
34	3	6	3	2	1,5	3	0,45
35	3	3	3,1	0,5	1	3	0,35
36	6,5	6,5	3	1,5	2	2,5	0,6
37	6,5	3,25	3,1	1	0,6	2,7	0,5
38	6,5	6,5	2,8	2	2	2,6	0,5
39	6,5	3,25	2,8	0,9	1	2,4	0,45
40	6,5	6,5	3	0,5	0,5	2,7	0,35

5. ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ

5.1. Звукоизоляция воздушного шума

Рассмотрим идеализированную ситуацию, когда стена или перекрытие разделяет два полубесконечных пространства. Пусть L_1 – уровень звукового давления падающей на стену звуковой волны, а L_2 – уровень звукового давления прошедшей волны. Тогда собственная звукоизоляция ограждающей конструкции равна

$$R = L_1 - L_2 \text{ [дБ]}. \quad (5.1)$$

Реальные помещения имеют ограниченные размеры, воздушный шум проникает не только через непосредственно разделяющую два помещения стену, но также и через щели, трещины, технологические отверстия и т.д., что повышает уровень шума за ограждением. Кроме того, необходимо учитывать эффекты поглощения звука. Поэтому фактическая звукоизоляция воздушного шума ограждениями отличается от собственной и определяется по формуле

$$R = L_1 - L_2 + 10 \cdot \lg(S/A) \text{ [дБ]}, \quad (5.2)$$

где S – площадь ограждения, м^2 ; A – суммарное звукопоглощение в изолируемом помещении, м^2 .

Оценка звукоизолирующих свойств ограждений может быть проведена путем измерений в лабораторных или натурных условиях. На основании теоретических и экспериментальных исследований прохождения звука через ограждения получены инженерные методики расчета звукоизоляции однослойных и многослойных конструкций.

Наиболее простые соотношения для звукоизоляции воздушного шума были получены при рассмотрении нормального падения звука, когда любой слой ограждения ведет себя как твердая пластина, так как поперечные волны возникают только при косом падении звука. Если акустическое сопротивление среды, в которой распространяется вначале волна, $\rho_1 c_1$, а ограж-

дения – $\rho_2 c_2$, толщина пластины δ и выполняется условие $\delta \ll \lambda$, где λ – длина падающей звуковой волны, то звукоизолирующая способность однослойного ограждения равна

$$R = 10 \lg \left[1 + \frac{\pi^2 \delta^2}{\lambda^2} \left(\frac{\rho_1 c_1}{\rho_2 c_2} + \frac{\rho_2 c_2}{\rho_1 c_1} \right)^2 \right] \text{ [дБ]}. \quad (5.3)$$

Если акустическое сопротивление преграды во много раз больше, чем воздуха ($\rho_0 c_0$), то

$$R = 10 \lg \left[1 + \left(\frac{\pi m_n f}{\rho_0 c_0} \right)^2 \right] \text{ [дБ]}, \quad (5.4)$$

где m_n – поверхностная масса, кг/м^2 ($m_n = \rho \cdot \delta$, ρ – плотность материала, кг/м^3). Таким образом, звукоизолирующая способность растет с увеличением частоты звука и поверхностной массы ограждения.

В помещениях волны падают на ограждение под различными углами, поэтому, как показывают эксперименты, реальная звукоизоляция может быть оценена по формуле

$$R = 20 \lg m_n f - 47,5 \text{ [дБ]}. \quad (5.5)$$

Полученная зависимость отражает так называемый закон массы: увеличение массы или частоты в два раза приводит к росту величины звукоизоляции на 6 дБ.

Однако приведенные выше теоретические положения не полностью реализуются на практике, в некоторых случаях возникают обстоятельства, в результате которых звукоизоляция ограждений не следует закону массы.

Во-первых, на очень низких частотах передача звука через панель определяется ее упругими свойствами – при медленно меняющемся звуковом давлении панель будет выгибаться при положительном давлении и прогибаться назад при отрицательном (во вторую половину периода). Начиная с некоторой частоты падающей звуковой волны, панель начинает излучать боль-

шее значение энергии, чем можно было бы ожидать. Объясняется это тем, что частота внешнего периодического сигнала совпадает с первой основной частотой собственных колебаний панели, и из-за резонанса звукоизоляционный эффект снижается.

Во-вторых, при наклонном падении звуковых волн в ограждении могут возникнуть поперечные (изгибные волны). Это волны совсем иного типа, чем звуковые волны в твердой среде, они характеризуются некоторой частотой и длиной волны. Может оказаться, что длина звуковой волны в воздухе и длина изгибной волны на панели совпадут. Данное явление называется волновым совпадением. Таким образом, начиная с некоторой граничной частоты, связанной с эффектом волнового совпадения, звукоизоляция ограждения будет уменьшаться.

Учет вышеперечисленных явлений привел к созданию приближенных методик расчета звукоизоляции ограждений (СП 23-103-2003 [16]). Расчет звукоизоляции ограждающих конструкций должен проводиться при разработке конструктивных решений ограждений, применении новых строительных материалов и изделий. Окончательная оценка звукоизоляции таких конструкций осуществляется на основании испытаний.

Методики, приведенные в указанном СП, позволяют рассчитывать:

1) частотную характеристику изоляции воздушного шума однослойной плоской ограждающей конструкцией сплошного сечения из бетона, железобетона, кирпича и тому подобных материалов;

2) частотную характеристику изоляции воздушного шума однослойной плоской тонкой ограждающей конструкцией из металла, стекла, асбоцементного листа, гипсокартонных листов и тому подобных материалов;

3) частотную характеристику изоляции воздушного шума ограждающей конструкцией, состоящей из двух тонких листов с воздушным промежутком (или при заполнении воздушного промежутка пористым или пористо-волокнистым материалом) между ними (двойные глухие остекления, перегородки в виде двух обшивок из одинарных листов сухой гипсовой штука-

турки, металла и т.п. по каркасу из тонкостенного металлического или асбоцементного профиля, деревянных брусков);

4) звукоизоляцию воздушного шума междуэтажным перекрытием со звукоизоляционным слоем.

В качестве примера рассмотрим построение частотной характеристики изоляции воздушного шума однослойной плоской ограждающей конструкцией сплошного сечения. Схематично она представлена на рис. 5.1.

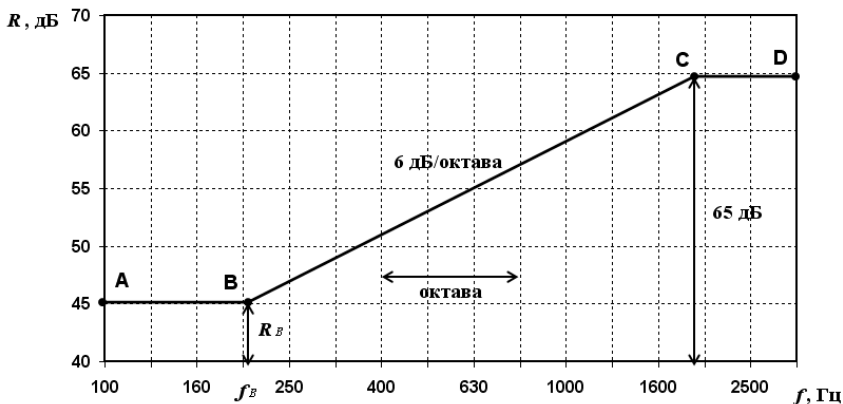


Рис. 5.1. Частотная характеристика звукоизоляции
(шкала абсцисс – логарифмическая)

Абсциссу f_B точки B следует определять по табл. 5.1 в зависимости от толщины и плотности материала конструкции. Значение f_B следует округлять до среднегеометрической частоты 1/3-октавы, в пределах которой она находится. Границы 1/3-октавных полос приведены в табл. 5.2.

Ординату R_B точки B следует определять в зависимости от поверхностной плотности m_n (для ребристых конструкций принимается без учета ребер) по формуле

$$R_B = 20 \lg(K \cdot m_n) - 12 \text{ [дБ]}, \quad (5.6)$$

где K – коэффициент, учитывающий относительное увеличение изгибной жесткости ограждения из бетонов на легких заполнителях, поризованных бетонов и т.п. по отношению к конструкциям из тяжелого бетона с той же поверхностной плотностью. Для ограждающих конструкций плотностью более 1800 кг/м^3 $K = 1$, в остальных случаях берется из табл. 5.3.

Таблица 5.1

Плотность материала ρ , кг/м^3	f_B , Гц
≥ 1800	$29000/h$
1600	$31000/h$
1400	$33000/h$
1200	$35000/h$
1000	$37000/h$
800	$39000/h$
600	$40000/h$

Примечание: h – толщина ограждения, мм; для промежуточных значений ρ частота f_B определяется интерполяцией.

Таблица 5.2

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

Для ограждений из бетона плотностью 1800 кг/м^3 и более с круглыми пустотами коэффициент K определяется по формуле

$$K = 1,5 \sqrt{\frac{j}{bh_{np}^3}}, \quad (5.7)$$

где j – момент инерции сечения, м^4 ; b – ширина сечения, м ; h_{np} – приведенная толщина сечения, м .

Для ограждающих конструкций из легких бетонов с круглыми пустотами коэффициент K принимается как произведение коэффициентов, определенных отдельно для сплошных конструкций из легких бетонов и конструкций с круглыми пустотами. Значение R_B следует округлять до целых значений в дБ.

Таблица 5.3

Вид материала	Класс	Плотность, кг/м^3	K
1	2	3	4
Керамзитобетон	В 7,5	1500–1550	1,1
		1300–1450	1,2
		1200	1,3
		1100	1,4
	В 12,5 – В 15	1700–1750	1,1
		1500–1650	1,2
		1350–1450	1,3
		1250	1,4
Перлитобетон	В 7,5	1400–1450	1,2
		1300–1350	1,3
		1100–1200	1,4
		950–1000	1,5
Аглопоритобетон	В 7,5	1300	1,1
		1100–1200	1,2
		950–1000	1,3
	В 12,5	1500–1800	1,2
Шлакопемзобетон	В 7,5	1600–1700	1,2
	В 12,5	1700–1800	1,2
Газобетон, пенобетон, газосиликат	В 5,0	1000	1,5
		800	1,6
		600	1,7

Окончание табл. 5.3

1	2	3	4
Кладка из кирпича, керамических пустотелых блоков		1500–1600	1,1
		1200–1400	1,2
Гипсобетон, гипс (в том числе поризованный или с легкими заполнителями)	В 7,5	1300	1,3
		1200	1,4
		1000	1,5
		800	1,6

Построение частотной характеристики производится в следующей последовательности (рис. 5.1): из точки B влево до 100 Гц проводится горизонтальный отрезок BA , а вправо от точки B – отрезок BC с наклоном 6 дБ на октаву до точки C с ординатой $R_C = 65$ дБ. Из точки C вправо проводится горизонтальный отрезок CD . Если точка C лежит за пределами нормируемого диапазона частот ($f_c > 3150$ Гц), отрезок CD отсутствует.

Данная методика дает достоверные результаты при отношении толщины разделяющего ограждения к средней толщине $h_{\text{прим}}$ примыкающих к нему ограждений в пределах $0,5 < h/h_{\text{прим}} < 1,5$.

При других отношениях толщин необходимо учитывать изменение звукоизоляции за счет увеличения или уменьшения косвенной передачи звука через примыкающие конструкции. Для крупнопанельных зданий, в которых ограждающие конструкции выполнены из бетона, железобетона, бетона на легких заполнителях, поправка ΔR имеет следующие значения: при $0,3 < h/h_{\text{прим}} < 0,5$ $\Delta R = +1$ дБ; при $1,5 < h/h_{\text{прим}} < 2$ $\Delta R = -1$ дБ; при $2 < h/h_{\text{прим}} < 3$ $\Delta R = -2$ дБ. Для зданий из монолитного бетона величина ΔR должна быть уменьшена на 1 дБ.

В каркасно-панельных зданиях, где элементы каркаса (колонны и ригели) выполняют роль виброзадерживающих масс в стыках панелей, вводится дополнительно поправка к результатам расчета $\Delta R = +2$ дБ.

Нормируемым параметром звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций жилых и общественных зданий, а так-

же вспомогательных зданий производственных предприятий является **индекс изоляции воздушного шума** ограждающими конструкциями R_w , дБ, который применяется для суммарной оценки изоляции воздушного шума. Он определяется путем сопоставления частотной характеристики (расчетной или экспериментальной) изоляции воздушного шума со специальным нормативным спектром (табл. 5.4, строка 1).

Примерный график с двумя частотными характеристиками приведен на рис. 5.2, где $ABCD$ – расчетная характеристика, пунктир – нормативная.

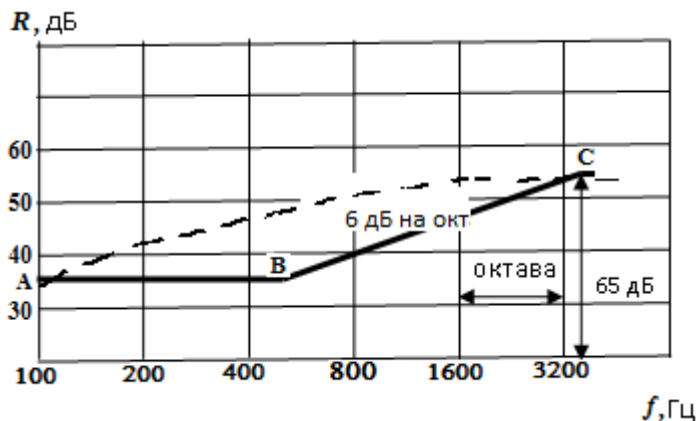


Рис. 5.2. Нормативная и расчетная характеристики звукоизоляции

Для определения индекса изоляции воздушного шума необходимо определить сумму неблагоприятных отклонений данной частотной характеристики от нормативного спектра. Неблагоприятными считают отклонения в меньшую сторону от нормативного спектра (см. рис. 5.2). Таким образом, определяется разность между значениями звукоизоляции данной конструкции и нормативными значениями на каждой из частот (учитываются те, которые имеют отрицательное значение).

Таблица 5.4

№ п/п	Показатель	Среднегеометрические частоты 1/3-октавных полос, Гц															
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
1	Нормативная частотная характеристика изоляции воздушного шума R , дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
2	Нормативный спектр приведенного уровня ударного шума L_n , дБ	62	62	62	62	62	62	61	60	59	58	57	54	51	48	45	42
3	Скорректированный уровень звукового давления эталонного спектра L_i , дБ	55	55	56	59	60	61	62	63	64	66	67	66	65	64	62	60

Если сумма неблагоприятных отклонений максимально приближается к 32 дБ, но не превышает эту величину, величина индекса составляет $R_w = 52$ дБ (эта величина соответствует значению исходной нормативной кривой при частоте 500 Гц).

Если сумма неблагоприятных отклонений превышает 32 дБ, нормативный спектр смещается вниз на целое число децибел так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений не превышала указанную величину и была к ней максимально приближена.

Если сумма неблагоприятных отклонений значительно меньше 32 дБ (обычно критерием выбирается значение 25 дБ) или неблагоприятные отклонения отсутствуют, нормативный спектр смещается вверх на целое число децибел так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений от смещенного нормативного спектра максимально приближалась к 32 дБ, но не превышала эту величину.

Окончательно за величину индекса R_w принимается ордината смещенного вверх или вниз нормативного спектра в 1/3-октавной полосе со среднегеометрической частотой 500 Гц.

Выбранная конструкция удовлетворяет санитарным нормам по шуму, если полученное фактическое (расчетное) значение звукоизоляции не меньше нормативного значения звукоизоляции, которое берется из СП 51.13330.2011 [18]. Все расчетные значения вносятся в табл. 5.5.

Примеры нормативных значений индексов изоляции воздушного шума внутренними ограждающими конструкциями показаны ниже:

1. Стены между квартирами52 дБ
2. Межкомнатные перегородки43 дБ
3. Стены между комнатами в общежитиях50 дБ

Таблица 5.5

Параметры	Среднегеометрические частоты 1/3-октавных полос, Гц																
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	Σδ
Расчетная частотная характеристика, дБ																	
Нормативная частотная характеристика, дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56	
Неблагоприятные отклонения δ, дБ																	
Нормативная кривая, смещенная на ____дБ																	
Неблагоприятные отклонения δ, дБ																	
Нормативная кривая, смещенная на ____дБ																	
Неблагоприятные отклонения δ, дБ																	
Индекс изоляции воздушного шума, дБ																	

5.2. Рекомендации и сведения к заданию по расчету индекса изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями жилых и общественных зданий

Цель работы: научиться решать задачи проектирования различных ограждающих конструкций, удовлетворяющих нормативным требованиям к звукоизоляции воздушного шума.

Задание выполняется на листах формата А4, которое включает в себя:

- а) титульный лист, который оформляется в соответствии со стандартом;
- б) лист с номером варианта и параметрами задания (вид конструкции, материалы, их размеры);
- в) графики частотной расчетной характеристики звукоизолирующей способности конструкции и нормативной характеристики;
- г) расчет величины индекса звукоизоляции воздушного шума R_w ;
- д) вывод по оценке звукоизолирующих качеств ограждения, предложенного в задании, и соответствия его требованиям строительных норм.

Возможно оформление в виде стандартного бланка-отчета.

Расчет и построение частотной характеристики звукоизолирующей способности акустически однородного ограждения производятся в следующем порядке:

1. Строится график (на миллиметровке), по оси абсцисс которого откладываются частоты в диапазоне 100–4000 Гц (в масштабе: октава – 3 см, 1/3 октавы – 1 см), а по оси ординат – величины звукоизолирующей способности в дБ (масштаб: 10 дБ – 2 см).

2. Определяется поверхностная плотность ограждения:
 $m = \gamma \cdot h$, кг/м², где γ – плотность материала конструкции, кг/м³;
 h – толщина конструкции, м.

3. Построение кривой начинается с горизонтального участка AB (см. рис. 5.1).

Абсциссу точки $B(f_B)$ следует определять по табл. 5.1 в зависимости от толщины и плотности материала конструкции. Значение частоты f_B следует округлять до среднегеометрической частоты, в пределах которой находится данная частота. Границы 1/3-октавных полос приведены в табл. 5.2.

Ординату точки $B(R_B)$ следует определять в зависимости от эквивалентной поверхностной плотности m_s по формуле

$$R_B = 20 \lg m_s - 12 \text{ [дБ]} \text{ (округлить до целых),}$$

где m_s – эквивалентная поверхностная плотность, кг/м^2 , определяется по формуле

$$m_s = K \cdot m,$$

где K – коэффициент, учитывающий относительное увеличение изгибной жесткости ограждения из бетонов на легких заполнителях, поризованных бетонов и т.п. по отношению к конструкциям из тяжелого бетона с той же поверхностной плотностью.

Для сплошных ограждающих конструкций из бетонов на легких заполнителях, поризованных бетонов, кладки из кирпича и пустотелых керамических блоков коэффициент K определяется по табл. 5.3. Для конструкций с плотностью материала более $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$ $K = 1$.

4. Из точки B влево проводится горизонтальный отрезок BA , а вправо от точки B – отрезок BC с наклоном 6 дБ на октаву до точки C с ординатой $R_C = 65$ дБ. Из точки C вправо проводится горизонтальный отрезок CD . Если точка C лежит за пределами нормируемого диапазона частот ($f_C > 3150$ Гц), то отрезок CD отсутствует. Значения звукоизоляции R следует округлять до 0,5 дБ.

Пример. Построить частотную характеристику изоляции воздушного шума перегородкой из тяжелого бетона плотностью 2300 кг/м^3 и толщиной 100 мм и определить индекс изоляции воздушного шума.

Находим частоту, соответствующую точке B :

$$f_B = \frac{29000}{h} = \frac{29000}{100} = 290 \text{ Гц.}$$

Полученная частота входит в частотный диапазон со среднегеометрической частотой 315 Гц , поэтому выбирается как исходное для частоты f_B .

Определяем поверхностную плотность ограждения:

$$m_n = \gamma \cdot h = 2300 \cdot 0,1 = 230 \text{ кг/м}^2.$$

Вычисляем ординату точки B , учитывая, что при данном значении γ коэффициент $K = 1$. Тогда эквивалентная масса $m_s = m_n$:

$$R_B = 20 \lg m_s - 12 = 20 \lg \cdot 230 - 12 = 35,2 \approx 35 \text{ дБ.}$$

Строим график: отмечаем координаты точки B . От нее влево до частоты 100 Гц проводим отрезок BA . Вправо от точки B проводим отрезок BC с наклоном 6 дБ на октаву до абсциссы частоты 3150 Гц . На тот же график наносим нормативную оценочную характеристику (пунктирная кривая).

Все значения звукоизолирующей способности, неблагоприятные отклонения, связанные с взаимным расположением обеих кривых, вносим в табл. 5.6. Сумма неблагоприятных отклонений составляет 120 дБ ($> 32!$). Поэтому сдвигаем нормативную характеристику вниз на 8 дБ . Получаем сумму неблагоприятных отклонений 28 дБ , что близко к 32 дБ . На частоте 500 Гц звукоизоляция равна 44 дБ . Значит, индекс изоляции воздушного шума данной конструкции R_w равен 44 дБ .

Таблица 5.6

Параметры	Среднегеометрические частоты 1/3-октавных полос, Гц																
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	Σδ
Расчетная частотная характеристика, дБ	35	35	35	35	35	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55	
Нормативная частотная характеристика, дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56	
Неблагоприятные отклонения δ, дБ		1	4	7	10	13	14	13	12	11	10	9	5	3	1		120
Нормативная кривая, смещенная на 8 дБ	25	28	31	34	37	40	43	44	45	46	47	48	48	48	48	48	
Неблагоприятные отклонения δ, дБ					2	5	6	5	4	3	2	1					28
Индекс изоляции воздушного шума, дБ								44									

Варианты заданий
(для студентов заочной формы обучения определяются
по последней цифре шифра, «нулевому» варианту
соответствует десятый)

ВАРИАНТ 1

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной гипсобетонной перегородкой толщиной 10 см, $\gamma = 1300 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 2

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной силикатобетонной стеной толщиной 16 см, $\gamma = 1900 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 3

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной керамзитобетонной стеной толщиной 16 см, $\gamma = 1200 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 4

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной железобетонной перегородкой в общежитии толщиной 8 см, $\gamma = 2300 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 5

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной шлакопемзобетонной стеной толщиной 18 см, $\gamma = 1700 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 6

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной кирпичной стеной толщиной 12 см, $\gamma = 1600 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 7

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной силикатобетонной перегородкой толщиной 8 см, $\gamma = 1900 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 8

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной гипсобетонной стеной в общежитии толщиной 20 см, $\gamma = 1200 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 9

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной керамзитобетонной перегородкой толщиной 12 см, $\gamma = 1100 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 10

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной газосиликатной стеной толщиной 20 см, $\gamma = 800 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 11

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной шлакопемзобетонной перегородкой толщиной 10 см, $\gamma = 1600 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 12

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной железобетонной стеной толщиной 16 см, $\gamma = 2100 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 13

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной шлакопемзобетонной перегородкой толщиной 12 см, $\gamma = 1700 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 14

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной кирпичной стеной толщиной 25 см, $\gamma = 1600 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 15

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной газосиликатной перегородкой толщиной 10 см, $\gamma = 800 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 16

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной керамзитобетонной стеной толщиной 18 см, $\gamma = 1500 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 17

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной гипсобетонной перегородкой толщиной 12 см, $\gamma = 1200 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 18

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной железобетонной стеной толщиной 18 см, $\gamma = 2200 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 19

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной керамзитобетонной перегородкой толщиной 14 см, $\gamma = 1250 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 20

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной шлакопемзобетонной стеной толщиной 20 см, $\gamma = 1700 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 21

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной газосиликатной стеной толщиной 25 см, $\gamma = 1000 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 22

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной гипсобетонной перегородкой толщиной 14 см, $\gamma = 1100 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 23

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной железобетонной стеной толщиной 20 см, $\gamma = 2400 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 24

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной шлакопемзобетонной перегородкой толщиной 16 см, $\gamma = 1600 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 25

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной силикатобетонной стеной толщиной 18 см, $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 26

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной керамзитобетонной перегородкой толщиной 10 см, $\gamma = 1700 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 27

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной гипсобетонной стеной толщиной 10 см, $\gamma = 1300 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 28

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной газосиликатной перегородкой толщиной 12 см, $\gamma = 1000 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 29

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной шлакопемзобетонной стеной толщиной 15 см, $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 30

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной керамзитобетонной перегородкой толщиной 8 см, $\gamma = 1300 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 31

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной гипсобетонной перегородкой толщиной 12 см, $\gamma = 1300 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 32

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной силикатобетонной стеной толщиной 14 см, $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 33

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной керамзитобетонной стеной толщиной 18 см, $\gamma = 1200 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 34

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной железобетонной перегородкой для общежития толщиной 10 см, $\gamma = 2300 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 35

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной шлакопемзобетонной стеной толщиной 16 см, $\gamma = 1700 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 36

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной кирпичной стеной толщиной 12 см, $\gamma = 1400 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 37

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной силикатобетонной перегородкой толщиной 10 см, $\gamma = 2100 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 38

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной гипсобетонной стеной для общежития толщиной 18 см, $\gamma = 1300 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 39

Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной керамзитобетонной перегородкой толщиной 10 см, $\gamma = 1100 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

ВАРИАНТ 40

Определить индекс изоляции воздушного шума межквартирной силикатобетонной стеной толщиной 18 см, $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$, и установить, отвечает ли она нормативным требованиям.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ

Лабораторная работа № 66 «Определение нормального коэффициента звукопоглощения материала»

Цель работы: исследовать звукопоглощение пористого материала, используемого для снижения звуковой энергии.

Оборудование: установка «Акустическая труба» с компьютерным интерфейсом, позволяющая создавать и исследовать стоячую звуковую волну.

Краткая теория

Процесс распространения колебаний в упругой среде называется волной. При этом от источника колебаний передаются энергия и импульс, а частицы упругой среды совершают только колебательные движения по отношению к положениям равновесия. Механические колебания частиц упругой среды, происходящие с частотой от 20 до 20 000 Гц, выделены в особую область слышимых звуковых колебаний.

Область пространства, в которой происходит распространение колебаний, называют звуковым полем. Физическое состояние среды в звуковом поле (изменение этого состояния, обусловленное наличием волн) характеризуется звуковым давлением p – разностью между мгновенным значением полного давления и средним давлением, которое наблюдается в среде при отсутствии звукового поля. В фазе сжатия давление положительно, а в фазе разрежения – отрицательно.

Длина волны λ – расстояние между двумя ближайшими точками звукового поля, колеблющимися в одинаковых фазах, или расстояние, на которое распространяется волна за время, равное периоду колебаний T :

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f}, \quad (6.1)$$

где c – скорость волны; f – частота колебаний.

Количество энергии, переносимой в единицу времени через единицу площади поверхности, перпендикулярной лучу распространения волны, называется интенсивностью или силой звука. Для свободного звукового поля, в котором звуковые волны приходят только в одном направлении от источника звука, интенсивность звука определяется формулой

$$I = \frac{p^2}{\rho c}, \quad (6.2)$$

где ρ – плотность среды, в которой распространяется волна.

Под громкостью в акустике понимают результат слухового восприятия звука определенной силы, т.е. громкость представляет собой субъективное, физиологическое качество звука, оценка которого зависит от свойств органа слуха.

Порогом болевого ощущения называется граница наиболее сильных звуков, восприятие которых сопровождается болезненным ощущением в ушах. Для частоты 1000 Гц порог соответствует интенсивности 100 Вт/м^2 и звуковому давлению 200 Па.

Порогом слышимости называют границу еле слышимых звуков. Для частоты 1000 Гц порог соответствует силе звука 10^{-12} Вт/м^2 и звуковому давлению $2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$.

Каким же образом орган слуха может выдерживать звуки, например, пушечного выстрела, и наряду с этим слышать шорох, производимый мухой, ползающей по листу бумаги?

Это явление объясняется физиологическим законом Вебера – Фехнера: если величина раздражения, производимого внешней средой на человеческий организм, возрастает в геометрической прогрессии, то ощущения, испытываемые организмом, возрастают в арифметической прогрессии. Трансформируя этот закон в математическую форму, можно сказать, что величина ощущения пропорциональна логарифму от величины раздражения.

Таким образом, минимальное значение интенсивности соответствует «нулевому» ощущению. В соответствии с этим за-

коном была предложена следующая шкала соответствий ощущений и раздражений:

- раздражения – шкала значений сил звука: 10^{-12} , 10^{-11} , ..., 100 Вт/м^2 ;
- ощущения – шкала значений уровней силы звука: 0, 1, ..., 140 дБ.

Между этими двумя шкалами имеется следующая связь:

$$L_I = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0}, \quad (6.3)$$

где $I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$.

Если вместо интенсивности звуков использовать ее связь со звуковым давлением, то

$$L_p = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0} \text{ [дБ]}. \quad (6.4)$$

L_p при этом называется уровнем звукового давления.

Основной акустической характеристикой звукопоглощающих материалов и конструкций является величина коэффициента звукопоглощения.

Если рассматривать процесс перемещения звуковой волны из среды 1 (воздух) через звукопоглощающий материал (з.п.м.), отражение его от твердой поверхности среды 2 и выход снова в среду 1, то можно отметить, что основная доля потери звуковой энергии связана с двойным проходом волны через з.п.м. Количественной характеристикой степени снижения звуковой энергии является коэффициент звукопоглощения (к.з.п.), определяемый формулой

$$\alpha = \frac{E_n - E_e}{E_n}, \quad (6.5)$$

где E_n – падающая звуковая энергия; E_e – вышедшая звуковая энергия.

Измерение коэффициента звукопоглощения при нормальном падении звуковой волны (нормальный к.з.п.) происходит в трубе круглого или квадратного сечения и основано на явлении интерференции. Бегущая звуковая волна падает нормально на з.п.м., проходит через него, отразившись от жесткой стенки, выходит обратно и накладывается на падающую волну. В результате получается стоячая волна, значения амплитуд максимумов и минимумов давления которой определяются степенью поглощения звуковой энергии образцом з.п.м.:

$$p_{\max} = p_n + p_{\epsilon}; \quad p_{\min} = p_n - p_{\epsilon}. \quad (6.6)$$

Таким образом,

$$p_n = (p_{\max} + p_{\min})/2; \quad p_{\epsilon} = (p_{\max} - p_{\min})/2.$$

Согласно (6.2)

$$\frac{E_{\epsilon}}{E_n} = \frac{I_{\epsilon}}{I_n} = \frac{p_{\epsilon}^2}{p_n^2}.$$

Отсюда, используя (6.5), можно получить

$$\alpha = \frac{4}{2 + \frac{p_{\max}}{p_{\min}} + \frac{p_{\min}}{p_{\max}}}. \quad (6.7)$$

Пористыми з.п.м. называются такие материалы, в которых твердая и мягкая компоненты занимают лишь часть объема тела, а остальной объем заполнен воздухом, находящимся в многочисленных порах. Обязательным условием эффективности действия з.п.м. является связь пор каналами между собой и с окружающей средой. Это обстоятельство связано с механизмом поглощения звука в таких материалах: звуковая волна, падающая на поверхность пористого материала, приводит частицы воздуха

внутри пор в колебательное движение. Маленькие поры и каналы создают большое сопротивление движению потока воздуха, поэтому возникают потери, связанные с эффектами вязкости и теплопроводности. Количественной характеристикой з.п.м. является пористость – безразмерная величина, показывающая долю объема сквозных отверстий от общего объема материала. Пористость можно еще определить как отношение площади пор (на поверхности материала) к полной площади поверхности.

Различная форма каналов, их наклон к поверхности з.п.м. оцениваются структурным фактором – величиной, показывающей, во сколько раз плотность воздуха в порах больше плотности воздуха в свободном состоянии.

Потери энергии, вызываемые вязкостью воздуха, оцениваются удельным сопротивлением продуванию (через материал единичной толщины) постоянного потока воздуха. Удельное сопротивление продуванию зависит от размера пор, их формы, плотности среды, перемещающейся по порам, частоты звуковых волн, проходящих через материал.

Описание установки

Схема установки представлена на рисунке ниже. Уровень сигнала с микрофона (3) регистрируется через звуковую карту компьютера с помощью специальной программы и измеряется в дБ. Причем наибольшему уровню сигнала соответствует 0 дБ. В этом случае формулу (6.7) для расчета к.з.п. нужно преобразовать:

$$\alpha = \frac{4}{2 + 10^{0,05|L_{\max cp} - L_{\min cp}|} + 10^{-0,05|L_{\max cp} - L_{\min cp}|}}. \quad (6.8)$$

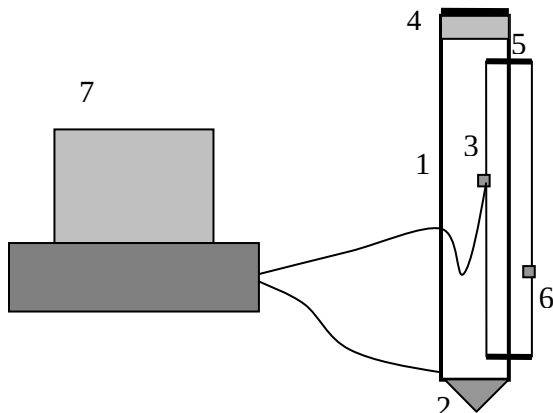


Схема установки:

1 – металлическая труба; 2 – динамик; 3 – перемещаемый микрофон на шнуре; 4 – металлический отражатель; 5 – звукопоглощающий материал; 6 – указатель положения микрофона; 7 – компьютер

Порядок выполнения работы

1. С помощью шнура аккуратно (чтобы избежать запутывания шнура микрофона внутри трубы) установить микрофон в начальное положение (указатель микрофона соответствует минимальному значению наклеенной измерительной шкалы, которая показывает расстояние микрофона от металлического отражателя). Аккуратно погрузить в верхний конец трубы з.п.м. (верхний край материала должен соответствовать краю трубы). Закрыть верхний конец трубы металлическим отражателем.
2. Включить компьютер. Загрузить программу генератора сигналов (SIG-GEN) и программу анализатора спектра (ANALYSER). Ярлыки программ находятся на рабочем столе.
3. Запустить программу анализатора кнопкой «RUN». В программе генератора установить частоту $f_1 = 1000$ Гц, а уровень сигнала 6 дБ. Включить генератор кнопкой «ON». (Если пика сигнала не наблюдается, то необходимо отсо-

единить микрофон от компьютера, перезагрузить компьютер и подключить микрофон).

4. Значение сигнала в пике L (пик отмечен красной точкой на спектре) и его частота показываются в правом нижнем углу окна анализатора спектра. Для анализа спектра также можно использовать программу Winscope, ярлык которой расположен на «Рабочем столе».
5. Медленно увеличивая расстояние микрофона от отражателя, зафиксировать первые два положения, соответствующие максимумам и минимумам уровня сигнала, и значения этих уровней. Данные внести в таблицу.
6. Повторить измерения на частотах 500, 2000 и 500 Гц (на частоте 500 Гц $L_{\max 2}$ и $L_{\min 2}$ измерять не надо во избежание запутывания шнура микрофона).
7. Закрыть программы генератора и анализатора. Отключить компьютер.
8. По формуле (6.8) рассчитать к.з.п. для каждой частоты (при этом в качестве максимальных и минимальных уровней сигнала принять их средние значения по двум измеренным максимумам и минимумам). Заполнить таблицу.
9. Сделать вывод о свойствах частотной характеристики исследуемого з.п.м.

f , Гц	$L_{\min 1}$, дБ	$L_{\min 2}$, дБ	$L_{\min}$ (среднее), дБ	$L_{\max 1}$, дБ	$L_{\max 2}$, дБ	$L_{\max}$ (среднее), дБ	α (к.з.п.)

Контрольные вопросы

1. Что представляют собой звуковые волны? Что такое звуковое давление, интенсивность звука, как они связаны?
2. Что такое уровень силы звука? Уровень звукового давления?
3. Дайте определение нормального коэффициента звукопоглощения материала. Описать способ его определения с помощью акустической трубы.
4. Что такое пористость звукопоглощающего материала, структурный фактор, удельное сопротивление продуванию? Как зависит звукопоглощение от этих характеристик? Какова качественная зависимость звукопоглощения от частоты звука, от чего она зависит?

7. ИЗУЧЕНИЕ СТОЯЧИХ ВОЛН

Лабораторная работа № 68 «Изучение стоячей акустической волны в трубе»

Цель работы: изучить явление резонанса в акустической трубе.

Краткая теория

Волна – распространение колебаний. Если колебания распространяются в одном направлении x , например, звуковая волна в длинной трубе, то такая волна называется плоской бегущей волной. Зависимость звукового давления от времени в каждой точке трубы (уравнение волны) имеет следующий вид:

$$p(x, t) = A \cos \left(2\pi f \cdot t - \frac{2\pi}{\lambda} x \right), \quad (7.1)$$

где f – частота колебаний; λ – длина волны (минимальное расстояние между частицами среды, колеблющимися в одной фазе). При этом скорость распространения волны равна

$$c = \lambda \cdot f. \quad (7.2)$$

Скорость звуковой волны в газе может быть определена по формуле

$$c = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}},$$

где γ – показатель адиабаты; T – термодинамическая температура; R – универсальная газовая постоянная; M – молярная масса.

Для воздуха в комнатных условиях скорость звука равна 340 м/с.

При наложении прямой и отраженной звуковой волны в трубе образуется так называемая стоячая волна. Уравнение

стоячей волны можно получить, складывая уравнения двух бегущих навстречу волн:

$$p(x,t) = A \cos\left(2\pi f \cdot t - \frac{2\pi}{\lambda} x\right) + A \cos\left(2\pi f \cdot t + \frac{2\pi}{\lambda} x\right); \quad (7.3)$$

$$p(x,t) = 2A \cos(2\pi f \cdot t) \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right).$$

Таким образом, в стоячей волне частицы среды в каждой точке колеблются с разными амплитудами. Точки, где амплитуды колебаний максимальны, называют пучностями. Точки, где амплитуды колебаний минимальны, называют узлами. Положение пучностей легко найти, приравняв к нулю последний косинус в выражении (7.3):

$$x_{пучн} = n \frac{\lambda}{2}, \quad (7.4)$$

где n – целое число.

Отсюда следует, что расстояние между пучностями соответствует половине длины волны. В акустической трубе первая пучность соответствует мембране динамика в начале трубы. Амплитуда колебаний в стоячей волне будет максимальна, если на противоположный отражающий конец трубы также будет попадать пучность. В этом случае наблюдается явление резонанса (резкого увеличения амплитуды колебаний при приближении частоты вынуждающей силы – мембраны динамика – к частоте собственных акустических колебаний трубы). То есть колебания будут максимальны при соблюдении условия

$$l = n \frac{\lambda}{2}, \quad (7.5)$$

где l – длина трубы.

Номер n еще называют номером обертона, или гармоника.

Описание установки

Схема установки представлена на рис. 6.1 (см. описание предыдущей лабораторной работы).

Порядок выполнения работы

1. С помощью шнура аккуратно (чтобы избежать запутывания шнура микрофона внутри трубы) установить микрофон в начальное положение (указатель микрофона соответствует минимальному значению наклеенной измерительной шкалы, которая показывает расстояние микрофона от металлического отражателя). Закрыть верхний конец трубы металлическим отражателем.
2. Включить компьютер. Загрузить программу генератора сигналов (SIG-GEN) и программу анализатора спектра (ANALYSER). Ярлыки программ находятся на «Рабочем столе».
3. В программе анализатора надавить кнопку «RUN». В программе генератора установить частоту f_0 , написанную на установке. Надавить кнопку «ON». Если пика сигнала не наблюдается, то необходимо отсоединить микрофон от компьютера, перезагрузить компьютер и подключить микрофон.
4. Значение сигнала в пике L (красная точка на спектре) и его частота показываются в правом нижнем углу окна анализатора спектра. Для анализа спектра также можно использовать программу Winscore, расположенную на рабочем столе.
5. Медленно увеличивая расстояние микрофона x от отражателя, зафиксировать положения первого и третьего (с точностью до 1 мм) максимума уровня сигнала и значение уровня во втором максимуме (обратите внимание, что значение уровня сигнала в программе анализатора спектра отрицательно, т.е. максимуму уровня сигнала соответствует минимальное значение уровня сигнала по модулю). Расстояние между первым и третьим максимумами равно длине волны. Данные внести в таблицу.

f , Гц	x_1 , мм	x_3 , мм	L_2 , дБ	λ , м	c , м/с	c_{cp} , м/с	n

6. Повторить измерения на частотах $f_0 + \Delta f$, $f_0 + 2\Delta f$, $f_0 + 3\Delta f$, $f_0 + 4\Delta f$, Гц (значение Δf приведено на установке).
7. Закрыть программы генератора и анализатора. Отключить компьютер.
8. На рис. 7.2, используя масштабирование, построить зависимость уровня сигнала во втором максимуме от частоты (резонансную кривую). По формуле (7.2) рассчитать значение скорости волны. Из формулы (7.5) определить номер полученной резонансной гармоники (длина трубы приведена на установке). Заполнить таблицу.

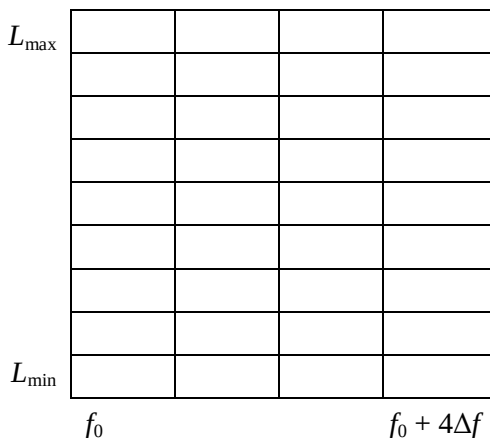


Рис. 7.2

Контрольные вопросы

1. Что представляют собой бегущие волны? Что такое длина волны, частота, скорость звуковой волны?
2. Записать уравнение плоской бегущей монохроматической волны. Показать связь длины волны и частоты.
3. Как образуются стоячие волны? Записать уравнение стоячей волны и формулы для определения узлов и пучностей.
4. Каково оптимальное условие существования стоячей волны в акустической трубе? Что такое резонанс?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев, С. С. Цветоведение для архитекторов : учеб. пособие / С. С. Алексеев, Б. М. Теплов, П. А. Шеварев. – Москва ; Ленинград : ГОНТИ, 1938. – 159 с.
2. Архитектурная физика : учебник для вузов / В. К. Лицкевич [и др.] ; под ред. Н. В. Оболенского. – Москва : Архитектура-С, 2007. – 448 с.
3. ГОСТ 16297-80. Материалы звукоизоляционные и звукопоглощающие. Методы испытаний : взамен ГОСТ 16297-70 ; введ. 01.01.1981. – Москва : Изд-во стандартов, 1988. – 7 с.
4. ГОСТ 26602.4-99. Блоки оконные и дверные. Метод определения общего пропускания света : введ. 01.01.2000. – Москва : ФГУП ЦПП, 2000. – 12 с.
5. ГОСТ 31295.1-2005. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Ч. 1 : Расчет поглощения звука атмосферой : взамен ГОСТ 16297-70 ; введ. 01.01.1981. – Москва : Изд-во стандартов, 1988. – 7 с.
6. ГОСТ 31295.2-2005. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Ч. 2 : Общий метод расчета : взамен ГОСТ 16297-70 ; введ. 01.01.1981. – Москва : Изд-во стандартов, 1988. – 7 с.
7. Гусев, Н. М. Основы строительной физики : учебник / Н. М. Гусев. – Москва : Стройиздат, 1975. – 440 с.
8. Гуторов, М. М. Сборник задач по основам светотехники / М. М. Гуторов. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 128 с.
9. Данилюк, А. М. Расчет естественного освещения помещений / А. М. Данилюк. – Москва : Изд-во строит. лит., 1941. – 137 с.
10. Ковригин, С. Д. Архитектурно-строительная акустика : учеб. пособие / С. Д. Ковригин, С. И. Крышов. – Москва : Высшая школа, 1986. – 256 с.
11. Куприянов, Н. В. Физика среды и ограждающих конструкций : учебник / Н. В. Куприянов. – Москва : Изд-во АСВ, 2015. – 308 с.

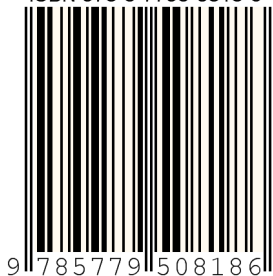
12. Расчет инсоляции, естественного освещения и шума // Руководство пользователя СИТИС: Солярис [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sitis.ru/>
13. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01. Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий : введ. 01.02.2002. – Москва, 2002. – 12 с.
14. Соловьев, А. К. Физика среды : учебник / А. К. Соловьев. – Москва : Изд-во АСВ, 2008. – 344 с.
15. СП 23-102-2003. Естественное освещение жилых и общественных зданий : введ. впервые 18.06.2003. – Москва : ФГУП ЦПП, 2005. – 159 с.
16. СП 23-103-2003. Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий : взамен «Руководства по расчету и проектированию звукоизоляции ограждающих конструкций зданий» : введ. 25.12.2003. – Москва : ФГУП ЦПП, 2004. – 72 с.
17. СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений : актуализир. ред. СНиП 2.07.01-89* : введ. 20.05.2011. – Москва : ОАО «ЦПП», 2010. – 109 с.
18. СП 51.13330.2011. Защита от шума : актуализир. ред. СНиП 23-03-2003 : введ. 20.05.2011. – Москва : ОАО «ЦПП», 2010. – 42 с.
19. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение : актуализир. ред. СНиП 23-05-95 : введ. 11.05.2011. – Москва : ОАО «ЦПП», 2010. – 69 с.

Учебное издание

Матус Евгений Петрович
Соппа Михаил Сергеевич
Мокрушников Павел Валентинович
Кабова Юлия Олеговна

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКЕ

ISBN 978-5-7795-0818-6



9 785779 508186

Учебное пособие

Темплан 2017 г.

Редактор Э.Е. Полякова

Санитарно-эпидемиологическое заключение

№ 54.НС.05.953.П.006252.06.06 от 26.06.2006 г.

Подписано к печати 19.06.2017. Формат 60 × 84 ¹/₁₆ д.л.

Гарнитура Таймс. Бумага офсетная. Ризография.

Объем 4,9 уч.-изд.л.; 5,25 п.л. Тираж 80 экз. Заказ №

Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
630008, Новосибирск, ул. Ленинградская, 113

Отпечатано