

Владимирский государственный университет

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ»**

Владимир 2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ»

Электронное издание



Владимир 2025

ISBN 978-5-9984-2015-3

© ВлГУ, 2025

УДК 614.8
ББК 68.09

Авторы-составители: Е. А. Киндеев, Е. О. Худякова

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры технологии машиностроения
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
А. В. Жданов

Ведущий специалист по охране труда
ООО «Фряновский керамический завод»
Е. К. Мегис

Издается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Лабораторный практикум по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» [Электронный ресурс] / авт.-сост. Е. А. Киндеев, Е. О. Худякова ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2025. – 160 с. – ISBN 978-5-9984-2015-3. – Электрон. дан. (3,26 Мб). – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц ; Windows XP/7/8/10 ; Adobe Reader ; дисковод CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

Подготовлен в соответствии с рабочей программой дисциплины «Безопасность жизнедеятельности», содержит рекомендации по выполнению лабораторных работ по исследованию естественного и искусственного освещения, защиты от шума, запыленности воздуха, от СВЧ-излучения, теплового излучения, микроклимата производственных помещений, защиты от производственной вибрации.

Предназначен для студентов вузов всех направлений подготовки.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Табл. 48. Ил. 32. Библиогр.: 12 назв.

ISBN 978-5-9984-2015-3

© ВлГУ, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Лабораторная работа № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ.....	5
Лабораторная работа № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ.....	31
Лабораторная работа № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА.....	46
Лабораторная работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ШУМОВ НА СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ САНИТАРНЫХ НОРМ И ВЫБОР СПОСОБА ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА	65
Лабораторная работа № 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА	73
Лабораторная работа № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ ОТ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ	82
Лабораторная работа № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ ОТ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	93
Лабораторная работа № 8. ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ	107
Лабораторная работа № 9. ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ВИБРАЦИИ.....	126
Лабораторная работа № 10. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	140
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	154
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	155
ПРИЛОЖЕНИЕ	157

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Безопасность жизнедеятельности» направлена на формирование у студентов не только знаний, умений и навыков, но и на подготовку компетентного специалиста по обеспечению безопасности в повседневной жизни, экстремальных и чрезвычайных ситуациях; на воспитание сознательного и ответственного отношения к вопросам личной и государственной безопасности; получение студентами основополагающих знаний и умений, которые позволят им не только распознавать и оценивать опасные ситуации, факторы риска среды обитания, определять способы защиты от них, но и в первую очередь – предвидеть возможные негативные последствия подобных ситуаций.

В современном мире к опасным и вредным факторам естественного происхождения (повышенная и пониженная температура воздуха, атмосферные осадки, грозовые разряды и др.) прибавились многочисленные факторы антропогенного происхождения (шум, вибрация, электромагнитные поля, ионизирующие излучения и др.), связанные с производственной, хозяйственной и иной деятельностью человека. Существенные изменения качественных характеристик среды развиваются в производственной сфере, являющейся наиболее значимой в трудовой деятельности человека. Определенный прогресс в этой сфере в период научно-технической революции сопровождался и сопровождается в настоящее время ростом числа и повышением уровня опасных и вредных факторов производственной среды.

В книге рассматриваются вопросы безопасного взаимодействия человека со средой обитания (производственной, социальной, природной и др.), защиты от негативных и опасных производственных факторов. Каждая тема сопровождается контрольными вопросами, которые могут быть использованы для проверки усвоения материала студентами.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Цель работы

1. Изучить методы измерения, принципы нормирования и расчета естественной освещенности в производственных помещениях.
2. Исследовать естественную освещенность на рабочих местах и дать ее гигиеническую оценку.

Рационально устроенное освещение на производственном объекте – один из основных факторов, обеспечивающих безопасность производства. Свет служит стимулятором зрительного анализатора и общей работоспособности человека. При недостаточной освещенности и плохом качестве освещения состояние зрительных функций находится на низком исходном уровне, что повышает утомление зрения в процессе выполнения работы и опасность травмирования из-за слабой различимости опасных объектов. Недостаток света вызывает напряжение глаз, затрудняет различение предметов, замедляет темп работы. Освещение имеет большое значение для здоровья и правильной организации труда. Под влиянием светового излучения ускоряются процессы высшей нервной деятельности, повышается общая активность и деятельность дыхательных органов. Благоприятные световые условия оказывают благотворное общее психофизиологическое воздействие на работоспособность и активность человека, а также на качество выполнения работы.

Естественное освещение создается лучами солнца. Проходя через атмосферу Земли, солнечные лучи многократно преломляются в ней, рассеиваются по небосклону и сам небосклон становится источником света.

Человеческий глаз воспринимает электромагнитные волны как свет (в пределах длин волн от 380 до 770 нм). Этот участок спектра электромагнитных колебаний называют видимым. В целом видимая часть спектра воспринимается глазом человека как белый свет. По частотным характеристикам видимое электромагнитное излучение занимает место между ультрафиолетовым и инфракрасным. Отдельные узкие участки этой части спектра различаются длиной волны и вызывают соответствующие ей ощущения различных цветов. Видимые из-

лучения в пределах узких интервалов спектра создают ощущение определенного цвета, плавно переходящего один в другой. Приближенно можно считать, что основные световые полосы спектра лежат в следующих пределах:

- красный – 770 ... 630 нм;
- оранжевый – 630 ... 600 нм;
- желтый – 600 ... 570 нм;
- зеленый – 570 ... 490 нм;
- синий – 490 ... 430 нм;
- фиолетовый – 430 ... 380 нм.

Недостаточное освещение рабочего места затрудняет длительную работу, вызывает повышенное утомление и способствует развитию близорукости. Слишком низкие уровни освещенности вызывают апатию и сонливость, а в некоторых случаях способствуют развитию чувства тревоги. Длительное пребывание в условиях недостаточной освещенности сопровождается снижением интенсивности обмена веществ в организме и ослаблением его реактивности. К таким последствиям приводит длительное пребывание в световой среде с ограниченным спектральным составом света и монотонным режимом освещения.

Естественное освещение – освещение помещений светом неба-свода (прямым или отраженным), проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях. Естественное освещение изменяется с изменением времени в течение года и времени суток в зависимости от погодных и климатических условий как по уровням освещенности, так и по спектральному составу.

Помещения с постоянным пребыванием людей, как правило, должны иметь естественное освещение. Правила гигиены труда требуют максимального использования естественного освещения, так как оно обеспечивает хорошую равномерность освещения и вследствие высокой диффузности (рассеивания) благоприятно действует на зрение.

Сохранность зрения человека, состояние его нервной системы и безопасность на производстве в большой степени зависят от условий освещения. Рациональное освещение рабочих мест создает благоприятные условия труда, способствует повышению качества выпускаемой продукции и производительности труда.

Естественное освещение по устройству бывает: боковое, когда свет проникает в помещение через световые проемы в наружных стенах (окна); верхнее – через световые фонари в кровле или световые проемы в стенах в местах перепада высот здания; комбинированное – сочетание бокового и верхнего освещения (рис. 1.1).

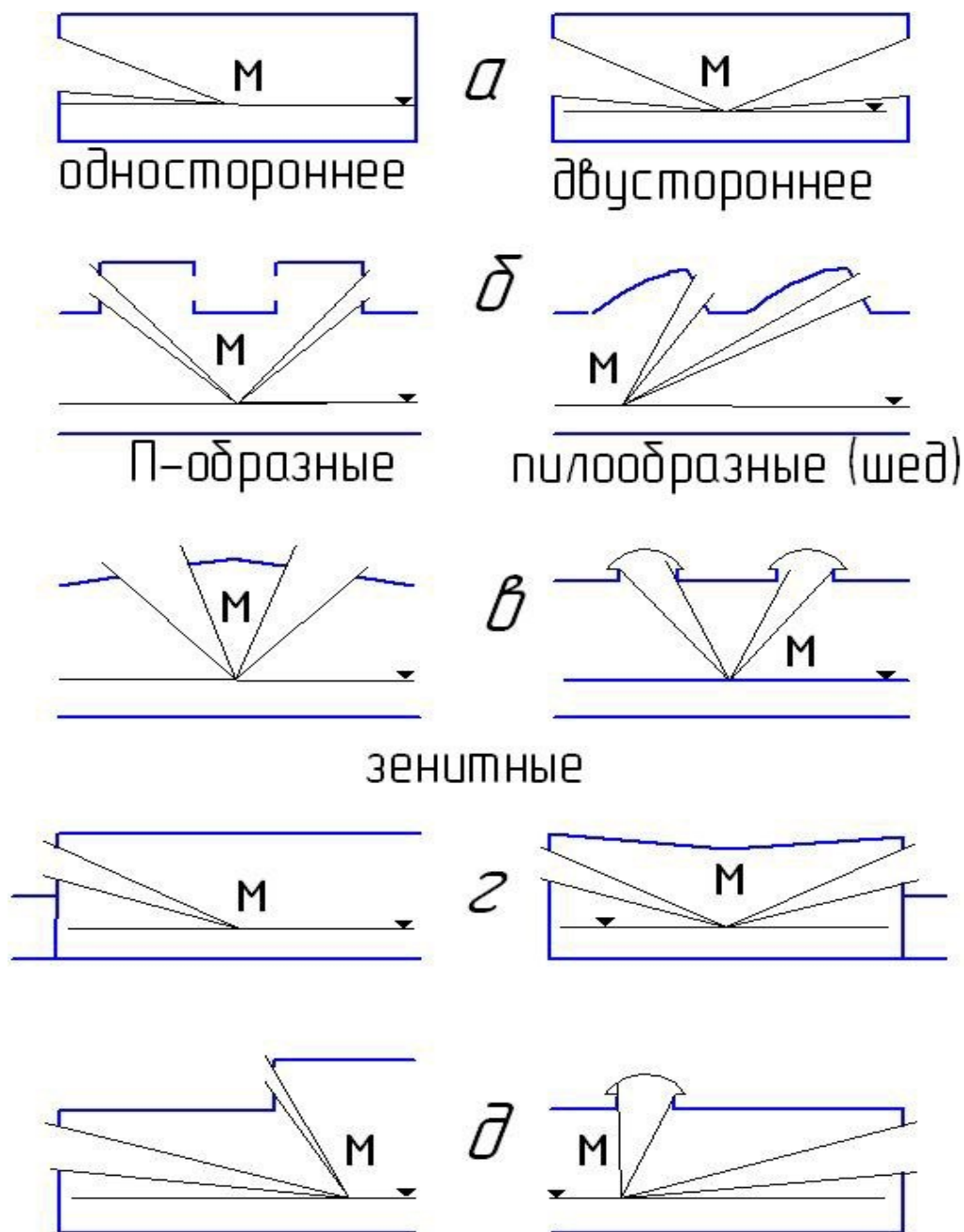


Рис. 1.1. Схемы естественного освещения:
а – боковое освещение; б, в, г – верхнее освещение;
д – комбинированное освещение; ▼ – уровень рабочей поверхности

Классификация типов фонарей приведена на рис. 1.2.

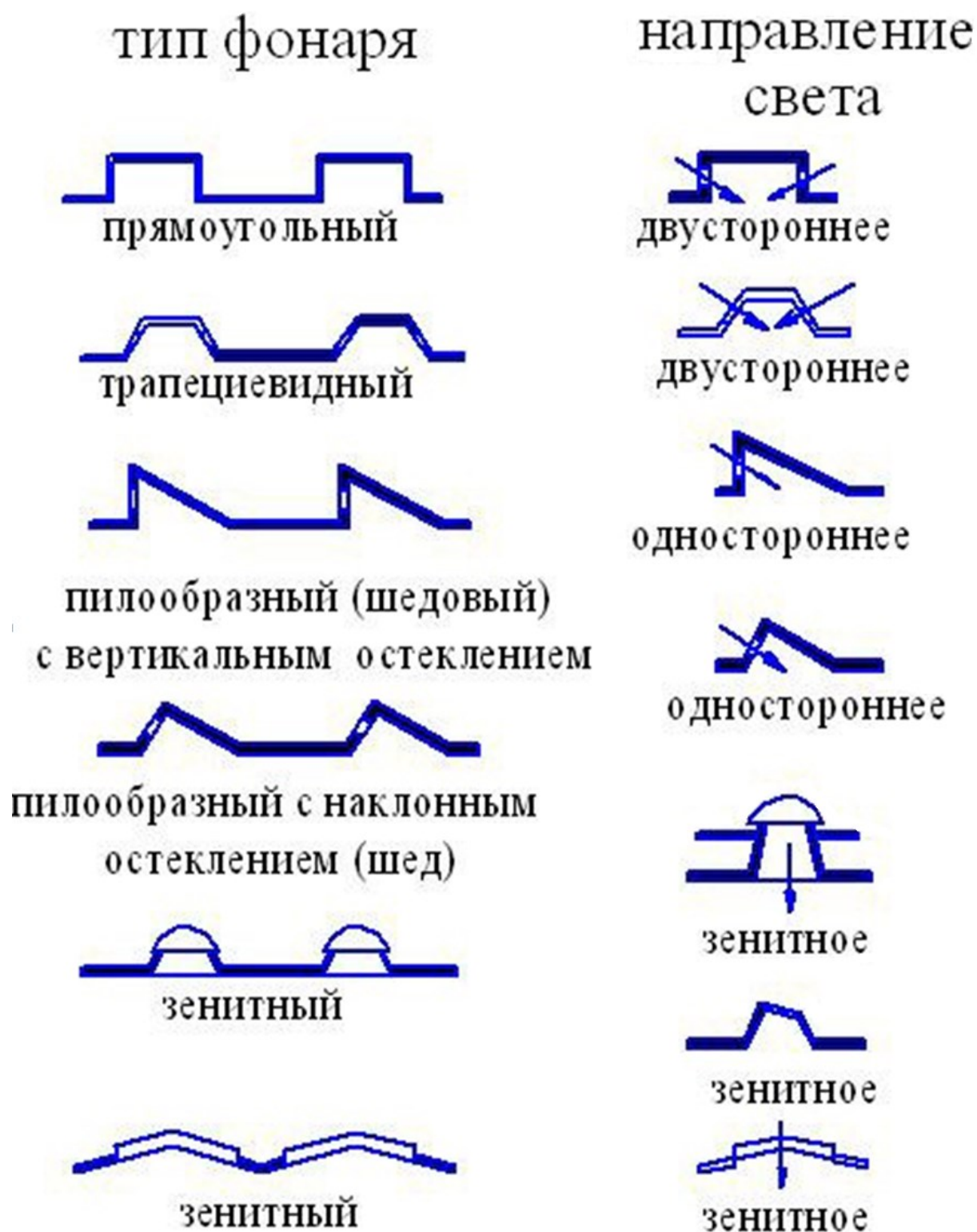


Рис. 1.2. Классификация типов фонарей и направлений света

Одной из основных характеристик видимого (светового) излучения является световой поток Φ , который измеряется в люменах (лм). Световым потоком называют поток лучистой энергии, оцениваемый глазом человека по световому ощущению. Световой поток, падая на рабочую поверхность, освещает ее. Плотность светового потока на освещаемой поверхности характеризуется освещенностью и измеряется в люксах (лк) $E = \frac{d\Phi}{dS}$, где dS – площадь элемента освещаемой поверхности (m^2).

Естественная освещенность непостоянна во времени и зависит от метеорологических факторов, времени дня и года. Для средних широт она колеблется от 600 до 120000 лк, а ночью в полнолуние освещенность составляет 0,2 лк в связи с чем характеризовать естественное освещение абсолютным значением невозможно. Для характеристики освещения принята относительная величина – коэффициент естественной освещенности (КЕО) e , % – отношение естественной освещенности, создаваемой в расчетной точке заданной плоскости внутри помещения светом неба (непосредственным или после отражений), к одновременно измеренному значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода; при этом участие прямого солнечного света в создании той или другой освещенности исключается

$$e = \frac{E_B}{E_H} 100 \%, \quad (1)$$

где E_B – естественная горизонтальная освещенность в заданной точке внутри помещения, лк;

E_H – наружная горизонтальная освещенность, создаваемая светом небосвода вне здания, лк.

Коэффициент естественного освещения показывает, какую долю от одновременной горизонтальной освещенности на открытом месте при диффузном свете небосвода составляет освещенность в рассматриваемой точке производственного помещения, и характеризует способность системы естественного освещения пропускать свет небосвода.

В соответствии со сводом правил (СП 419.1325800.2018) в производственных помещениях с постоянным пребыванием в них людей для работ в дневное время необходимо предусматривать естественное освещение, которое создает наиболее благоприятные санитарно-гигиенические условия для трудовой деятельности человека по сравнению с искусственным освещением.

Естественное освещение регламентируется нормами СП 52.13330.2016. Требуемая освещенность нормируется в соответствии со зрительным напряжением или характером выполняемой зрительной работы.

Разряд зрительной работы определяется минимальным размером объекта различения. Для искусственной освещенности величина нормированного освещения зависит еще от фона и контраста объекта различения с фоном, для нормирования естественной освещенности эти характеристики не учитываются, т. е. разряд зрительной работы устанавливается независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном.

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.

Условная рабочая поверхность – условно принятая горизонтальная поверхность, расположенная на высоте 0,8 м от пола.

В зависимости от степени зрительного напряжения все зрительные работы подразделяются на 8 разрядов и подразряды (табл. 1.1 и 1.2). Условия зрительной работы определяют нормируемый КЕО (e_n).

На величину нормируемой освещенности влияют характеристика (разряд) зрительной работы, которая определяется минимальным размером объекта, и продолжительность зрительной работы (время работы при направлении зрения на рабочую поверхность в процентах от продолжительности всего времени).

Таблица 1.1

Требования к освещению помещений промышленных зданий

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Естественное освещение		Совмещенное освещение	
						$e_n, \%$			
						при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	a	Малый	Темный	—	—	6,0	2,0
			б	Малый Средний	Средний Темный				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный				
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний				
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	II	a	Малый	Темный	—	—	4,2	1,5
			б	Малый	Средний				
				Средний	Темный				
				Малый	Светлый				
			в	Средний	Средний				
				Большой	Темный				
			г	Средний	Светлый				
				Большой	Светлый				
	Большой	Средний							
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	a	Малый	Темный	—	—	3,0	1,2
				Малый	Средний				
			б	Средний	Темный				
			в	Малый	Светлый				
				Средний	Средний				
				Большой	Темный				
			г	Средний	Светлый				
				Большой	Светлый				
	Большой	Средний							

Продолжение табл. 1.1

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Естественное освещение		Совмещенное освещение	
						e _н , %			
						при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
Средней точности	Св.0,5 до 1,0	IV	а	Малый	Темный	4	1,5	2,4	0,9
			б	Малый Средний	Средний Темный				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный				
			г	Средний Большой	Светлый Средний				
Малой точности	Св. 1 до 5	V	а	Малый	Темный	3	1	1,8	0,6
			б	Малый	Средний				
				Средний	Темный				
			в	Малый	Светлый				
				Средний	Средний				
				Большой	Темный				
			г	Средний	Светлый				
				Большой	Светлый				
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI		Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		3	1	1,8	0,6
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 0,5	VII		Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		3	1	1,8	0,6

Окончание табл. 1.1

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Естественное освещение			Совмещенное освещение
						$e_n, \%$			
						при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
Общее наблюдение за ходом производственного процесса: постоянное		VIII	а	Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		3	1	1,8	0,6
периодическое при постоянном пребывании людей в помещении			б			1	0,3	0,7	0,2
периодическое при периодическом пребывании людей в помещении			в			0,7	0,2	0,5	0,2
Общее наблюдение за инженерными коммуникациями			г			0,3	0,1	0,2	0,1

Таблица 1.2

Требования к освещению помещений жилых и общественных зданий

Характеристика зрительной работы	Наименьший эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Относительная продолжительность зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность, %	Естественное освещение e_n , %,	
					при верхнем или комбинированном освещении	при боковом
Различение объектов при фиксированной и нефиксированной линии зрения:						
очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	А	1	Не менее 70	4,0	1,5
			2	Менее 70	3,5	1,2
высокой точности	От 0,30 до 0,50	Б	1	Не менее 70	3,0	1,0
			2	Менее 70	2,5	0,7
средней точности	Более 0,5	В	1	Не менее 70	2,0	0,5
			2	Менее 70	2,0	0,5
Обзор окружающего пространства при очень кратковременном, эпизодическом различении объектов:						
при высокой насыщенности помещений светом	Независимо от размера объекта различения	Г	—	Независимо от продолжительности зрительной работы	3,0	1,0
при нормальной насыщенности помещений светом		Д	—		2,5	0,7
при низкой насыщенности помещений светом		Е	—		2,0	0,5
Общая ориентировка в пространстве интерьера:						
при большом скоплении людей	Независимо от размера объекта различения	Ж	1	Независимо от продолжительности зрительной работы	Не регламентируется	
при малом скоплении людей			2			
Общая ориентировка в зонах передвижения:						
при большом скоплении людей	Независимо от размера объекта различения	З	1	Независимо от продолжительности зрительной работы	Не регламентируется	
при малом скоплении людей			2			

Из анализа табл. 1.1 и 1.2 следует, что для производственных нужд к освещению предъявляются более высокие требования ($e_n = 6\%$ при совмещенном освещении для разряда наивысшей точности), чем для помещений общественных и жилых зданий ($e_n = 4\%$ для работ

очень высокой точности). Для высоких разрядов зрительных работ (1, 2 и 3-го разрядов) в производственных помещениях и при недостаточном по нормам естественном освещении применяется дополнительно искусственное освещение. Такое освещение называется *совмещенным*.

В соответствии с СП 52.13330.2016 территория Российской Федерации зонирована на пять групп административных районов по ресурсам светового климата. Перечень административных районов, входящих в группы обеспеченности естественным светом, приведен в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Перечень административных районов по группам обеспеченности естественным светом

Номер группы административных районов	Административный район
1	Московская, Смоленская, Владимирская, Калужская, Тульская, Рязанская, Нижегородская, Свердловская, Пермская, Челябинская, Курганская, Новосибирская, Кемеровская области, Республика Мордовия, Чувашская Республика, Удмуртская Республика, Республика Башкортостан, Республика Татарстан, Красноярский край (севернее 63° с.ш.), Республика Саха (Якутия) (севернее 63° с.ш.), Чукотский автон. округ, Хабаровский край (севернее 55° с.ш.)
2	Брянская, Курская, Орловская, Белгородская, Воронежская, Липецкая, Тамбовская, Пензенская, Самарская, Ульяновская, Оренбургская, Саратовская, Волгоградская области, Республика Коми, Кабардино-Балкарская Республика, Республика Северная Осетия – Алания, Чеченская Республика, Республика Ингушетия, Ханты-Мансийский автономный округ, Республика Алтай, Красноярский край (южнее 63° с.ш.), Республика Саха (Якутия) (южнее 63° с.ш.), Республика Тыва, Республика Бурятия, Читинская область, Хабаровский край (южнее 55° с.ш.), Магаданская, Сахалинская области
3	Калининградская, Псковская, Новгородская, Тверская, Ярославская, Ивановская, Ленинградская, Вологодская, Костромская, Кировская области, Республика Карелия, Ямало-Ненецкий автономный округ, Ненецкий автономный округ
4	Архангельская, Мурманская области
5	Республика Калмыкия, Ростовская, Астраханская области, Ставропольский край, Краснодарский край, Республика Дагестан, Амурская область, Приморский край

Световой климат – совокупность условий естественного освещения в той или иной местности (освещенность и количество освещения на горизонтальной поверхности и различно ориентированных по сторонам горизонта).

Нормированные значения коэффициента естественной освещенности (КЕО) (e_N) для зданий, располагаемых в различных районах (см. табл. 1.3), следует определять по формуле

$$e_N = e_n m_N, \quad (1.2)$$

где N – номер группы административных районов по обеспеченности естественным светом по табл. 1.3;

e_n – нормируемые значения КЕО (по табл. 1.1 и 1.2);

m_N – коэффициент светового климата (принимается по табл. 1.4).

Полученные по формуле (1.2) значения следует округлять до десятых долей.

Таблица 1.4

Значения коэффициента светового климата m_N

Световые проемы	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта	Номер группы административных районов				
		1	2	3	4	5
В наружных стенах зданий	С	1	0,9	1,1	1,2	0,8
	СВ, СЗ	1	0,9	1,1	1,2	0,8
	З, В	1	0,9	1,1	1,1	0,8
	ЮВ, ЮЗ	1	0,85	1	1,1	0,8
	Ю	1	0,85	1	1,1	0,75
В прямоугольных и трапециевидных фонарях	С-Ю	1	0,9	1,1	1,2	0,75
	СВ-ЮЗ и ЮВ-СЗ	1	0,9	1,2	1,2	0,7
	В-З	1	0,9	1,1	1,2	0,7
В фонарях типа «шед»	С	1	0,9	1,2	1,2	0,7
В зенитных фонарях	–	1	0,9	1,2	1,2	0,75

Примечание: С – северное; СВ – северо-восточное; СЗ – северо-западное; В – восточное; З – западное; С-Ю – север-юг; В-З – восток-запад; Ю – южное; ЮВ – юго-восточное; ЮЗ – юго-западное.

Неравномерность естественного освещения производственных и общественных зданий с верхним или комбинированным освещением не должна превышать 3:1. Расчетное значение КЕО при верхнем и

комбинированном естественном освещении в любой точке на линии пересечения условной рабочей поверхности и плоскости характерного вертикального разреза должно быть не менее нормированного значения КЕО при боковом освещении для работ соответствующих разрядов.

Неравномерность естественного освещения не нормируется для помещений с боковым освещением, для производственных помещений, в которых выполняются зрительные работы VII и VIII разрядов, при верхнем и боковом освещении вспомогательных помещений и помещений общественных зданий, в которых выполняются зрительные работы разрядов Г и Д.

Определение показателей, характеризующих естественное освещение помещений, выполняется методом измерений и расчетными методами.

Освещенность на рабочем месте создается не всем небосводом, а отдельным участком, определяемым световыми проемами, а также отраженным светом от противостоящих объектов (рис. 1.3). Попадая в помещение, свет многократно отражается от стен и потолка (рис. 1.4), чем создается дополнительная освещенность рабочих мест.

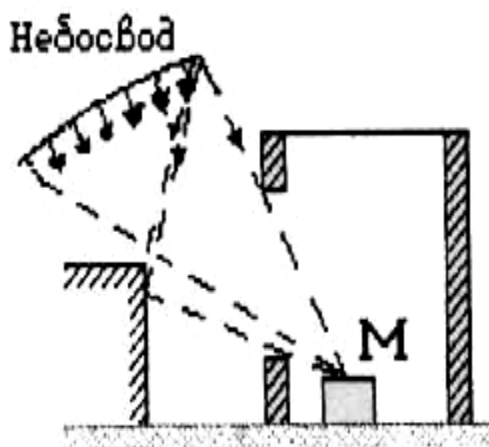


Рис. 1.3. Схема создания освещенности прямым и отраженным от противостоящих зданий светом небосвода

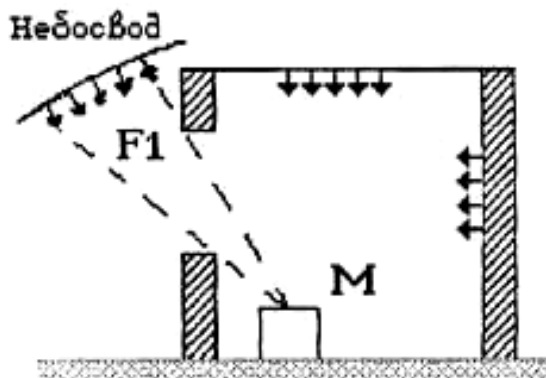


Рис. 1.4. Схема создания освещенности отраженным от внутренних поверхностей помещения светом

Для определения КЕО используются два метода: экспериментальный и графический.

При определении КЕО по первому методу расчет ведется по формуле (1.1), используя измеренные люксметром величины освещенности.

щенности в заданной точке (E_v) и одновременной освещенности в горизонтальной плоскости под всем небосводом (E_n). Этот метод используется для определения или проверки освещенности в существующих производственных помещениях с целью установления их пригодности для того или иного вида работ при сравнении рассчитанного значения КЕО с нормативным.

Для отдельно взятой точки в помещении естественная освещенность определяется на основании вычислений значения коэффициента КЕО по величинам естественной освещенности, измеренной соответственно в требуемой точке внутри помещения и снаружи здания по формуле (1.1).

Для определения естественной освещенности всего помещения нужно определить значение КЕО для нескольких точек в помещении, по значениям которых найти среднее. Контрольные точки для измерения размещают на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности. Первую и последнюю точки принимают на расстоянии одного метра от поверхности наружных стен и внутренних перегородок (или оси колонн). Число контрольных точек должно быть не менее пяти. Первая и последняя точки принимаются на расстоянии одного метра от поверхности стен или перегородок. Средний КЕО определяется по формуле

$$e_{\text{ср}} = \frac{1}{k-1} \left(\frac{e_1}{2} + e_2 + e_3 + \dots + e_{k-1} + \frac{e_k}{2} \right), \quad (1.3)$$

где e_1 и e_k – значения КЕО при верхнем или комбинированном освещении в первой и последней точках характерного разреза помещения; e_i – значения КЕО в остальных точках характерного разреза помещения ($i = 2, 3, \dots, k-1$);

k – количество контрольных точек в плоскости характерного разреза помещения.

При определении коэффициента естественной освещенности проводят одновременные измерения освещенности в контрольных точках внутри помещений E_v и наружной освещенности E_n на горизонтальной площадке, освещаемой всем светом небосвода (например, снаружи на кровле здания или на другом возвышенном месте).

Для измерения КЕО выбирают дни со сплошной равномерной десятибалльной облачностью, покрывающей весь небосвод. Электрический свет в помещениях на период измерений выключается.

При отсутствии экспериментальных данных, например в проектируемых зданиях, КЕО для бокового освещения e_p^b определяется расчетным путем по формуле

$$e_p^b = (\varepsilon_6 q + \varepsilon_{зд} R) r_1 \frac{\tau_0}{K_3}, \quad (1.4)$$

где ε_6 – геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий прямой свет небосвода;

q – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость облачного неба;

$\varepsilon_{зд}$ – геометрический КЕО в расчетной точке, учитывающий свет, отраженный от противостоящих зданий;

R – коэффициент, учитывающий относительную яркость противостоящего здания;

τ_0 – общий коэффициент светопропускания световых проемов;

r_1 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении за счет света, отраженного от поверхности помещения;

K_3 – коэффициент запаса.

Для определения геометрических КЕО ($e_6, e_{зд}$) используется графический метод архитектора А. М. Данилюка с учетом того, что оконные проемы не имеют остекления и переплетов, а внутренние поверхности помещения не отражают света. Сущность этого метода состоит в том, что полусфера небосвода разбита на 100 меридианов и 100 пересекающих их параллелей. В результате на полусфере образуется 10000 площадок равномерного светового потока. Каждая из этих площадок создает освещенность в 10000 раз меньшую, чем освещенность всей полусферы небосвода. Таким образом, если через световой проем здания видна одна площадка небосвода, то создаваемая ею освещенность будет равна 0,0001 освещенности открытого места, а $\varepsilon = 0,01 \%$, если будет видно K площадок, то $\varepsilon = K \cdot 0,01 \%$. В соответствии с этим геометрический коэффициент естественной освещенности, учитывающий прямой свет неба, определяется по формуле $\varepsilon_6 = 0,01(n_1 \cdot n_2)$, где n_1 – количество лучей по графику I, проходящих через световые проемы в расчетную точку на поперечном разрезе помещения (рис. 1.5); n_2 – количество лучей по графику II, проходящих от неба через световые проемы в расчетную точку на плане помещения (рис. 1.6).

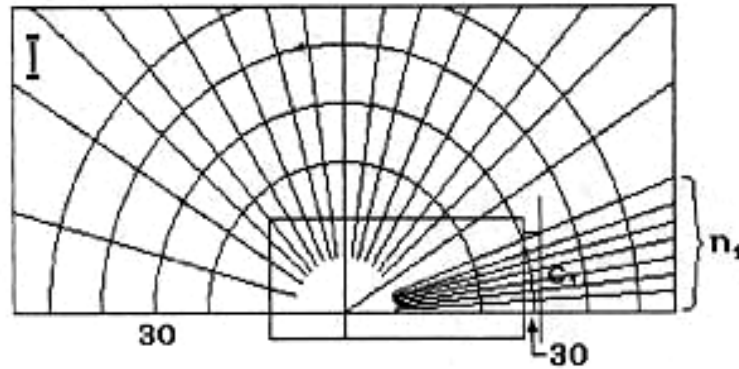


Рис. 1.5. График I

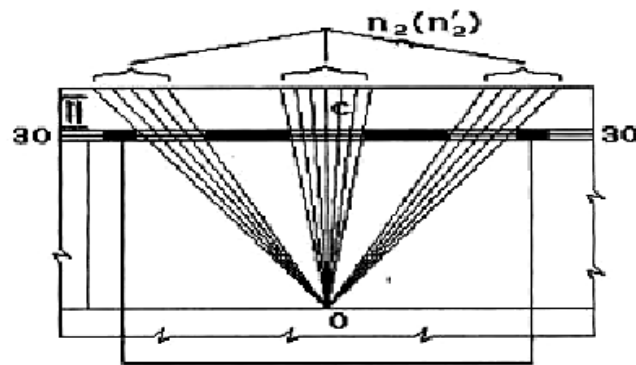


Рис. 1.6. Номер полуокружности по графику II

Геометрический коэффициент естественной освещенности, учитывающий свет, отраженный от противостоящего здания $\varepsilon_{зд}$, определяется по формуле $\varepsilon_{зд} = 0,01(n_1' \cdot n_2')$, где n_1' – количество лучей по графику I, проходящих от противостоящего здания через световой проем в расчетную точку на поперечном разрезе помещения (рис. 1.7); n_2' – количество лучей по графику II, проходящих от противостоящего здания в расчетную точку на плане помещения (см. рис. 1.6).

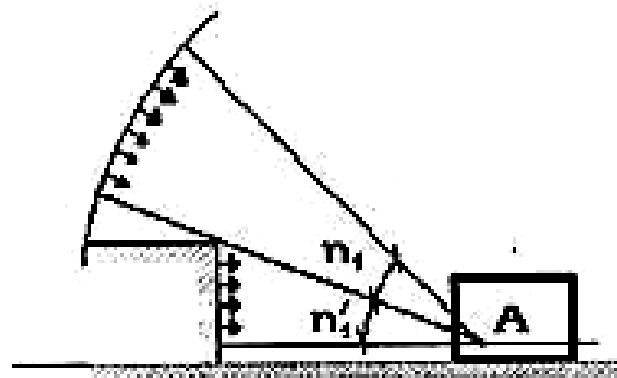


Рис. 1.7. Отраженный от стены свет

Расчет естественного освещения заключается в определении площади световых проемов в помещении и фактического значения КЕО. Исходной величиной для расчета является величина коэффициента естественной освещенности в зависимости от разряда зрительной работы, значение которого совпадает с нормируемым значением этого коэффициента e_n .

При боковом освещении площадь световых проемов S_0 , необходимая для обеспечения нормированного значения КЕО, будет равна

$$S_0 = \frac{e_n \eta_0 S_{\text{п}} K_{\text{зд}} K_3}{100 \cdot \tau_0 r_1}, \quad (1.5)$$

где e_n – нормативное значение КЕО, соответствующее заданному разряду зрительных работ;

$S_{\text{п}}$ – площадь пола;

$K_{\text{зд}}$ – коэффициент, учитывающий затемнение окон противостоящими зданиями;

η_0 – световая характеристика окон;

K_3 – коэффициент запаса;

τ_0 – общий коэффициент светопропускания световых проемов;

r_1 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении за счет света, отраженного от поверхности помещения.

Описание измерительных приборов и методов измерения КЕО

Для получения *экспериментальных значений* освещенности используют люксметр Ю-116 (см. рисунок на планшете лабораторной работы), который состоит из измерителя и отдельного фотоэлемента с насадками. На боковой стенке корпуса измерителя расположена вилка для подсоединения селенового фотоэлемента. При освещении фотоэлемента в цепи, состоящей из фотоэлемента и гальванометра, возникает пропорциональный световому потоку ток, который отклоняет стрелку прибора. Для уменьшения косинусной погрешности применяется насадка на фотоэлемент, выполненная из белой светорассеивающей пластмассы. Насадка обозначена буквой «К» и применяется только совместно с одной из трех других насадок, имеющих обозначения «М», «Р», «Т». Каждая из этих насадок совместно с насадкой «К» образует три поглотителя с коэффициентами ослабления 10, 100, 1000, применяемые для расширения диапазона измерений освещенности.

Принцип отсчета значений освещенности состоит в следующем: при выбранной паре насадок («КТ», «КР», «КМ») или без них против нажатой кнопки определяют наибольшее значение диапазона измерений. При нажатой кнопке, расположенной в правом ряду, отсчет ведут по верхней шкале гальванометра, при этом цифра против нажатой кнопки показывает максимальный предел измерения освещенности в люксах по верхней шкале. При нажатой кнопке, расположенной в левом ряду, отсчет ведется по нижней шкале с учетом значения предела измерений, указанного против нажатой кнопки. Например, на фотоэлементе установлены насадки «КР», нажата соответствующая этой паре насадок левая кнопка, против которой указан предел измерения нижней шкалы – 3000 лк. При отклонении стрелки гальванометра на 10 делений (по нижней шкале 0 – 30) действительное значение измеряемой освещенности будет 1000 лк.

Если при насадках «К», «М» и нажатой левой кнопке стрелка не доходит до пятого деления по шкале 0 – 30, измерения проводятся без насадок, т. е. открытым фотоэлементом. При измерении фотоэлемент освещенности и прибор располагаются *горизонтально*. После проведения измерений отсоединяют фотоэлемент от измерителя люксметра, надевают на него насадку «Т» и укладывают в футляр.

Для *расчета геометрических КЕО* используются графики А. М. Данилюка, выполненные на оргстекле, и схемы помещения лаборатории (разрез и план), выполненные на планшете. Количество лучей по графикам I и II подсчитывается в следующем порядке. График I накладывается на поперечный разрез помещения, центр графика «0» совмещается с заданной преподавателем точкой, а нижняя линия графика – с горизонталью рабочей поверхности (см. рис. 1.7), и подсчитывается количество лучей n_1 и n_1' , проходящих через световые проемы. Далее отмечается номер полуокружности на графике I, которая проходит через точку, совпадающую с центром окна. График II накладывается на план помещения так, чтобы его вертикальная ось проходила через заданную преподавателем точку, а горизонталь, номер которой соответствует номеру полуокружности по графику I, была параллельна оконным проемам и проходила через точку «С» (см. рис. 1.6). Подсчитывается количество лучей n_2 . Лучи, отраженные от противостоящих зданий и проходящие через световой проем, подсчитываются по графику II аналогичным образом (см. рис. 1.6).

Порядок выполнения работы

1. Определение КЕО по экспериментальным данным:

- ознакомиться с устройством и порядком измерения освещенности люксметром Ю-116. При *отключенном искусственном освещении* измерить величины освещенности в лаборатории на уровне 0,8 м от пола на расстоянии 1, 2, 3, 4 и 5 метров от окна соответственно и на рабочем месте на поверхности стола. Измерить наружную освещенность (для этого открыть окно и фотоэлемент вынести на ладони), при этом показания люксметра удваиваются, так как фотоэлемент освещается только половиной небосвода, вторая половина закрыта стеной здания. Данные измерений занести в табл. 1.5;
- рассчитать значения КЕО для каждой из точек помещения по формуле (1.1) и результаты записать в табл. 1.5, построить экспериментальную кривую изменения КЕО от расстояния до оконного проема;
- сравнить полученные данные с требуемыми по СНиП 23-05-95 для данного разряда работ и сделать вывод о состоянии естественного освещения лаборатории;
- определить, можно ли выполнять в лаборатории следующие работы: чертежные (толщина линии 0,3 мм); измерительные (толщина риски измерительного прибора и инструмента 0,15 мм). Полученные выводы записать в отчет.

Таблица 1.5

Исследование освещенности в помещении лаборатории

Точка измерения освещенности	Насадка	Освещенность, лк	КЕО, %
I. Снаружи помещения		$E_n =$	—
II. На расстоянии от окна			
1 м		$E_1 =$	
2 м		$E_2 =$	
3 м		$E_3 =$	
4 м		$E_4 =$	
5 м		$E_5 =$	
На рабочем месте		$E_p =$	

2. Расчет коэффициента естественной освещенности графическим методом в заданной точке:

- используя графики Данилюка, план и разрез лаборатории, определить геометрические КЕО ε_6 и $\varepsilon_{3д}$;
- по формуле (1.4) рассчитать КЕО для бокового освещения (при расчетах принять $R = 0,14$, значение коэффициента q определить по табл. 1.6);
- по СНиП 23-05-95 определить работы, которые можно выполнять в заданной точке;
- сравнить значение КЕО, полученное графическим методом, с расчетным КЕО; сделать вывод о совпадении этих значений или объяснить причины расхождений.

Таблица 1.6

Значения коэффициента q

Угловая высота середины светового проема над рабочей поверхностью, град.	Значение коэффициента	
	в зоне с устойчивым снежным покровом	на остальной территории РФ
18	0,84	0,69
22	0,86	0,75
26	0,90	0,80
30	0,92	0,86
34	0,95	0,91
38	0,98	0,96
42	1,0	1,0

3. Расчет естественной освещенности.

По заданному преподавателем виду работы определить нормируемое значение КЕО и по формуле (1.5) приближенно рассчитать площадь световых проемов, необходимую для обеспечения нормированного значения КЕО. При расчетах τ_0 – общий коэффициент светопропускания проема (в долях единицы) определяются по формуле

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5, \quad (1.6)$$

где τ_1 – коэффициент светопропускания материала, определяемый по табл. 1.7; τ_2 – коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема, определяемый по табл. 1.8; τ_3 – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях при системе верхнего

света (фонари), определяемый по табл. 1.9; τ_4 – коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах, определяемый по табл. 1.10; τ_5 – коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями верхнего света, принимаемый равным 0,9.

Световая характеристика окон (η_0) определяется по табл. 1.11. Площадь пола $S_{\text{п}} = 72 \text{ м}^2$. Коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении за счет света, отраженного от поверхности помещения (r_1), определяется по табл. 1.12. Коэффициент, учитывающий затемнение окон противостоящими зданиями $K_{\text{зд}}$, принимается по табл. 1.13. Значение коэффициента запаса K_z определяется по таблице 10 приложения.

Сделать вывод о пригодности или непригодности лаборатории для выполнения работ заданной точности ($S_{\text{окон лаборатор.}} = 15,6 \text{ м}^2$).

Таблица 1.7

Значения коэффициента τ_1

Вид светопропускающего материала	τ_1
Стекло оконное листовое:	
одинарное	0,9
двойное	0,8
тройное	0,75
Стекло витринное толщиной 6 – 8 мм	0,8
Стекло листовое армированное	0,6
Стекло листовое узорчатое	0,65
Стекло листовое со специальными свойствами:	
солнцезащитное	0,65
контрастное	0,75
Органическое стекло:	
прозрачное	0,9
молочное	0,6
Пустотелые стеклянные блоки:	
светорассеивающие	0,5
светопрозрачные	0,55
Стеклопакеты	0,8

Таблица 1.8

Значения коэффициента τ_2

Вид переплета	τ_2
Переплеты для окон и фонарей промышленных зданий:	
деревянные:	
одинарные	0,75
спаренные	0,7
двойные раздельные	0,6
стальные:	
одинарные открывающиеся	0,75
одинарные глухие	0,9
двойные открывающиеся	0,6
двойные глухие	0,8
Переплеты для окон жилых, общественных и вспомогательных зданий:	
деревянные:	
одинарные	0,8
спаренные	0,75
двойные раздельные	0,65
с тройным остеклением	0,5
металлические:	
одинарные	0,9
спаренные	0,85
двойные раздельные	0,8
с тройным остеклением	0,7
Стекложелезобетонные панели с пустотелыми стеклянными блоками при толщине шва:	
20 мм и менее	0,9
более 20 мм	0,8

Таблица 1.9

Значения коэффициента τ_3

Несущие конструкции покрытий	τ_3
Стальные фермы	0,9
Железобетонные и деревянные фермы и арки	0,8
Балки и рамы сплошные при высоте сечения:	
50 см и более	0,8
менее 50 см	0,9

Таблица 1.10

Значения коэффициента τ_4

Солнцезащитные устройства, изделия и материалы	τ_4
Убирающиеся регулируемые жалюзи и шторы (межстекольные, внутренние, наружные)	1,0
Стационарные жалюзи и экраны с защитным углом не более 45° при расположении пластин жалюзи или экранов под углом 90° к плоскости окна: горизонтальные вертикальные	0,65 0,75
Горизонтальные козырьки: с защитным углом не более 30° с защитным углом от 15° до 45° (многоступенчатые)	0,8 0,9...0,6
Балконы глубиной: до 1,20 м 1,50 м 2,00 м 3,00 м	0,9 0,85 0,78 0,62
Лоджии глубиной: до 1,20 м 1,50 м 2,00 м 3,00 м	0,8 0,7 0,55 0,22

Таблица 1.11

Световая характеристика окон при боковом освещении

Отношение длины помещения l к его глубине B	Значение световой характеристики η_0 при отношении глубины помещения B к его высоте от уровня условной рабочей поверхности окна до верха окна h_1							
	1	1,5	2	3	4	5	7,5	10
4 и более	6,5	7	7,5	8	9	10	11	12,5
3	7,5	8	8,5	9,6	10	11	12,5	14
2	8,5	9	9,5	10,5	11,5	13	15	17
1,5	9,5	10,5	13	15	17	19	21	23
1	11	15	16	18	21	23	26,5	29
0,5	18	23	31	37	45	54	66	—

Таблица 1.12

Коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении за счет света, отраженного от поверхности помещения

B/h	l/B	Средневзвешенный коэффициент отражения пола, стен, потолка $\rho_{\text{ср}}$											
		0,60			0,50			0,45			0,35		
		Отношение длины помещения l к его глубине B											
		0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
1,00	0,10	1,05	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03
1,00	0,50	1,46	1,41	1,31	1,31	1,27	1,20	1,23	1,20	1,14	1,08	1,06	1,03
1,00	0,90	2,32	2,17	1,88	1,89	1,79	1,57	1,68	1,59	1,42	1,25	1,21	1,12
3,00	0,10	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
3,00	0,20	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02
3,00	0,30	1,32	1,29	1,23	1,22	1,20	1,16	1,17	1,16	1,12	1,08	1,07	1,05
3,00	0,40	1,85	1,77	1,59	1,60	1,54	1,41	1,47	1,42	1,32	1,21	1,19	1,14
3,00	0,50	2,51	2,36	2,05	2,06	1,95	1,73	1,84	1,75	1,57	1,38	1,34	1,25
3,00	0,60	3,21	2,98	2,53	2,55	2,39	2,06	2,22	2,09	1,83	1,56	1,50	1,37
3,00	0,70	3,90	3,60	3,00	3,04	2,83	2,40	2,61	2,44	2,09	1,74	1,66	1,49
3,00	0,80	4,60	4,23	3,48	3,53	3,26	2,73	2,99	2,78	2,36	1,92	1,82	1,61
3,00	0,90	5,29	4,85	3,96	4,02	3,70	3,06	3,38	3,12	2,62	2,10	1,98	1,72
5,00	0,10	1,09	1,09	1,09	1,08	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06
5,00	0,20	1,06	1,06	1,06	1,05	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03
5,00	0,30	1,53	1,48	1,38	1,38	1,34	1,27	1,30	1,27	1,22	1,15	1,12	1,10
5,00	0,40	2,45	2,30	2,01	2,02	1,92	1,71	1,81	1,73	1,56	1,39	1,35	1,27
5,00	0,50	3,57	3,31	2,79	2,82	2,63	2,26	2,44	2,29	2,00	1,69	1,62	1,47
5,00	0,60	4,74	4,36	3,60	3,65	3,38	2,83	3,10	2,88	2,45	2,01	1,90	1,20
5,00	0,70	5,92	5,42	4,42	4,48	4,12	3,41	3,76	3,48	2,91	2,32	2,18	1,90
5,00	0,80	7,09	6,47	5,23	5,31	4,87	3,98	4,42	4,07	3,36	2,64	2,46	2,11
5,00	0,90	8,26	7,52	6,04	6,14	5,61	4,56	5,08	4,46	3,81	2,96	2,75	2,32

Примечания: B/h – отношение глубины помещения B к высоте от уровня условной рабочей поверхности до верха окна h ; l/B – отношение расстояния расчётной точки от внутренней поверхности наружной стены l к глубине помещения B .

Таблица 1.13

Коэффициент, учитывающий затемнение окон противостоящими зданиями в зависимости от отношения расстояния между рассматриваемым и противостоящим зданием P к высоте расположения карниза противостоящего здания под подоконником рассматриваемого окна $H_{зд}$

$P/H_{зд}$	$K_{зд}$
0,5	1,7
1	1,4
1,5	1,2
2	1,1
3 и более	1

Таблица 1.14

Коэффициент запаса производственных помещений

Помещения и территории	Примеры помещений	Угол наклона светопропускающего материала к горизонту, град.			
		0 – 15	16 – 46	47 – 75	76 – 90
		K_3 / количество чисток стеклянных светопроемов в год			
Помещения общественных и жилых зданий с нормальными условиями среды	Кабинеты и рабочие помещения, жилые комнаты, учебные помещения, лаборатории, читальные залы, залы совещаний, торговые залы и т. д.	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,4}{2}$	$\frac{1,3}{2}$	$\frac{1,2}{2}$

Отчет о работе должен содержать

1. Краткие сведения об основных светотехнических величинах, системах освещенности и методах определения КЕО.
2. Таблицу экспериментальных измерений освещенности.
3. Расчет КЕО для различных точек помещения.
4. График изменения КЕО в зависимости от расстояния.
5. Расчет КЕО по графикам А. М. Данилюка.
6. Расчет естественной освещенности и определение пригодности лаборатории для выполнения заданной работы.
7. Сравнительный анализ полученных значений КЕО.
8. Оценку освещенности в заданной точке по нормативным документам.
9. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие светотехнические величины и единицы их измерения вам известны?
2. Назовите методы оценки естественной освещенности, область их применения, достоинства и недостатки.
3. Какая величина нормируется при естественной освещенности? От каких основных факторов она зависит?
4. Какие приборы или приспособления используются для определения естественной освещенности?
5. Каково значение насадок «К», «Р», «М», «Т»?
6. Каков порядок измерения освещенности люксметром Ю-116?

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Цель работы

1. Исследование искусственного освещения рабочих мест в производственных помещениях.
2. Изучение принципов нормирования, приборов и методов контроля искусственного освещения.

Рациональное освещение производственных помещений служит важнейшим фактором предупреждения производственного травматизма и профессиональных заболеваний. Правильно организованное освещение создает благоприятные условия труда, повышает работоспособность человека и производительность труда. Сохранность зрения человека, состояние его центральной нервной системы и безопасность на производстве в значительной мере зависят от условий освещения. Нерациональное освещение рабочих мест, напряженная зрительная работа у рабочих ряда профессий могут явиться причиной функциональных зрительных нарушений.

Часть электромагнитного спектра с длинами волн $\lambda = 760 - 400$ нм создает видимое излучение. В пределах видимой части спектра излучения различной длины волн вызывают в органах зрения человека различные световые и цветовые ощущения: от фиолетового ($\lambda = 400$ нм) до красного ($\lambda = 760$ нм) цветов. Наибольшая чувствительность зрения к излучению с длиной волны $\lambda = 555$ нм (желто-зеленый цвет) уменьшается к границам видимого спектра.

Мощность лучистой энергии, оцениваемая по производимому ею световому ощущению, называется *световым потоком* (Φ). Единица измерения – люмен (лм).

Сила света J – отношение светового потока к телесному углу, в котором он излучается. Единица – кандела (кд). Сила света – одна из основных величин в системе СИ

$$J = d\Phi/d\omega.$$

Телесный угол ω – часть пространства, заключенная внутри конической поверхности. Единица – стерadian (ср).

Освещенность E – отношение светового потока к площади, на которую он распространяется. Единица освещенности – люкс (лк)

$$E = d\Phi/dS.$$

Яркость L – отношение силы света в данном направлении к площади проекции излучающей поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению. Единица яркости – кандела на квадратный метр (кд/м²)

$$L = dJ/(dS \cos \alpha).$$

Для оценки условий зрительной работы используют такие характеристики, как объект различения, фон, контраст объекта с фоном.

Объект различения – рассматриваемый предмет, отдельная его часть или дефект, которые требуется различать в процессе работы.

Фон – поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на котором он рассматривается. Характеристика фона определяется величиной коэффициента отражения ρ_f .

Фон считается:

светлым – при $\rho_f > 0,4$;

средним – при $\rho_f = 0,2 - 0,4$;

темным – при $\rho_f < 0,2$.

Контраст объекта различения с фоном K определяется отношением абсолютной величины разности между яркостью объекта L_o и фона L_f к яркости фона

$$K = |L_o - L_f| / L_f.$$

Аналогично можно определить контраст через коэффициенты отражения поверхностей фона ρ_f и объекта ρ_o

$$K = |\rho_o - \rho_f| / \rho_f \quad (2.1)$$

Контраст считается:

большим – при $K > 0,5$;

средним – $K = 0,2 - 0,5$;

малым – $K < 0,2$

В производственных условиях применяются три вида освещения: естественное, искусственное и совмещенное.

Источником естественного освещения является солнце. Условия освещения в помещении определяются в основном диффузным светом небосвода.

Для искусственного освещения в настоящее время применяются лампы накаливания, газоразрядные и светодиодные.

Совмещенное освещение характеризуется одновременным сочетанием естественного и искусственного освещения и применяется, когда естественное освещение не может обеспечить необходимые

условия для выполнения производственных операций. С гигиенической точки зрения использование совмещенного освещения допустимо. Различают следующие системы освещения: общее, местное и комбинированное.

При общем освещении все рабочие места в помещении освещаются от общей осветительной установки, общее освещение может быть равномерным или локализованным.

Общее равномерное освещение следует устраивать в тех случаях, когда однотипные работы выполняются по всей площади помещения при большой плотности рабочих мест, при отсутствии жестких требований к направлению света. Общее локализованное освещение следует устраивать в условиях выполнения различных по характеру работ в разных частях помещения при наличии громоздкого затеняющего оборудования, при необходимости определенного направления света. Комбинированное освещение целесообразно устраивать при работах высокой точности, при необходимости определенного или изменяемого в процессе работы направления света. Применение только местного освещения не допускается, так как вызывает необходимость частой адаптации зрения, создает глубокие и резкие тени, а также опасность травмирования. Частая адаптация вызывает зрительное утомление и снижение работоспособности зрительного аппарата. Необходимо избегать резкой смены яркости во времени и наличия в поле зрения резко различающихся по яркости поверхностей.

По СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования» искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, эвакуационное и охранное. При необходимости часть светильников того или иного вида освещения может использоваться для дежурного освещения. Различают две системы искусственного освещения: общая (равномерного или локализованного освещения) и комбинированная (общая с добавлением местного освещения).

Искусственное рабочее освещение предусматривается для всех помещений производственных, общественных и жилых зданий. Для освещения помещений, как правило, следует использовать газоразрядные лампы низкого и высокого давления (люминесцентные, ДРЛ, металлогалогенные, натриевые). В случае невозможности или технико-экономической нецелесообразности применения газоразрядных источников света допускается использовать лампы накаливания.

Нормальные условия для жизнедеятельности в любое время суток можно создать при помощи электрического искусственного освещения. Существует несколько функциональных видов искусственного освещения: рабочее, аварийное (освещение безопасности и эвакуационное), охранное и дежурное. Все помещения зданий, а также участки открытого пространства, предназначенные для работ, перехода людей или движения транспорта, должны иметь рабочее освещение, обеспечивающее необходимые условия при нормальном режиме работы осветительной установки.

Аварийное освещение разделяют на освещение безопасности и эвакуационное.

Освещение безопасности предусматривается в тех случаях, когда отключение рабочего освещения может вызвать взрыв, пожар, отравление людей, длительное нарушение технологического процесса или нарушение работы объектов, от которых зависит жизнедеятельность населенных пунктов, городов (электрические станции, узлы радио- и телевизионных передач и связи, диспетчерские пункты, насосные установки водоснабжения, канализации и теплофикации, установки вентиляции и кондиционирования воздуха для производственных помещений, в которых недопустимо прекращение работ и т. п.), а также нарушение режима детских учреждений независимо от числа находящихся в них детей.

Эвакуационное освещение предназначено для эвакуации людей из производственных помещений при авариях или отключении рабочего освещения. Оно организуется в опасных для прохода людей местах: на лестничных клетках, вдоль основных проходов производственных помещений, в которых работают более 50 человек. Минимальная освещенность на полу должна составлять в помещениях не менее 0,5 лк, на открытых территориях – не менее 0,2 лк.

Охранное освещение (при отсутствии специальных технических средств охраны) предусматривают вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время. Наименьшая освещенность должна быть не менее 0,5 лк. Для охранного освещения используют любые источники света, за исключением случаев, когда охранное освещение нормально не горит и автоматически включается от действия охранной сигнализации или других технических средств. В таких случаях применяют лампы накаливания.

Для дежурного освещения (освещение в нерабочее время) не нормируются область применения, величины освещенности, равномерность и требования к качеству.

Электрические источники света характеризуются напряжением (вольт), мощностью (ватт), световым потоком (люмен), линейными размерами, а также световой отдачей (люмен/ватт), средним сроком службы, спектральным составом излучения.

Наиболее широко распространены:

- лампы накаливания, которые относятся к источникам света теплового излучения, превращение электрической энергии в свет в них происходит через тепловую энергию путем нагревания нити накала до температуры свечения;
- лампы холодного разряда в газах с люминесцентным излучением.

Лампы накаливания дают непрерывный спектр излучения, более богатый желтыми и красными лучами по сравнению со спектром естественного дневного света. Энергия электрического тока в лампах накаливания, которая расходуется на излучение в видимой части спектра, незначительна (до 10 %).

Разрядные лампы – лампы, в которых свет возникает в результате электрического разряда в газе, парах металлов или в смеси газа с парами. К ним относятся лампы люминесцентные (ЛЛ), дуговые ртутные (ДРЛ), дуговые ртутные с йодидами металлов (ДРИ), ксеноновые и др. Область применения разрядных ламп определяется тем, что они имеют более высокую световую отдачу и продолжительность горения по сравнению с лампами накаливания, а также больший диапазон мощностей при весьма разнообразных спектрах излучения. Разрядным лампам присущ ряд недостатков: определенная сложность включения в электрическую сеть, так как для зажигания разряда в лампе требуется более высокое напряжение, чем для поддержания устойчивого горения. При подключении к сети переменного тока частотой 50 Гц излучаемый лампами световой поток меняется с изменением тока в сети.

Светодиодные лампы работают при температуре окружающей среды от -40 до $+40$ °С в сети постоянного тока с напряжением 12 В. Для их работы в сети переменного тока напряжением до или равным 220 В используют специальные драйверы, которые приводят напря-

жение внешнего питания к нужным для лампы параметрам. Цвет излучаемого света можно подобрать в широком диапазоне: от желтого теплого до голубовато-холодного.

Основные параметры используемых в настоящее время источников света приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Сравнительные характеристики источников света

Вид источника света: лампы	Тип ламп	Мощность, Вт	Напряжение, В	Световая отдача, лм/Вт	Средняя продолжительность горения, ч
Накаливания	НГ, НБ	10 – 1000	220	7 – 14	1000
Галогенные накаливания	КГ, КИ	1000 – 20000	220/380	22	2000
Люминесцентные низкого давления	ЛБ, ЛДЦ, ЛхБ, ЛТБ	15 – 200	220	30 – 75	10000
Ртутные люминесцентные высокого давления	ДРЛ	80 – 20000	220	30 – 75	12000
Дуговые ксеноновые	ДКсТ	5000 – 300000	380	18 – 30	700 (2000)
Натриевые высокого давления	ДНаТ	400 – 700	220	120 – 140	2000
Металлогалогенные газоразрядные	ДРИ	250 – 2000	220	75 – 95	5000
Светодиодные	E14, E27, E40, G4, GU5.3, G13 и др.	2 – 30	12 – 220	70 – 90	50000

Осветительные приборы (светильники) состоят из источника света и арматуры. Источником света служат различные лампы. Арматура выполняет ряд функций: перераспределяет в требуемом направлении световой поток лампы, защищает глаза человека от чрезмерной яркости лампы, предохраняет источник света от механических повреждений и загрязнения, служит для подвода электрического питания и крепления лампы, а также украшает помещение.

Применение открытых ламп недопустимо, так как они в силу большой своей яркости оказывают слепящее действие на глаза человека. Открытая лампа излучает световой поток по всем направлениям, но при этом практически используется только та часть потока, которая падает непосредственно на рабочую поверхность. Светильники позволяют рационально перераспределять световой поток лампы, т. е. увеличивать его использование.

Нормирование освещенности изложено в СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Параметры освещенности зависят от разряда и подразряда зрительной работы, которые, в свою очередь, зависят от размера объекта различения, контраста (малый, средний, большой) объекта с фоном, на котором этот объект рассматривает работник, а также характеристики фона (светлый, средний, темный) и системы освещения (комбинированное или общее).

СНиП 23-05-95 устанавливает нормы освещенности для газоразрядных источников света; в случае применения ламп накаливания (необходимо специальное обоснование) нормативная величина освещенности устанавливается корректировкой норм. В нормах проектирования производственного освещения в СНиП 23-05-95 кроме количественных задаются также и качественные характеристики искусственного освещения: показатели ослепленности и дискомфорта, глубина пульсации освещенности.

Приборы и методика измерений

Для исследования освещенности, создаваемой искусственными источниками света, применяется люксметр типа Ю-116. Принцип действия люксметров основан на явлении фотоэлектрического эффекта. При освещении поверхности селенового фотоэлемента в замкнутой цепи, состоящей из фотоэлемента и магнитоэлектрического измерителя, возникает ток, который отклоняет подвижную часть измерителя – стрелку прибора.

Люксметр Ю-116 предназначен для измерения освещенности, создаваемой лампами накаливания и естественным светом в диапазоне от 5 до 100000 лк.

В лабораторной работе люксметр Ю-116 используется для измерения освещенности, создаваемой лампами накаливания и люминесцентными лампами.

Люксметр Ю-116 состоит из измерителя и отдельного фотоэлемента с насадками. На передней панели измерителя имеются две кнопки переключателя и приведены пределы измерений для используемых насадок. Шкалы прибора – неравномерные, градуированы в люксах: одна шкала имеет 100 делений (начало отсчета от 17-го деления), вторая – 30 делений (начало отсчета от 5-го деления). Начало отсчета обозначено точками. Селеновый фотоэлемент находится в пластмассовом корпусе и присоединяется к измерителю (вилка расположена на боковой стенке корпуса) шнуром с розеткой, обеспечивающей правильную полярность соединения.

Для уменьшения косинусной погрешности применяется насадка на фотоэлемент, состоящая из полусферы, выполненной из белой светорассеивающей пластмассы и непрозрачного пластмассового кольца, имеющего сложный профиль; насадка обозначена буквой К и применяется только совместно с одной из трех других насадок, имеющих обозначение М, Р, Т. Каждая из этих трех насадок совместно с насадкой К образует три поглотителя с коэффициентом ослабления 10, 100, 1000 и применяется для расширения диапазонов измерений.

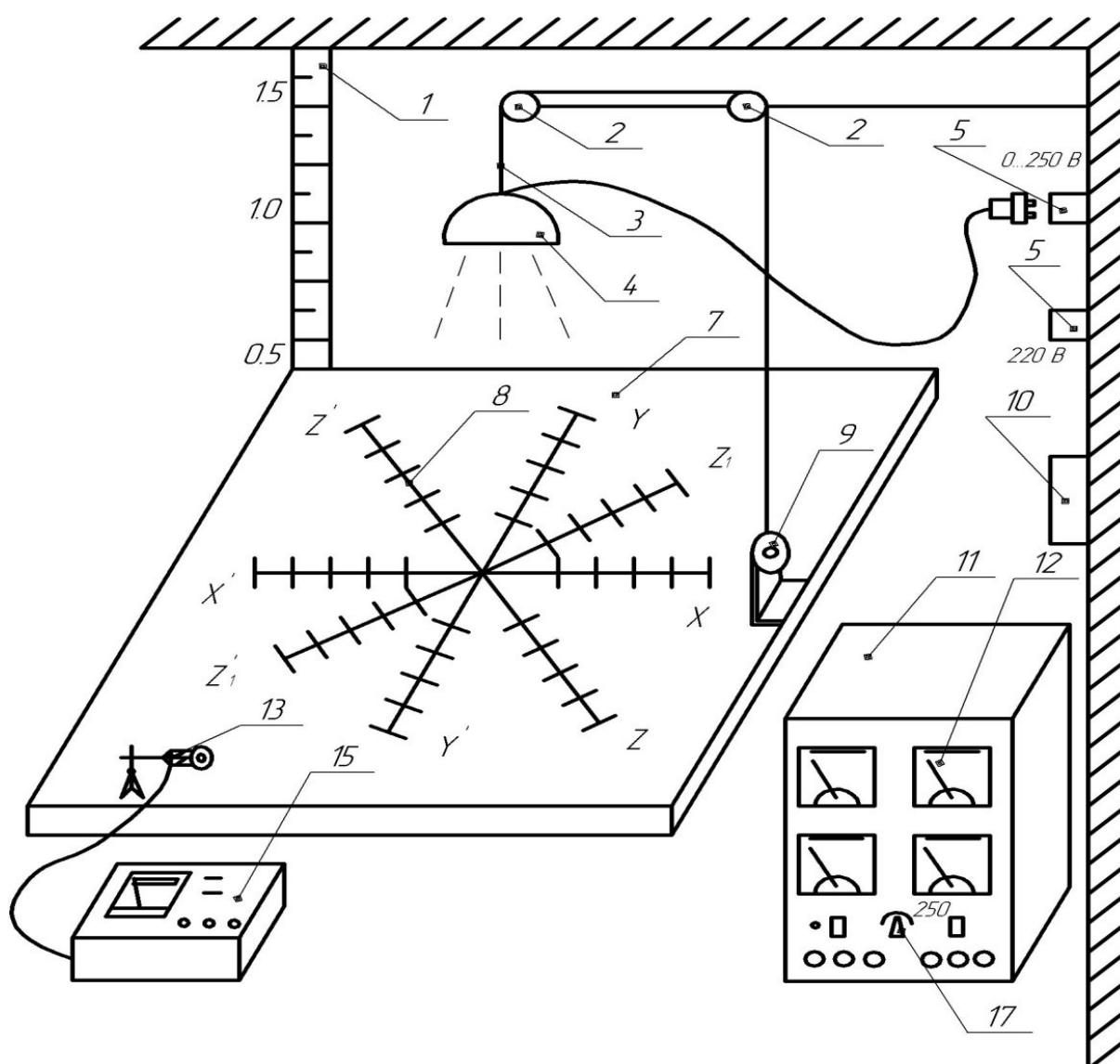
Измерение освещенности. Перед измерением на фотоэлемент, подключенный к измерителю, необходимо установить две насадки К и Т и расположить фотоэлемент в точке измерения. При нажатой правой кнопке на панели измерителя, против которой нанесены наибольшие значения диапазонов измерений, кратные 10, для отсчета показаний следует пользоваться шкалой 0 – 100. При нажатой левой кнопке, против которой нанесены наибольшие значения диапазонов измерений, кратные 30, следует пользоваться шкалой 0 – 30. Показания прибора в делениях по соответствующей шкале умножают на коэффициент расчета шкалы, указанной на поверхности насадок.

При неизвестной освещенности и поиске нужного диапазона последовательно устанавливаются насадки К, Т; К, Р; К, М; при каждой насадке сначала нажимается правая кнопка, затем – левая. При освещенности менее 30 лк измерения проводят без насадок.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (см. рисунок) помещена в изолированное темное помещение и состоит из планшета 7 с нанесенной на нем координатной сеткой 8, электрощита 11, двух люксметров Ю-116 (15)

с фотоэлементом 13. Светильник можно подключить к двум электрическим розеткам, в одной из которых 5 напряжение сети регулируется с помощью регулятора 17, электроцита ЩЭ в пределах от 0 до 250 В, в другой – напряжение сети 220 В. Величина регулируемого напряжения контролируется вольтметром 12. Для крепления и установки угла наклона фотоэлемента применяется специальный кронштейн 18 со шкалой от 0 до 180°. На электроците 10 установлен выключатель освещения комнаты.



Лабораторная установка: 1 – мерная рейка; 2 – блоки; 3 – трос; 4 – исследуемый светильник; 5 – электрическая розетка с напряжением 0 – 250 В; 6 – розетка с напряжением 220 В; 7 – планшет; 8 – координатная сетка; 9 – лебедка; 10 – электроцит; 11 – электроцит ШЭ; 12 – вольтметр; 13 – фотоэлемент люксметра Ю-116; 15 – люксметр Ю-116; 17 – регулятор напряжения; 18 – кронштейн-угломер

Порядок выполнения работы

1. Определение нормативной освещенности рабочего места.

Определите характеристику и разряд зрительной работы по величине объекта различения по табл. 1 СНиП 23-05-95. Величина объекта различения определяется непосредственным измерением или может быть задана преподавателем по табл. 2.2.

Таблица 2.2

Варианты заданий для определения нормативной освещенности

Характеристика	Номер варианта						
	1	2	3	4	5	6	7
Величина объекта различения, мм	0,1	0,25	0,4	0,7	2,0	4,0	6,0
Материал объекта	Сталь полированная	Белая жест	Тушь черная	Алюминий матовый	Белила	Стекло оконное	Оцинкованное железо
Материал фона	Латунь необработанная	Алюминий матовый	Бумага белая	Сталь фрезерованная	Кирпич красный	Линолеум светлый	Штукатурка без побелки

Зная материал или окраску объекта и фона, определите коэффициенты ρ_o и ρ_f . Используя полученные значения ρ_o и ρ_f , определите характеристику фона, рассчитайте по формуле (2.1) величину контраста и дайте его характеристику.

По величине объекта различения, характеристикам фона и контраста определите нормы искусственного освещения для комбинированного и общего освещения люминесцентными лампами и лампами накаливания. Заполните табл. 2.3 и сделайте выводы.

Таблица 2.3

Нормативная освещенность на рабочем месте

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Характеристика фона	Номер искусственного освещения			
						Освещенность люминесцентными лампами, лк		Освещенность лампами накаливания, лк	
						при комб. освещ.	при общем освещ.	при комб. освещ.	при общем освещ.

2. Определение фактической освещенности в лаборатории.

При включенном общем освещении комнаты (выключатель на электрощите 10, см. рисунок) измерьте освещенность в центре рабочего стола, выбрав для этой цели соответствующий люксметр, сравните полученное значение освещенности с нормативным (табл. 2.3) и сделайте вывод о пригодности освещения для установленного класса точности зрительной работы. Заполните табл. 2.4. В темное время суток дополнительно проведите измерения на рабочих столах лаборатории № 407-2 (по заданию преподавателя), результаты занесите в табл. 2.4 и сделайте вывод об освещенности лаборатории.

Таблица 2.4

Результаты измерения искусственного освещения в лаборатории

№ п/п	Точка измерения	Измеренная освещенность	Поправочный коэффициент	Фактическая освещенность	Нормативная освещенность

Примечание: по ГОСТ 12.4.113-82 «Работы учебные лабораторные. Общие требования безопасности» нормативная освещенность на рабочих столах лаборатории составляет 300 лк, на учебной доске в вертикальной плоскости – 500 лк.

Выводы:

3. Исследование влияния отраженного света на освещенность рабочей поверхности.

Подвесьте светильник, заданный преподавателем, на высоте $H = 1$ м и измерьте освещенность на оси X координатной сетки на расстоянии 40 см от центра. На других осях координатной сетки подберите точки такой же равной освещенности и измерьте расстояние по осям. Полученные данные занесите в табл. 2.5. По полученным данным постройте кривую равной освещенности и сделайте вывод о причинах неравномерности освещения рабочей поверхности.

Таблица 2.5

Результаты исследования влияния отраженного света на освещенность рабочей поверхности

№ п/п	Тип светильника	Высота подвеса H , см	Освещенность E , лк	Расстояние от центра до измеряемой точки по осям, см							
				X	Y	Z	X'	Y'	Z'	Z ₁	Z' ₁

Выводы:

4. Исследование освещенности рабочего места в зависимости от напряжения питающей сети.

Подвесьте исследуемый светильник с лампой накаливания на высоте $H = 1,0$ м над рабочей поверхностью и подключите его к розетке 6 (см. рисунок) с регулируемой величиной напряжения U . Измерьте величину освещенности в центре стола при различных напряжениях сети. Величина напряжения устанавливается регулятором 17 электроцита ЩЭ. Полученные данные занесите в табл. 2.6 и постройте график зависимости $E = f(U)$. Сделайте вывод о зависимости. Допускаемые напряжения сети от $U_{\text{ном}} = 220$ В составляют ± 10 %. Сделайте вывод об изменении освещенности при колебаниях сети в допускаемых пределах.

Таблица 2.6

Результаты исследования освещенности в зависимости от напряжения питающей сети

№ п/п	Тип светильника	Освещенность (лк) при напряжении в сети, В										
		150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250

Выводы:

5. Исследование зависимости величины отраженного светового потока от цвета отражающей поверхности.

Подвесьте светильник рассеянного света на высоте $H = 60$ см. Фотоэлемент люксметра установите в центре стола на кронштейн 18 штатива светочувствительной стороной вниз. Положите в центр стола белый экран. Измерьте отраженную освещенность (она должна лежать в пределах 200 – 300 лк, при необходимости получите указанное значение путем изменения высоты подвеса светильника). Не изменяя положения фотоэлемента и высоты подвеса светильника, измерьте отраженную освещенность от экранов, окрашенных в различные цвета. Полученные данные занесите в табл. 2.7, вычислите коэффициенты отражения поверхностей по формуле (2.2)

$$\rho = (E_{\text{образ}}/E_{\text{белый}}) 100 \%. \quad (2.2)$$

Таблица 2.7

Результаты исследования отраженной способности поверхностей, окрашенных в различные цвета

Показатели	Цвет поверхности								
	Белый	Красный	Оранжевый	Желтый	Зеленый	Голубой	Синий	Фиолетовый	Черный
1. Освещенность, лк									
2. Коэффициент отражения, %	–								

Выводы:

Постройте график зависимости освещенности от цвета (спектра) экранов. Сделайте выводы об отражательной способности образцов различного цвета и отражательной способности потолка, стен, оборудования в зависимости от их окраски.

Отключите светильники от сети, люксметры установите в футляры, выключите электропит ШЭ, приведите в порядок рабочее место и на электрощите выключите освещение комнаты.

Отчет о работе должен содержать

1. Описание принципа действия люксметра.
2. Заполненные табл. 2.2 – 2.7 и графики зависимости к ним.
3. Выводы по результатам каждого исследования.

Правила техники безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Приступать к выполнению экспериментальной части лабораторной работы разрешается только после изучения настоящих правил техники безопасности и методических указаний.

2. Перед включением электрических устройств – светильников и электрощитов – проведите внешний осмотр исправности электрической изоляции электропроводов, питающихся от сети 220 В. При обнаружении неисправностей (поврежденной изоляции электрических проводов) немедленно доложите преподавателю.

3. Включать электроустановки можно только с разрешения преподавателя.

4. В случае обнаружения искрения в розетках, на электрощитах, при появлении запаха горячей электропроводки немедленно выключить электрощит и доложить преподавателю.

5. По окончании работы выключить электрощит ШЭ и общее освещение на электрощите.

Контрольные вопросы

1. Как влияет величина освещенности рабочих поверхностей на состояние здоровья человека?

2. Дайте определение основным светотехническим величинам.

3. Какие виды искусственного освещения вы знаете?

4. Объясните принцип нормирования искусственного освещения.

5. Каковы назначение, принцип действия и устройство люксметров?

6. Каков порядок измерения величины освещенности люксметром типа Ю-116?
7. Укажите порядок выполнения лабораторной работы.
8. Как зависит величина освещенности рабочей поверхности от высоты подвеса светильника?
9. Как влияет отраженный от окружающих поверхностей свет на величину освещенности рабочей поверхности?
10. Как выбрать наивыгоднейшую высоту подвеса светильника над рабочей поверхностью?
11. Как зависит освещенность рабочего места от величины напряжения питающей сети?
12. Как зависит величина освещенности от цвета отражающей поверхности?
13. Каковы правила техники безопасности при выполнении лабораторной работы?

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА

Цель работы

1. Изучить способы защиты от производственного шума.
2. Определить эффективность звукоизолирующих перегородок.
3. Определить эффективность облицовки помещения звукопоглощающими покрытиями.

Научно-технический прогресс в различных отраслях народного хозяйства связан с ростом уровня шума на рабочих местах. Например, с ростом единичной мощности оборудования и стремлением к снижению металлоёмкости увеличивается удельная мощность и снижается жесткость конструкции оборудования, что приводит к повышенной вибрации отдельных его частей и, как следствие, к увеличению звуковой мощности.

Постоянное воздействие шума на организм человека приводит к изменению функционирования пищеварительного тракта, нервной системы, сердечно-сосудистой системы, кроме того, шум может вызывать ослабление слуха, а при очень большой интенсивности шума – к полной его потере.

С физической точки зрения звук представляет собой колебания упругой среды: жидкости, твердой среды. Человек может воспринимать звуки частотой 16 – 20000 Гц. Наиболее опасными для человека считаются звуковые колебания средних (5000 – 8000 Гц) и особенно высоких частот. Колебания с частотами ниже 16 Гц называются инфразвуком, а с частотами более 20 кГц – ультразвуком.

Звуки можно характеризовать следующими параметрами: частотой (f , Гц), звуковым давлением (P , Па), интенсивностью (J , Вт/м), причём два последних параметра взаимосвязаны.

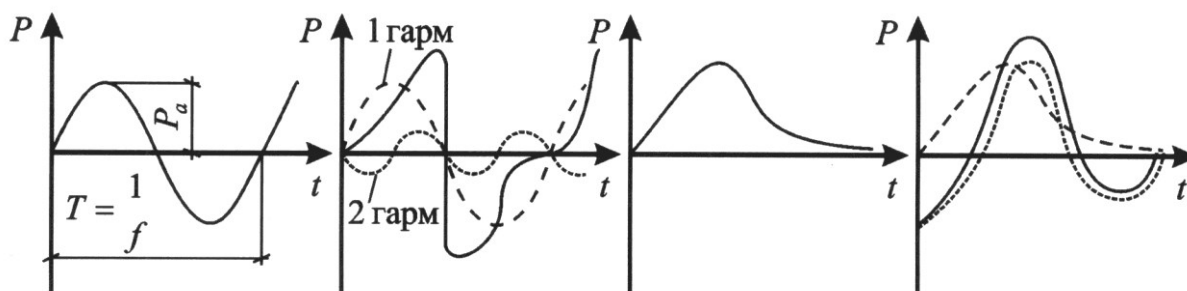
Звуковое давление – это разность между мгновенным значением полного давления и средним давлением среды без звука (чаще всего атмосферным давлением). В связи с тем что ухо человека восприни-

мают звуки в довольно широком диапазоне давления ($2 \cdot 10^{-5} - 20$ Па), для оценки уровня шума вводится понятие уровня звукового давления (рис. 3.1)

$$L_p = 20 \lg \frac{P}{P_0}, \text{ дБ},$$

где $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па – опорное звуковое давление, соответствующее порогу слышимости на частоте 1000 Гц.

Для гигиенической оценки шума и планирования мероприятий по его снижению необходим частотный анализ звуковых колебаний, т. е. важно знать спектр шума. Спектр шума – это амплитудно-частотная характеристика колебательного процесса. Для гармонических колебаний (например, звука, издаваемого камертоном) спектр представлен на рис. 3.1, а. Звуки аккорда музыкального инструмента имеют линейчатый (дискретный) спектр (рис. 3.1, б).



Осциллограммы звукового давления

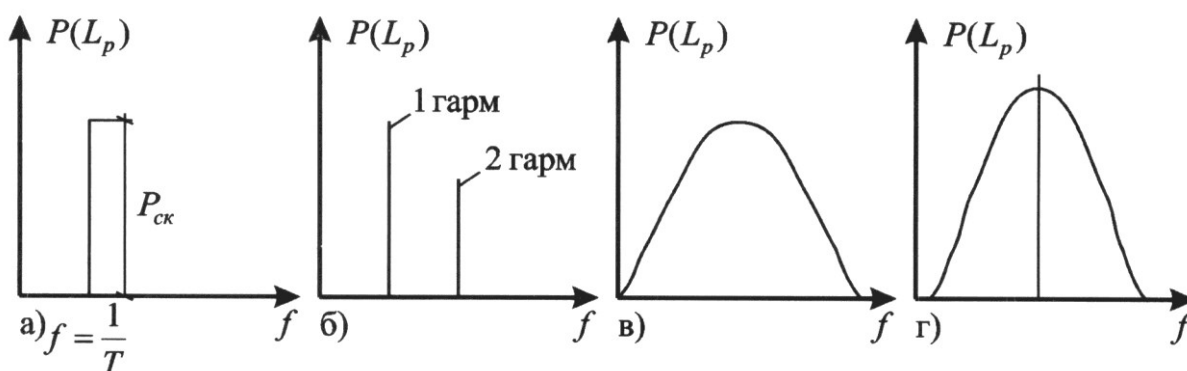


Рис. 3.1. Типы спектров шума: а – гармонический; б – дискретный; в – сплошной; г – смешанный

Шум ударного происхождения имеет сплошной спектр (рис. 3.1, в), так как звуковое давление таких шумов изменяется по апериодическому закону и разлагается в ряд Фурье с бесконечной суммой гармоник, причем чем быстрее затухает звуковое давление, тем шире спектр звуковых колебаний. Механические шумы, характерные для большинства производств, имеют сплошной спектр. На рис. 3.1, г приведен смешанный спектр. Он может возникнуть, если на фоне производственного шума включить сирену.

Узкополосный частотный анализ проводят специальной и уникальной аппаратурой. Для задач охраны труда чаще используется более доступный и простой широкополосный спектральный анализ. Уровни звукового давления измеряются в октавных или третьоктавных полосах частот. Весь частотный диапазон разбивается на полосы, причем верхняя граница одной полосы является нижней границей последующей. Для октавных полос отношение значения верхней границы f_2 к значению нижней границы f_1 равно двум, т. е. $f_2/f_1 = 2$. Для третьоктавной полосы это отношение равно 1,26. В одной октавной полосе укладываются три третьоктавные. Для того чтобы не запоминать два значения граничных частот, вводится понятие среднегеометрической частоты полосы $f_{\text{ср}} = \sqrt{f_1 f_2}$. Значения среднегеометрических частот стандартизированы, и для анализа шума применяются следующие значения: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц.

В соответствии с ГОСТ 12.1.003-83* устанавливаются предельные значения уровня звукового давления в перечисленных октавных полосах частот в зависимости от вида производственной деятельности (предельные спектры ПС). В ряде случаев для гигиенической оценки шума допускается применять интегральные величины – уровень звука L_A или эквивалентный уровень звука $L_{A\text{экв}}$, определение которых ведётся при включении частотной коррекции шумомера «А», дБА; характеристика «А» шумомера приближает частотную характеристику прибора к спектральной чувствительности уха человека. Допустимые значения параметров шума приведены на планшете лабораторного стенда.

Существуют организационные и технические методы снижения шума на рабочих местах. К первым относятся: удаление рабочего места от шумящего оборудования (защита расстоянием); ограничение времени пребывания человека в шумном помещении (защита временем); архитектурно-планировочные методы.

К техническим методам можно отнести ослабление шума в источнике возникновения; звукоизоляцию; звукопоглощение.

Ослабление звука в источнике возникновения можно достичь двумя путями: технологическим (замена клепки сваркой, штамповки – прессованием и т. п.); конструктивным (например, применение глушителей, замена прямозубых передач кривозубыми, замена одного из металлических зубчатых колес пластмассовым и т. п.).

Звукоизоляция – это установка преграды на прямом пути распространения звука от шумящего оборудования к рабочему месту. Этот метод может быть реализован в виде перегородки или стены, звукоизолирующего кожуха, звукоизолирующей кабины, различных экранов. Эффективность звукоизолирующей преграды при проникновении шума извне в помещение может быть определена по следующей эмпирической формуле:

$$\Delta L_{\text{п}} = 20 \lg(Gf) - 47,5, \text{ дБ},$$

где G – поверхностная плотность материала перегородки, кг/м²;
 f – частота, для которой определяется эффективность, Гц.

Как показывает анализ, этот прием предпочтителен тогда, когда необходимо снизить высокочастотный шум. Для низкочастотных составляющих шума звукоизоляция неэффективна.

Звукопоглощение заключается в акустической обработке помещения, в котором стены и потолки покрываются материалом с большим значением коэффициента поглощения звука α . В этом случае шум на рабочем месте снижается за счет уменьшения доли отраженных звуков. Могут применяться и штучные звукопоглотители, выполненные в виде объемных фигур, которые подвешиваются к потолку.

Эффективность облицовки в каждой октавной полосе определяется по формуле

$$\Delta L_0 = 10 \lg \frac{A_2}{A_1}, \text{ дБ},$$

где A_1 и A_2 – суммарное звукопоглощение до и после акустической обработки.

$$A_1 = \alpha_1 S_1,$$

где α_1 – коэффициент звукопоглощения необлицованной поверхности;
 S_1 – площадь поверхности до акустической обработки, м^2 .

$$A_2 = \alpha_2 S_2 + \alpha_1 (S_1 \cdot S_2),$$

где α_2 – коэффициент звукопоглощения облицовочного материала;
 S_2 – площадь обрабатываемой поверхности.

Описание стенда

Лабораторный стенд «Исследование способов защиты от производственного шума» предназначен:

- для исследования параметров производственного шума на соответствие требованиям санитарных норм;
- исследования звукоизолирующих и звукопоглощающих свойств различных материалов;
- исследования способов защиты от производственных шумов средствами коллективной и индивидуальной защиты для оценки их эффективности.

В состав стенда входят:

1. Лабораторная установка – 1 шт.
2. ПЭВМ (далее – ноутбук) с предустановленным программным обеспечением – 1 шт.
3. Шумомер-анализатор спектра – 1 шт.
4. Противошумовые наушники – 2 шт.
5. Звукопоглощающие панели двух комплектов.
6. Звукоизолирующая перегородка – 2 шт.
7. Бокс для хранения сменных обшивок и перегородок.

Акустическая камера лабораторной установки позволяет легко устанавливать и демонтировать панели с шумопоглощающим покрытием. Звукоизолирующие перегородки устанавливаются в специальные пазы непосредственно перед стенкой камеры с динамиком (рис. 3.2). Шумность внутри акустической камеры можно измерить специальным микрофоном, установленным через специальное отверстие в стенке камеры напротив динамика.



а)

б)

*Рис. 3.2. Акустическая камера: а – вид изнутри камеры стенда;
б – установка звукоизолирующей перегородки*

На рис. 3.3 показана насадка, предназначенная для установки на микрофон противошумовых наушников. Сначала в стенд снаружи необходимо ввести микрофон, придерживая его снаружи одной рукой, а второй рукой надеть насадку с предварительно установленным на нее наушником изнутри камеры на микрофон.



*Рис. 3.3. Насадка для установки
на микрофон противошумовых наушников*

На рис. 3.4 изображены установленные на микрофон насадки с исследуемыми наушниками двух типов.

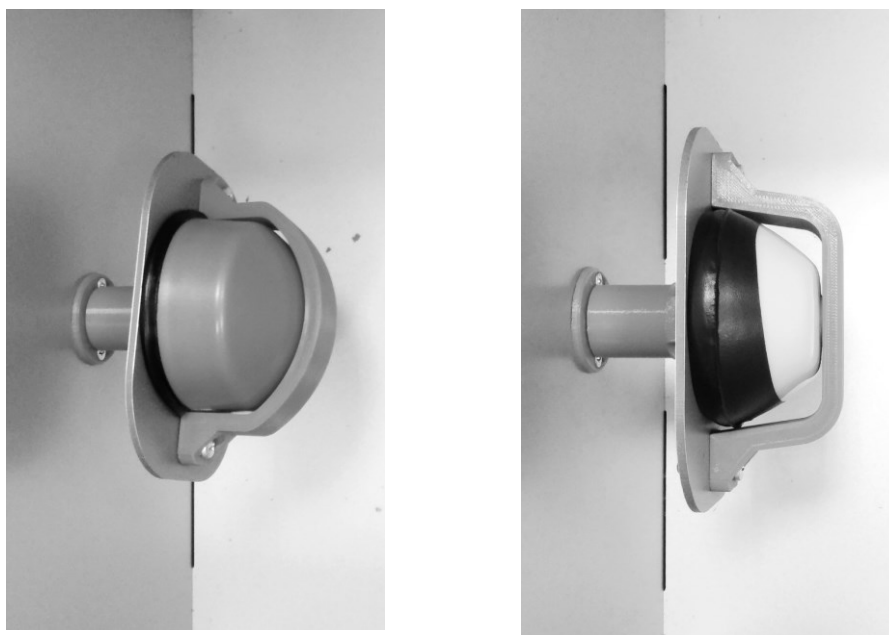


Рис. 3.4. Насадки на микрофон с наушниками двух типов

Для подключения к динамику стенда используется аудиовход. К нему с помощью провода AUX (рис. 3.5) подключаются ноутбук, на котором установлены специализированные программы для шумомера; наборы шумов (папки «Цветные шумы» и «Шумы») и программа «Генератор сигналов» (папка «Generator»). Программа «Генератор сигналов» используется для управления динамиком внутри камеры стенда. Шумомер подключается к ноутбуку с помощью кабеля USB.



Рис. 3.5. Провод AUX

Определение эффективности звукоизолирующих перегородок

Теоретическая часть

Нормативным документом, регламентирующим уровни шума для различных категорий рабочих мест, является ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности». Уровни шума для территорий жилой и производственной застройки и для различных видов помещений регламентируются СН 2.2.4/2.1.8.562-96.

Так, уровни звука не должны превышать:

- в помещениях конструкторских бюро, лабораторий – 50дБ(А);
- в помещениях управления, рабочих компаниях – 60дБ(А);
- в кабинетах дистанционного управления – 65 – 70дБ(А);
- в экспериментальных лабораториях – 75дБ(А);
- на постоянных рабочих местах в производственном помещении – 80дБ(А).

При измерениях микрофон следует располагать на уровне головы человека, подвергающегося воздействию шума. Микрофон должен быть направлен в сторону источника шума и удален на менее чем на 0,5 м от экспериментатора.

Измерение шума на рабочих местах производится при работе не менее 2/3 установленных в помещении единиц технологического оборудования. При этом включаются более мощные источники шума. Измеренные уровни звука в каждой активной полосе частот должны быть ниже нормативных значений. В производственных условиях применяется ориентировочный метод их эксплуатации по ГОСТ 12.1.028-80 «ССБТ. Шум. Определение шумовых характеристик источников шума. Ориентировочный метод».

Методы и средства борьбы с шумом:

- методы снижения шума в источнике его образования;
- методы снижения шума на пути его распространения;
- средства индивидуальной защиты от шума.

Снижение шума в источнике его образования достигается путем конструктивного изменения источника. Это замена возвратно-поступательного движения вращательным, повышение качества балансировки вращающихся деталей, улучшение смазки и класса частоты трущихся поверхностей, замена зубчатых передач червячными или гидравлическими.

Методы снижения шума на пути его распространения включают:

- акустическую обработку помещений;
- изоляцию источников шума;
- изоляцию помещений от шума, проникающего извне;
- применение глушителей шума.

Под акустической обработкой помещений понимается облицовка части внутренних поверхностей ограждений звукопоглощающими материалами, а также размещение в помещении штучных поглотителей – это свободно подвешенные объемные поглощающие тела разной формы. Звукопоглощающие облицовки размещаются на потолке и в верхних частях стен при высоте помещения не более 6 – 8 м таким образом, чтобы акустически обработанная поверхность составляла не менее 60 % площади ограничивающих помещение поверхностей.

Дополнительные штучные поглотители подвешиваются возле источника шума, если площадь помещения мала.

Изоляция источников шума включает такие средства, как звукоизолирующие кожухи, ограждения, экраны. Звукоизолирующие ограждения позволяют изолировать источник шума или помещение от шума, проникающего извне, созданием герметичной преграды на пути распространения воздушного шума для каждой активной полосы частот.

На автоматизированных линиях, там, где невозможно на длительное время изолировать человека от источника шума, устанавливаются звукоизолирующие кабины. Если нет возможности полностью изолировать источник шума или человека с помощью кабин, на пути распространения шума устанавливают акустические экраны. Плоские экраны эффективны в зоне действия прямого звука начиная с частоты 500 Гц. Вогнутые экраны различной формы эффективны также в зоне отраженного звука начиная с частоты 250 Гц. Размеры и местоположение экрана определяются в зависимости от превышения спектра шума в расчетных точках над нормативными значениями.

При заборе и выбросе воздуха в воздуховодах, дизельных, компрессорных установках используются глушители. По принципу действия глушители делятся на глушители активного (диссипативного) типа и реактивного (отражающего) типа. В глушителях активного типа шум снижается за счет превращения звуковой энергии в тепловую в звукопоглощающем материале, размещенном во внутренних поло-

стях. В глушителях реактивного типа шум снижается за счет отражения энергии звуковых волн в системе расширенных и резонансных камер, соединенных между собой и объемом воздуховода с помощью труб и отверстий. Камеры могут быть облицованы внутри звукопоглощающим материалом, тогда в низкочастотной области они работают как отражатели, а в высокочастотной – как поглотители шума (комбинированные глушители). Тип и размеры глушителей подбирают в зависимости от величины требуемого снижения шума с учетом его частоты по табличным данным акустической эффективности.

Еще один метод борьбы с шумом – применение средств индивидуальной защиты:

- вкладыши (беруши) – это вставляемые в слуховой канал мягкие тампоны из ультратонкого волокна, пропитанного смесью воска и парафина или жесткие вкладыши (эбонитовые, резиновые) в форме конуса. Это самые дешевые, но достаточно эффективные средства (снижение шума на 5 – 20 дБ);

- наушники – плотно облегают ушные раковины и удерживаются дугообразной пружиной, особенно эффективны при высоких частотах;

- шлемы – применяются при воздействии шума с уровнями более 120 дБ, когда шум действует непосредственно на мозг человека, а вкладыши и наушники не обеспечивают требуемой защиты.

Исследование эффективности средств звукоизоляции

Звукоизолирующая способность преграды (коэффициент затухания) r равна отношению интенсивностей звука I_1 , падающего на преграду, к интенсивности звука I_2 , прошедшего через преграду:

$$r = I_1/I_2. \quad (3.1)$$

Коэффициент r связан с коэффициентом рассеяния δ и коэффициентом отражения E соотношением, выражающим закон сохранения энергии:

$$\delta + E + r = 1. \quad (3.2)$$

Звукоизоляция R , дБ, – десятикратный логарифм отношения (3.1) и выражается разностью значений интенсивности уровней звука

$$R = 10 \lg(r) = 10 (\lg I_1 - \lg I_2). \quad (3.3)$$

Эта формула справедлива, когда справа и слева от звукоизолирующей преграды находятся два помещения одинакового размера.

Для помещений различного размера

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg(S/A),$$

где L_1 – уровень звукового давления в помещении с источником шума;

L_2 – уровень звукового давления в звукоизолируемом помещении;

S – площадь разделяющей помещения конструкции;

A – эквивалентная площадь звукопоглощения в изолируемом помещении.

Величина звукоизоляции $R_{тр}$ (дБ) ограждающей конструкции в активной полосе при проникновении шума из одного помещения в другое определяется по формуле

$$R_{тр_i} = L_1 - 10 \lg B + 10 \lg S - L_{доп} + 10 \lg n,$$

где L_1 – активный уровень звукового давления в помещении от источников шума, дБ;

B – акустическая постоянная помещения, защищаемого от шума, м²;

S – площадь ограждающей конструкции, м²;

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

n – общее количество ограждающих конструкций.

Характеристика звукоизолирующих конструкций

Звукоизоляция зависит от плотности применяемого в конструкции материала ρ , его модуля упругости E и коэффициента внутренних потерь η .

Основными звукоизолирующими материалами следует назвать алюминиевые сплавы, асбокартон, пробковые плиты, твердую резину, сталь, силикатное стекло, линолеум.

В конструктивном плане различают однослойные и многослойные звукоизолирующие конструкции. При использовании многослойной конструкции можно добиться более высокой звукоизоляции, чем у однослойной стены равной массы.

Характеристика звукоизоляции R некоторых звукоизолирующих конструкций приведена в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Звукоизоляция R строительных конструкций

Конструкция	Среднегеометрические активные полосы частот (Гц)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Стены и перегородки								
Кирпичная кладка, оштукатуренная с двух сторон, 125 мм	30	36	37	40	46	54	57	59
То же, 255 мм	34	41	45	48	56	65	69	72
То же, 360 мм	36	44	43	49	57	66	70	72
Шлакоблок, оштукатуренный с двух сторон, 12 мм	0	27	33	40	50	57	56	59
Стеклоблок, 200 мм	25	30	35	40	49	49	43	45
Панели ДВП, 25 мм	0	0	2	6	6	8	8	10
Панели ДСП, 19 мм	14	17	18	25	30	26	32	38
Фанерный лист, 6 мм	6	0	13	16	21	27	29	33
Дверь фанерная с деревянной обрешеткой между слоями фанеры, 43 мм	9	12	13	14	16	18	24	36
Дверь из сплошного твердого дерева, 43 мм	13	17	21	26	29	31	34	32

Зная уровни звукового давления в исследуемом помещении до и после звукоизолирующего устройства, эффективность звукоизоляции можно определить по формуле

$$\Xi = \frac{L_1 - L_2}{L_1} 100 \%,$$

где L_1 и L_2 – уровень звука (уровень звукового давления) в исследуемом помещении до и после установки звукоизолирующего устройства (перегородки, кожуха и т. д.) соответственно.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с краткой теорией, описанием стенда и рекомендациями по использованию шумомера-анализатора.

2. Установить микрофон шумомера в соответствующее отверстие для анализа шумов в камере стенда (звукоизолирующие перего-

родки, звукопоглощающие покрытия и модели индивидуальных средств защиты не использовать).

3. Подключить шумомер к ноутбуку с помощью кабеля USB, подключить ноутбук к аудиовходу снаружи камеры стенда.

4. Подключить стенд к сети, включить выключатель «Сеть», а также шумомер и запустить программу для анализа шумов, используя ярлык на рабочем столе. Заккрыть камеру стенда.

5. Запустить приложение «Генератор сигналов», используя ярлык на рабочем столе.

6. Установить с помощью программы «Генератор сигналов» значение частоты звукового сигнала 63 Гц, по указанию преподавателя установить значение амплитуды сигнала в программе «Генератор сигналов». Занести в табл. 3.2 значение уровня звука L_1 при данной частоте.

7. Не изменяя значение амплитуды, провести измерения уровня звука L_1 на частотах, указанных в первой строчке табл. 3.2, занося результаты в соответствующие ячейки таблицы.

Таблица 3.2

Результаты исследования звукоизолирующих конструкций

Частота f , Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звука L_1 , дБ								
Уровень звука L_ϕ , дБ								
Уровень звука $L_{\phi c}$, дБ								
Уровень звука L_{n1} , дБ								
Уровень звука L_{n2} , дБ								
Δ_ϕ , %								
$\Delta_{\phi c}$, %								
Δ_{n1} , %								
Δ_{n2} , %								

8. Выключить звук нажатием кнопки «Стоп» в программе «Генератор сигналов». Установить в камеру звукоизолирующую перегородку из фанеры. Заккрыть камеру.

9. Не изменяя значение амплитуды звукового сигнала, установленное в п. 6, произвести измерения уровня звука L_ϕ на частотах, указанных в первой строчке табл. 3.2, занося результаты в соответствующие ячейки таблицы.

10. Выключить звук нажатием кнопки «Стоп» в программе «Генератор сигналов». Установить в камеру звукоизолирующую перегородку из фанеры, обшитой с двух сторон сталью. Заккрыть камеру.

11. Не изменяя значение амплитуды сигнала, установленное в п. 6, провести измерения уровня звука $L_{\text{фс}}$ на частотах, указанных в первой строчке табл. 3.2, занося результаты в соответствующие ячейки таблицы.

12. Выключить звук нажатием кнопки «Стоп» в программе «Генератор сигналов». Убрать звукоизолирующую перегородку, установить на микрофон шумомера модель наушника 1 (см. рис. 3.4). Заккрыть камеру.

13. Не изменяя значение амплитуды сигнала, установленное в п. 6, провести измерения уровня звука $L_{\text{н1}}$ на частотах, указанных в первой строчке табл. 3.2, занося результаты в соответствующие ячейки таблицы.

14. Выключить звук нажатием кнопки «Стоп» в программе «Генератор сигналов». Установить на шумомер модель наушника 2. Заккрыть камеру.

15. Не изменяя значение амплитуды сигнала, установленное в п. 6, выполнить измерения уровня звука $L_{\text{н2}}$ на частотах, указанных в первой строчке табл. 3.2, занося результаты в соответствующие ячейки таблицы.

16. Заккрыть программу «Генератор сигналов»; выключить выключатель «Сеть» и шумомер.

17. Вычислить эффективность звукоизолирующих перегородок покрытий по формулам $\mathcal{E}_{\text{ф}} = \frac{L_1 - L_{\text{ф}}}{L_1} 100 \%$; $\mathcal{E}_{\text{фс}} = \frac{L_1 - L_{\text{фс}}}{L_1} 100 \%$; занести полученные значения в табл. 3.2. Рассчитать эффективность индивидуальных средств защиты по формулам $\mathcal{E}_{\text{н1}} = \frac{L_1 - L_{\text{н1}}}{L_1} 100 \%$; $\mathcal{E}_{\text{н2}} = \frac{L_1 - L_{\text{н2}}}{L_1} 100 \%$; занести полученные данные в табл. 3.2.

18. Построить графики зависимости эффективности звукоизолирующих устройств от частоты $\mathcal{E}_{\text{ф}}(f)$, $\mathcal{E}_{\text{фс}}(f)$, $\mathcal{E}_{\text{н1}}(f)$, $\mathcal{E}_{\text{н2}}(f)$. Провести сравнение результатов замеров уровней звука $L_{\text{ф}}$, $L_{\text{фс}}$, $L_{\text{н1}}$, $L_{\text{н2}}$ (см. табл. 3.2) с допустимыми значениями $L_{\text{доп}}$ по табл. 3.3.

19. Проанализировать полученные результаты, сделать выводы.

Таблица 3.3

Нормативные значения допустимых уровней шума

Нормативный документ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ГОСТ 12.1.003-83	99	92	86	83	80	78	76	74
СН 3223-85	95	87	78	78	75	73	71	69

Определение эффективности облицовки помещения звукопоглощающими покрытиями

Акустическая облицовка помещений производится для уменьшения интенсивности падающих и отраженных звуковых волн в целях снижения шума в помещениях. При отражении звуковой волны от преграды часть звуковой энергии теряется – преобразуется в тепло или проходит сквозь преграду. Потери энергии характеризуются коэффициентом звукопоглощения поверхности $\alpha = \frac{L_{\text{пад}} - L_{\text{отр}}}{L_{\text{пад}}}$, где $L_{\text{пад}}$, $L_{\text{отр}}$ – интенсивности падающей и отраженной звуковых волн.

Звук в помещении поглощается не только на поверхностях, но и в воздушном объеме вследствие теплопроводности воздуха, его вязкости и молекулярной диссипации.

Необходимость применения акустической облицовки помещения для снижения шума выявляется акустическим расчетом. Звукопоглощение следует применять, когда требуемое снижение уровня звукового давления $\Delta L_{\text{тр}}$ в отраженном поле превышает 3 дБ не менее чем в трех активных полосах частот или превышает 5 дБ хотя бы в одной.

Звукопоглощающие облицовки, как правило, размещают на потолке помещения и на верхних частях стен. Для достижения и наилучшего поглощения звука необходимо облицовывать не менее 60 % общей площади ограждающих конструкций помещения. Если стены помещения и перекрытие запроектированы светопрозрачными и площадь свободных поверхностей мала, рекомендуется применять штучные (объемные) звукопоглотители различных конструкций.

Расчет акустических характеристик помещения

Акустическими характеристиками помещения являются:

- акустическая постоянная помещения, V , м²;
- эквивалентная площадь звукопоглощения, A , м²;
- средний коэффициент звукопоглощения, α .

Эквивалентная площадь звукопоглощения A определяется по формуле

$$A = \frac{B \cdot S}{B + S} = \frac{B}{B/S + 1}.$$

где S – суммарная площадь ограждающих поверхностей помещения, м^2 .

Средний коэффициент звукопоглощения α рассчитывается по формуле

$$\alpha = \frac{B}{B + S}.$$

Для уже построенных помещений величину B определяют экспериментально путем измерения времени реверберации (T , с) и последующим вычислением по формуле

$$B = \frac{A}{1 - \alpha},$$

где A – эквивалентная площадь звукопоглощения, определяемая соотношением

$$A = 0,16 \frac{V}{T},$$

где V – объем помещения, м^3 ;

α – средний коэффициент звукопоглощения $\alpha = \frac{A}{S}$, где S – общая суммарная площадь ограждающих поверхностей, м^2 .

Характеристики звукопоглощающих конструкций

Звукопоглощающие облицовки делятся на три группы:

1-я группа – плоские плиты заводской готовности, а также съемные кассеты из перфорированных покрытий со звукопоглощающими слоями из ультратонкого стеклянного и базальтового волокон или минераловатных плит.

2-я группа – объемные звукопоглощающие элементы с повышенным на 50 – 70 % коэффициентом звукопоглощения за счет дифракции звуковых волн и более развитой поверхности звукопоглощения. Известны два типа объемных элементов: однослойные и много-

слойные; многослойный элемент состоит из легкого каркаса из ткани или пленки с сыпучим звукопоглощающим наполнителем.

3-я группа – это формы из объемных элементов, два размера которых значительно превосходят третий, создающие пространственную решетку, которую можно рассматривать как звукопоглощающую систему с распределенными параметрами.

Величину снижения шума в помещении в зоне преобладания отраженного звука при помощи звукопоглощающей облицовки определяют по формуле

$$\Delta L_{\text{обл}} = 10 \lg(B_2/B_1),$$

где B_1 и B_2 – постоянные помещения до и после его акустической обработки.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретической частью и описанием стенда, а также с рекомендациями по использованию шумомера-анализатора.

2. Установить микрофон шумомера в соответствующее отверстие для анализа шумов в камере стенда (звукоизолирующие перегородки, звукопоглощающие покрытия и модели индивидуальных средств защиты не использовать).

3. Подключить шумомер к ноутбуку с помощью кабеля USB, подключить ноутбук к аудиовходу снаружи камеры стенда.

4. Подключить стенд к сети, включить выключатель «Сеть», а также шумомер и запустить программу для анализа шумов, используя ярлык на рабочем столе. Заккрыть камеру стенда.

5. Запустить приложение «Генератор сигналов», используя ярлык на рабочем столе.

6. Установить с помощью программы «Генератор сигналов» значение частоты звукового сигнала 63 Гц; по указанию преподавателя установить значение амплитуды сигнала в программе «Генератор сигналов». Занести в табл. 3.4 значение уровня звука L_1 при данной частоте.

7. Не изменяя значение амплитуды, провести измерения уровня звука L_1 на частотах, указанных в первой строчке табл. 3.4, занося результаты в соответствующие ячейки таблицы.

Таблица 3.4

Результаты исследования звукопоглощающих конструкций

Частота f , Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звука L_1 , дБ								
Уровень звука L_n , дБ								
Уровень звука $L_{пу}$, дБ								
$\alpha_{пп}$, %								
$\alpha_{пу}$, %								

8. Выключить звук нажатием кнопки «Стоп» в программе «Генератор сигналов». Установить в камеру стенда покрытие – панели из звукопоглощающего вспененного пенополиэтилена. Заккрыть камеру.

9. Не изменяя значение амплитуды сигнала, установленное в пункте 6, произвести измерения уровня звука $L_{пп}$ на частотах, указанных в первой строчке табл. 3.4, занося результаты в соответствующие ячейки таблицы.

10. Выключить звук нажатием кнопки «Стоп» в программе «Генератор сигналов». Установить в камеру стенда покрытие – панели из акустического поролона. Заккрыть камеру.

11. Не изменяя значение амплитуды сигнала, установленное в п. 6, выполнить измерения уровня звука $L_{па}$ на частотах, указанных в первой строчке табл. 3.4, занося результаты в соответствующие ячейки таблицы.

12. Закрывать программу «Генератор сигналов»; выключить выключатель «Сеть» и шумомер.

13. Вычислить эффективность звукопоглощающих покрытий по формулам $\alpha_{\text{пп}} = \frac{L_1 - L_{\text{пп}}}{L_1} 100 \%$, $\alpha_{\text{па}} = \frac{L_1 - L_{\text{па}}}{L_1} 100 \%$; занести полученные значения в табл. 3.4.

14. Построить графики зависимости эффективности звукопоглощающих покрытий от частоты $\alpha_{\text{пп}}(f)$, $\alpha_{\text{пу}}(f)$. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы об эффективности звукопоглощения.

Контрольные вопросы

1. Какие основные методы и средства борьбы с шумом вы можете назвать?

2. Какие существуют методы снижения шума на пути его распространения? Опишите их.

3. Что такое звукоизолирующая способность преграды (коэффициент затухания)?

4. Запишите формулу, связывающую коэффициент затухания с коэффициентом рассеяния и коэффициентом отражения.

5. По каким формулам можно вычислить значение звукоизоляции R ?

6. По какой формуле можно рассчитать коэффициент звукопоглощения поверхности?

7. На какие группы делятся звукопоглощающие облицовки?

8. Какие акустические характеристики помещения вам известны?

9. По какой формуле можно вычислить эффективность звукопоглощающего покрытия помещения?

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ШУМОВ НА СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ САНИТАРНЫХ НОРМ И ВЫБОР СПОСОБА ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА

Цель работы: исследование производственных шумов на соответствие требованиям санитарных норм и выбор способа защиты от шума.

Теоретическая часть

В качестве звука мы воспринимаем упругие колебания среды – газа, жидкости или твердого тела, распространяющиеся волнообразно в воздухе. Упругие колебания в частотном диапазоне, воспринимаемом органами слуха человека, распространяющиеся в виде волн в газообразных средах или образующие в ограниченных областях этих сред стоячие волны, представляют собой шум. Звуки, распространяющиеся в воздухе, вызывают воздушный шум. При колебаниях, распространяющихся в твердых телах, возникает структурный шум. В твердых телах, имеющих конечные размеры, колебательный процесс проявляется в форме вибрации.

Процесс возникновения воздушного звука механического происхождения упрощенно можно представить с помощью колебания механического стержня. Если незажатый конец стержня отклонить от положения равновесия и отпустить, он начнет совершать колебательные движения. Эти колебания вызовут смещение прилегающих к стержню частиц воздуха. Воздух является упругой средой, поэтому смещенные частицы под влиянием упругости будут снова возвращаться в свое исходное состояние, образуя при этом зоны уплотнения и разрежения с различной величиной давления. Такие уплотнения и разрежения последовательно от частицы к частице распространяются в воздушной среде с определенной скоростью от источника возбуждения в виде звуковых волн. Скорость распространения звука в воздухе при температуре 20 °С и нормальном атмосферном давлении равна 344 м/с.

Достигнув барабанной перепонки уха, звуковая волна вызывает ее колебания. Далее эти колебания воспринимаются слуховыми органами и передаются в слуховые центры головного мозга, где создают ощущение звука.

Характер шума зависит от вида его источника. Шум можно подразделить:

а) на механический, возникающий в результате движения отдельных деталей и узлов машины (особенно значительный при неисправности механизмов или механизмов с неуравновешенными массами и т. д.), например, работающие металлообрабатывающие станки;

б) ударный, возникающий при некоторых технологических процессах: ковке, штамповке, клепке;

в) аэродинамический и гидродинамический, возникающий при больших скоростях движения газов и жидкости, например шум газовых струй реактивных двигателей, шум, возникающий при всасывании воздуха компрессорными установками, и др.

Основные физические характеристики звука: частота f (Гц), звуковое давление P (Па), интенсивность, или сила, звука I (Вт/м²).

Частота – одна из основных характеристик, по которой мы различаем звук. Частота колебаний – это число полных колебаний за одну секунду. Частота колебаний, вызывающих слуховое ощущение звука, находится в пределах от 16 до 20 000 Гц. Ухо человека наиболее чувствительно к звукам частотой от 1000 до 3000 Гц. Наибольшая острота слуха наблюдается в возрасте 15 – 20 лет. С возрастом слух ухудшается. Колебания с частотой за пределами слышимого звука (инфразвук и ультразвук) не вызывают слуховых ощущений, но оказывают биологическое воздействие на организм человека.

Звуковое давление P (Па) – это разность между мгновенным значением давления в среде, возникающим при распространении звуковой волны, и атмосферным давлением (т. е. давление, дополнительно возникающее в среде при распространении звуковой волны, – положительное в местах сжатия и отрицательное в местах разрежения воздуха).

Распространение звуковой волны сопровождается переносом энергии. Интенсивностью звука I называется количество звуковой энергии, проходящее в единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярную к направлению распространения звуковой волны:

$$I = \frac{P^2}{\rho c},$$

где P – мгновенное значение звукового давления, Па;

ρ – плотность среды, кг/м³;

c – скорость распространения звуковой волны, м/с;

ρc – удельное акустическое сопротивление среды (волновое сопротивление), Н · с/м³.

Минимальная интенсивность звука, которая воспринимается ухом, называется порогом слышимости. В качестве стандартной частоты сравнения принята частота 1000 Гц. При этой частоте порог слышимости $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м², а соответствующее ему звуковое давление $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па. Максимальная интенсивность звука, при которой орган слуха начинает испытывать болевое ощущение, называется порогом болевого ощущения, равным 10^2 Вт/м², а соответствующее ему звуковое давление $P = 2 \cdot 10^2$ Па. Между порогом слышимости и болевым порогом лежит область слышимости.

Ухо человека реагирует не на абсолютное, а на относительное изменение интенсивности звука. При этом ощущения человека пропорциональны логарифму количества энергии шума. Поэтому на практике для характеристики шума принято оценивать звуковое давление и интенсивность звука не в абсолютных, а в относительных единицах – белах (Б). Измеренные таким образом величины называются уровнями. Так как орган слуха человека способен различать изменения уровня интенсивности звука на 0,1 Б, то для практического использования применяется единица в 10 раз меньше – децибел (дБ).

Уровень звукового давления – выраженное в логарифмических единицах отношение среднего квадратического значения звукового давления в определенной полосе частот к стандартизованному исходному значению звукового давления (порогу слышимости)

$$L = 20 \lg \frac{P}{P_0}, \text{ дБ},$$

где L – уровень звукового давления, дБ;

P – среднее квадратическое значение звукового давления в определенной полосе частот, Па;

$P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ – исходное значение звукового давления в воздухе, Па.

Уровень интенсивности звука определяется по формуле:

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0}, \text{ дБ},$$

где I – интенсивность звука, Вт/м²;

$I_0 = 10^{-12}$ – интенсивность звука, соответствующая порогу слышимости, Вт/м².

Таким образом, все воспринимаемые человеческим ухом звуки можно оценить уровнями от 0 до 140 дБ. На практике обычно производят вычисления уровней до целых чисел, так как изменения уровня звукового давления менее чем на 1 дБ слухом не воспринимаются. Уровни звукового давления некоторых источников шума приведены в табл. 4.1. При уровне шума выше 80 дБ становится трудно разговаривать, уровень шума 120 дБ вызывает ощущение давления в ушах, при 130 – 140 дБ шум создает болевое ощущение, при 160 дБ и выше происходит механическое повреждение органов слуха и внутренних органов, при уровнях шума порядка 180 дБ начинают разрушаться металлические соединения (заклепочные и сварочные швы).

Таблица 4.1

Характеристики источников шума

Источники звуков и звуковые пороги	Уровень звукового давления, дБ
Порог слышимости	0
Шелест листвы	10 – 20
Шепот на расстоянии 1 м	30 – 40
Тихая речь	50 – 60
Шум при работе токарного станка	70 – 80
Шум при работе пневматического инструмента	110 – 120
Шум реактивного двигателя на расстоянии 1 м от сопла	Более 140
Порог болевого ощущения	140

Основой нормирования шума является ограничение звуковой энергии, воздействующей на человека, значениями, безопасными для его здоровья и работоспособности. Параметры шума регламентируют следующие нормативные документы:

1. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

Слуховой аппарат человека обладает неодинаковой чувствительностью к звукам различной частоты: наибольшей чувствительностью на средних и высоких частотах (800 – 4000 Гц) и наименьшей – на низких (20 – 100 Гц). Одинаковые по интенсивности, но разные по частоте звуки воспринимаются как звуки разной громкости. Поэтому

для физиологической оценки шума используются кривые равной громкости, позволяющие судить о том, какой звук субъективно сильнее или слабее, и вводится понятие уровня громкости звука. Каждая кривая представляет собой геометрическое место точек, координаты которых – частота и интенсивность звука – обеспечивают одинаковую слышимость (рис. 4.1).

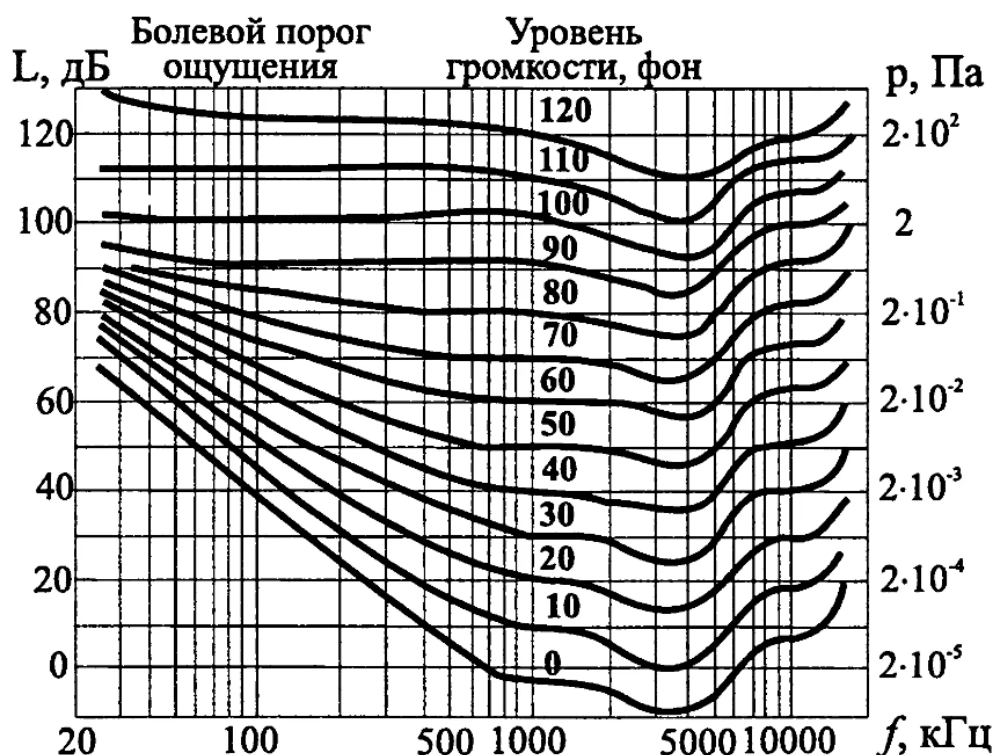


Рис. 4.1. Кривые равной громкости

Для того чтобы приблизить результаты объективных измерений к субъективному восприятию, при измерении шума используют скорректированный уровень звукового давления (уровень интенсивности). Коррекция заключается в том, что вводятся зависящие от частоты звука поправки к уровню соответствующей величины (путем коррекции частотной характеристики шумомера). В качестве международного стандарта приняты шкалы типа А, В и С – так называемые кривые «взвешивания». Наибольшее распространение получило «взвешивание» по шкале А, которое лучше всего соответствует субъективной экспертной оценке звука (иногда используется термин «отношение к А фильтру»). В этих случаях в качестве единицы измерения частот используется децибел А дБА, или дБ(А).

Уровень звука – выраженное в логарифмических единицах отношение среднего квадратического значения звукового давления, скорректированного по стандартизированной частотной характеристике «А», к стандартизованному исходному значению звукового давления; измеряется в децибелах по частотной характеристике «А» (дБА) и определяется по формуле

$$L = 20 \lg \frac{P_A}{P_0},$$

где L – уровень звука, дБА;

P_A – среднее квадратическое значение звукового давления с учетом коррекции «А», Па;

$P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ – исходное значение звукового давления в воздухе, Па.

Спектр большинства шумов содержит звуки с частотой до 10 000 Гц, поэтому нормирование осуществляется в этом диапазоне. Весь диапазон частот разделяется на девять октав. Октавой называется полоса частот, в которой отношение верхней граничной частоты к нижней равно двум. При более детальном исследовании шума октавы подразделяются на полуоктавы и одностретьоктавы. Для полуоктавной полосы частот отношение верхней граничной частоты к нижней равно 1,41, для третьоктавной – 1,26.

В каждой октавной полосе частот находится среднегеометрическая частота, Гц, по формуле $f_{\text{сг}} = \sqrt{f_{\text{н}} f_{\text{в}}}$, где $f_{\text{н}}$ и $f_{\text{в}}$ – нижняя и верхняя граничные частоты октавной полосы.

Для среднегеометрических частот, представляющих октавные полосы, устанавливаются допустимые значения уровней звукового давления. Поскольку низкочастотные шумы менее вредно действуют на человека, для них устанавливаются более высокие допустимые уровни звукового давления. Распределение уровней звукового давления по октавным полосам частот называется спектром шума; распределение допустимых уровней звукового давления называется предельным спектром и обозначается ПС. Для производственных помещений предельный спектр обозначается ПС-75, где 75 – допустимый уровень звукового давления для $f = 1000$ Гц (рис. 4.2).

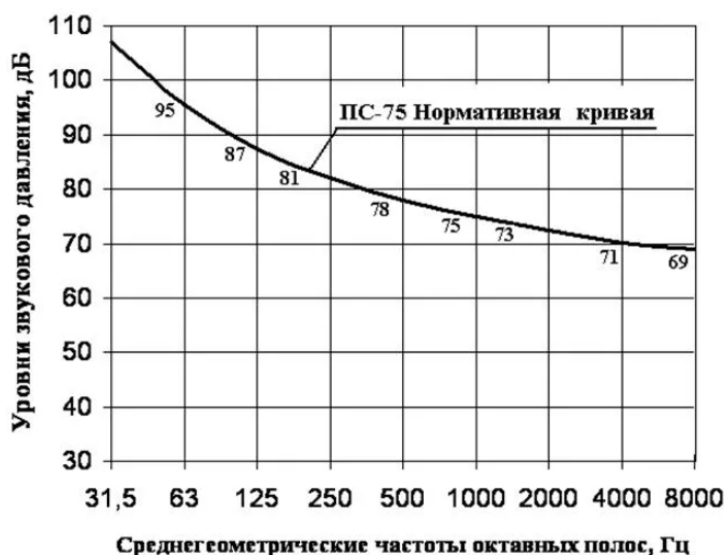


Рис. 4.2. Предельный спектр ПС-75

Таким образом, нормируемыми параметрами постоянного шума являются уровни звукового давления L в децибелах в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц и уровень звука L_A в децибелах А во всем спектре частот, измеряемый шумомером на частотной характеристике «А».

Нормирование уровня звука в децибелах А. Этот метод используется для ориентировочной оценки постоянного и непостоянного шума, когда мы не знаем спектра шума. Уровень звука измеряется в децибелах А (дБА) шумомером, работающим в режиме частотной характеристики «А». Уровень звука (дБА) связан с предельным спектром зависимостью $L_A = \text{ПС} + 5$, т. е. предельному спектру ПС-75 соответствует уровень звука 80 дБА.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретической частью, описанием стенда и рекомендациями по использованию шумомера.

2. Установить микрофон шумомера в соответствующее отверстие для анализа шумов в камере стенда (звукоизолирующие перегородки, звукопоглощающие покрытия и модели индивидуальных средств защиты не использовать).

3. Подключить шумомер к ноутбуку с помощью кабеля USB, подключить ноутбук к аудиовходу снаружи камеры стенда.

4. Подключить стенд к сети, включить выключатель «Сеть», включить шумомер и запустить программу для анализа шумов, используя ярлык на рабочем столе. Закрыть камеру стенда.

5. С помощью ноутбука включить запись производственных шумов, установить громкость по указанию преподавателя.

6. С помощью программы для анализа шумов определить и занести в табл. 4.2 значения уровня звука на указанных в первой строчке таблицы двух частотах.

7. Не изменяя значение амплитуды звукового сигнала, выполнить измерения уровня звука на частотах, указанных в первой строчке табл. 4.2, занося результаты в соответствующие ячейки таблицы.

Таблица 4.2

Результаты частотного анализа шума

Частота f , Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звука L , дБ								

8. Выключить выключатель «Сеть» и шумомер. По данным табл. 4.2 построить график $L(f)$. Провести сравнение результатов замеров уровней звука L (табл. 4.2) с допустимыми значениями $L_{\text{доп}}$ по табл. 4.3.

9. Используя данные об эффективности способов защиты от производственного шума, полученные в лабораторной работе № 1, предложить способы снижения уровня шума.

10. Проанализировать результаты, сделать выводы.

Таблица 4.3

Нормативные значения допустимых уровней шума

Нормативный документ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ГОСТ 12.1.003-83	99	92	86	83	80	78	76	74
СН 3223-85	95	87	78	78	75	73	71	69

Контрольные вопросы

1. Какие существуют виды шума в зависимости от источника?
2. Каковы основные физические характеристики звука?
3. Что называется интенсивностью звука?
4. Что такое уровень звукового давления?
5. Что такое октава?
6. Как в октавной полосе определяется среднегеометрическая частота?
7. Что является нормируемыми параметрами постоянного шума?

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА

Цель работы

1. Ознакомиться с общими характеристиками пылей, воздействием их на организм человека, пожароопасными свойствами пылей, оборудованием и приборами для изучения пыли, нормативными документами по нормированию пыли.

2. Научиться определять фактическую концентрацию пыли в воздухе.

Описание стенда для измерения запыленности воздуха

Стенд предназначен для весового метода измерения массовой концентрации пыли в воздухе и включает в себя пылевую камеру, аспиратор и весы. Внешний вид стенда показан на рис. 5.1.

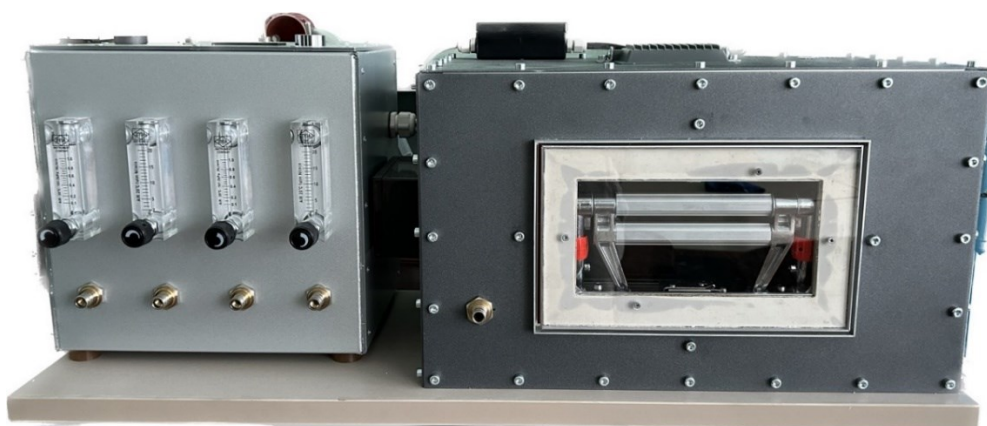


Рис. 5.1. Внешний вид стенда

Пылевая камера имеет следующие элементы:

- смотровое окошко;
- подсветку для наблюдения плотности пылевого потока в камере;
- отверстия для подключения аллонжа с фильтрами АФА;
- вентилятор для создания пылевого потока;
- дверцу с замком, имеющую уплотнения по всему периметру.

С левой стороны от камеры находится аспиратор. В комплект входят шланг с аллонжем для фильтров аналитических аэрозольных (АФА) в количестве 1 шт. (рис. 5.2) и комплект фильтров АФА.



Рис. 5.2. Шланг с аллонжем для фильтров и фильтры АФА

Для весового измерения концентрации пыли в фильтре в комплект входят весы с ценой деления 0,001 г и наибольшим пределом взвешивания 150 г. Стенд имеет панель управления (рис. 5.3).



Рис. 5.3. Панель управления

На панели управления находятся:

- вводной автомат, предназначенный для подачи питания на стенд;
- индикатор подключения к сети;
- тумблер-подсветка, предназначенный для включения/выключения подсветки пылевой камеры;
- тумблер-насос, предназначенный для включения/выключения насоса для отбора проб;
- тумблер-вентилятор для включения/выключения вентилятора пылевой камеры;
- секундомер, имеющий тумблер включения/выключения и кнопку сброса показаний.

Теоретическая часть

Промышленные пыли (аэрозоли) – это тонкодисперсные частицы, образующиеся при различных производственных процессах и способные длительное время находиться в воздухе во взвешенном состоянии. Промышленную пыль классифицируют по различным признакам: происхождению, составу, действию на организм человека, степени дисперсности, химическому составу, электрическим и магнитным свойствам, пожаро- и взрывоопасности и т. д.

По происхождению аэрозоли подразделяются на пыли дезинтеграции и пыли конденсации. Пыли дезинтеграции образуются при дроблении, измельчении, помоле, резании и других механических процессах. Они характеризуются полидисперсностью, а частицы пыли имеют неправильную форму. Пыли конденсации образуются в результате охлаждения и конденсации паров расплавленных масс (металлов, стекломассы, расплавов солей, насыщенных растворов и т. п.). В этом случае образующиеся частицы пыли имеют округлую, овальную, более правильную форму, они характеризуются высокой дисперсностью.

По составу пыль подразделяют на органическую, неорганическую и смешанную.

1. Органическая пыль:

- а) растительная (древесная, хлопковая и др.);
- б) животная (шерстяная, костная и др.);
- в) искусственная (пыль пластмасс, резины).

2. Неорганическая пыль:

- а) минеральная (кварцевая, силикатная и др.);
- б) металлическая (железная, алюминиевая и др.).

3. Смешанная пыль (пыль, образующаяся при шлифовке металла, при зачистке литья и др.).

По размеру мелкодисперсные частицы разделяют на три основные группы:

- 1) частицы размером более 10 мкм, оседающие в неподвижном воздухе с возрастающей скоростью, недиффундирующие;
- 2) частицы размером от 0,1 до 10 мкм, оседающие в воздухе с постоянной скоростью, условно называемые туманом;

3) частицы размером менее 0,1 мкм, находящиеся в постоянном броуновском движении и энергично диффундирующие. Пыль такой крупности почти не оседает и по своим свойствам приближается к молекулам газа.

Характер биологического действия пыли обуславливается главным образом дисперсностью пылевых частиц. С этим фактором связана как длительность пребывания взвешенной пылевой частицы в воздушной среде, так и глубина ее проникновения в дыхательные пути. Однако при оценке влияния пыли на организм определенное значение имеют и ее физико-химическая активность, электростатический заряд и другие свойства.

Известно, что частицы пыли диаметром более 10 мкм практически не содержатся во взвешенном состоянии в неподвижном воздухе, поскольку скорость их оседания достаточно велика (например, для кварцевой частицы она составляет порядка 8 мм/с). Кроме того, такая пыль практически не проникает глубоко в органы дыхания. Она задерживается в основном в верхних дыхательных путях.

Частицы размером около 6 мкм способны проникать глубже в легкие, но они оседают главным образом в верхних бронхах. Значительная часть задержанной пыли при этом удаляется из органов дыхания при чихании и кашле.

Частицы размером менее 0,1 – 0,2 мкм наиболее долго могут существовать в виде аэрозоля, а кроме того, при вдыхании запыленного воздуха проникают в самые малые по размеру бронхи легких. Тем не менее установлено, что такая пыль малопатогенна. Связано это с тем, что частицы такого размера подвержены броуновскому движению, плохо оседают на внутренних поверхностях бронхов и вновь удаляются из легких при выдохе. Наибольшую опасность для человека представляют пыли дезинтеграции с размером пылинок до 5 мкм (особенно фракция 1 – 2 мкм) и пыли конденсации с частицами менее 0,3 – 0,4 мкм, наиболее глубоко проникающие и задерживающиеся в легких.

В соответствии с современными представлениями форма и консистенция частиц решающего значения на возникновение патологических изменений в организме не оказывают. Однако доказано, что с

гигиенической точки зрения весьма важными характеристиками пылей являются:

- электрические свойства пыли. Имеются данные, указывающие на то, что процент задержки в дыхательных путях электрически заряженных пылинок в 2 – 3 раза больше, чем нейтральных. Знак заряда не является решающим фактором в оценке токсикологии пыли;

- химический состав пыли, влияющий на ее биологическую активность.

Различают четыре вида биологического воздействия пыли:

- фиброгенное воздействие, т. е. свойство пыли вызывать фиброз – разрастание соединительной ткани (рубцовой ткани), которая не обладает свойством обеспечивать диффузию газов из легких в кровеносные сосуды; фиброгенность пыли зависит главным образом от содержания в ней свободной двуокиси кремния;

- аллергенное воздействие, т. е. свойство пыли вызывать у человека повышенную чувствительность к повторному воздействию пыли (например, пыль канифоли, хлопка, соломы, сосны, шерсти и т. д.);

- токсическое воздействие, т. е. способность некоторых видов пыли (в основном металлов) всасываться в кровь, вызывая общее отравление организма;

- раздражающее действие – свойство пыли некоторых веществ вызывать раздражение слизистых оболочек дыхательных путей, которое сопровождается чиханием, кашлем, местными воспалительными процессами;

К раздражающим пылям относятся:

- а) минеральная – песочно-кварцевая, корундовая пыль, образующаяся, например, при заточных и шлифовальных процессах на станках с абразивными кругами; пыль, образующаяся при различных технологических операциях (размоле, просеивании, смешивании, транспортировке и т. п.);

- б) металлическая – чугунная, железная, медная, алюминиевая, цинковая и другие, образующиеся при разных видах механической обработки металлов;

- в) древесная, образующаяся при обработке древесины;

г) полимерная, возникающая на различных стадиях технологических процессов переработки полимеров (полиэтиленовая, полистирольная, фенолформальдегидная и т. д.).

Растворимость пыли в воде и тканевых жидкостях может иметь как положительное, так и отрицательное значение. Если пыль нетоксична и действие ее на ткань сводится к механическому воздействию, хорошая растворимость такой пыли относится к благоприятным факторам, способствующим быстрому удалению ее из легких. В случае токсичной пыли хорошая растворимость является отрицательным фактором.

Не вся пыль, попадающая в дыхательные пути, достигает легких: часть ее задерживается в верхних дыхательных путях, в первую очередь в полости носа. Волоски слизистой оболочки носа, извилистые ходы, липкая слизь, покрывающая внутреннюю поверхность дыхательных путей, мерцательный эпителий слизистой носа являются отличными механизмами, задерживающими пылевые частицы.

Значительная часть (в среднем 50 %) задержанной пыли выделяется при чихании и кашле. В легких происходит процесс фагоцитоза пылевых частиц. Фагоцитоз служит защитной функцией организма и способствует очищению легких от пыли за счет захвата частиц пыли белыми кровяными тельцами (фагоцитами) и выведения их по лимфатическим узлам. Однако при систематическом воздействии большого количества пыли этих защитных реакций организма становится недостаточно и в организме развиваются патологические изменения. В связи с вышеизложенным необходимо регулярно определять концентрацию пыли в воздухе производственных помещений.

Для определения запыленности воздуха необходимо вначале отобрать пробу воздуха из рабочей зоны, а затем выделить из нее пыль для дальнейшего исследования.

Для отбора проб воздуха существует несколько методов:

– аспирационный – основан на просасывании воздуха через пористые материалы (хлопчатобумажную вату, минеральную вату, шерсть, бумажные фильтры) или жидкости (воду, масла). Однако чаще всего используют стандартные фильтры. Практически наибольшее распространение находят фильтры марок АФАВП-20, АФА-ХП-20, АФА-ХА-20, АФА-ВП-10, ФПП, изготовленные из различных полимерных фильтрующих материалов;

– седиментационный – основан на естественном оседании пыли на стеклянные пластинки с последующим расчетом массы пыли на 1 м^2 поверхности;

– электростатический – заключается в создании поля высокого напряжения, в котором пылевые частицы электризуются и притягиваются к электродам;

– фотометрический – пылевые частицы регистрируются с помощью сильного бокового света;

– радиоизотопный – основан на определении массы задержанной фильтром пыли по степени ослабления потока β -частиц, прошедших через фильтр до его запыления и после.

В настоящей работе используется один из наиболее распространенных в практике аспирационный метод отбора проб воздуха. Практически наибольшее распространение находят фильтры марок АФА, ФПП, изготовленные из полимерных фильтрующих материалов. Запыленность воздуха характеризуется массой пыли, содержащейся в единице объема ($\text{мг}/\text{м}^3$).

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с краткой теорией и описанием стенда.
2. Заполнить пылевую камеру мучной или угольной пылью по указанию преподавателя.
3. С помощью весов определить g_1 – массу чистого фильтра.
4. Установить взвешенный фильтр в аллонж, подключить шланг для отбора проб ко второму штуцеру реометра и штуцеру пылевой камеры, предварительно закрыв все ручки регулировки подачи воздуха.
5. Подключить стенд к сети, включить вводной автомат.
6. Включить вентилятор, в результате чего в камере создается запыленная среда. При необходимости включить подсветку для демонстрации запыленности в пылевой камере.
7. Провести отбор пробы: для этого включить насос и секундомер, по указанию преподавателя с помощью ручки регулировки подачи воздуха соответствующего реометра установить расход воздуха. Записать по показаниям реометра установленное значение расхода Q .

8. С помощью весов определить массу фильтра с пробой (g_2).
9. Данное действие провести три раза с интервалом времени в пять минут (5 мин.; 10 мин.; 15 мин.).
10. По окончании отбора проб выключить насос, вентилятор и подсветку, секундомер и вводной автомат.
11. Определить концентрацию пыли в воздухе для каждого испытания по формуле

$$C = \frac{(g_2 - g_1)1000}{Qt} \text{ мг/м}^3,$$

где g_2 – масса фильтра с пробой, мг;

g_1 – масса чистого фильтра, мг;

Q – расход воздуха через реометр, л/мин;

t – продолжительность отбора пробы, мин.

12. Найти среднее значение концентрации пыли

$$C_{\text{ср}} = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{n}, \text{ где } n – \text{число испытаний.}$$

13. Сравнить полученное значение с данными приведенной ниже таблицы.

14. Определить скорость просасывания воздуха по реометру.

Для определения скорости просасывания воздуха V за нормальные условия принимают оптимальную температуру в рабочей зоне, где проводится исследование запыленности, и атмосферное давление 101,3 кПа (760 мм рт. ст.).

Определяют значение температуры воздуха и атмосферного давления в месте отбора пробы. В условиях лаборатории температура принимается равной 20 °С (293 °К), тогда

$$Q = \frac{vP \cdot 293}{(273 + t)101,3},$$

где V – скорость просасывания воздуха по ротаметру, л/мин;

P – атмосферное давление воздуха в момент отбора пробы, кПа;

t – температура воздуха в момент отбора, °С.

Из имеющейся формулы вывести V .

15. Полученные результаты и значение ПДК $C_{\text{доп}}$ занести в протокол отчета и сделать выводы о запыленности воздушной среды в месте отбора пробы.

Выдержка из СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»

Вид пыли	Величина ПДК, мг/м ³	Преимущественное агрегатное состояние	Класс опасности	Особенности действия на организм
1. Пыль, образуемая при работе:				
с асбестом, алюминием;	2	а	III	Ф
известняком, глиной, карбидом кремния (карборунда), цементом, чугуном	6	а	IV	А
2. Пыль растительного и животного происхождения:				
а) зерновая	4	а	III	А, Ф
б) мучная, древесная и др. (с примесью диоксида кремния менее 2 %)	6	а	IV	А, Ф
в) лубяная, хлопчатобумажная, льняная, шерстяная, пуховая и др. (с примесью диоксида кремния менее 2 %)	2	а	IV	А, Ф
г) с примесью диоксида кремния от 2 до 10 %	4	а	IV	А, Ф
3. Пыли углерода:				
а) коксы: каменноугольный, пековый, нефтяной, сланцевый	6	а	IV	Ф
б) антрацит с содержанием в пыли до 5 % диоксида кремния	6	а	IV	Ф
в) другие ископаемые угли с содержанием свободного диоксида кремния до 5 %	10	а	IV	Ф
то же от 5 до 10 %	4	а	III	Ф
4. Пыль стеклянного и минерального волокон	4	а	III	Ф
5. Пыль табака, чая	3	а	III	А
6. Нитроаммофоска	4	а	III	Ф
7. Калия нитрат	5	а	III	
8. Калия сульфат	10	а	III	

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ ОТ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы

1. Исследование зависимости плотности потока ЭМИ излучения СВЧ-диапазона от расстояния до источника СВЧ-излучения.
2. Исследование эффективности защитных экранов от СВЧ-излучения.

Общие положения

Наш организм подвергается воздействию различных видов излучения, например СВЧ-излучения, источники которого: средства связи и различные гаджеты, бытовая техника (микроволновая печь, электробритва, фен, компьютеры и др.), а также розетки и энергосберегающие лампы. Существуют и природные источники излучения – это Солнце и другие космические объекты, излучение от которых проходит через биосферу и достигает Земли. В последнее десятилетие появилось новое понятие – «электромагнитный смог», под которым понимают всю совокупность электромагнитных полей и излучений от различных источников, которые, суммируясь, влияют на естественный электромагнитный фон Земли, Галактики, Солнца, часто превышая их уровни. Излучение нельзя увидеть, услышать или почувствовать, но оно вокруг нас. Можно уберечь свой организм, полностью отказавшись от источников излучения, перечисленных выше, но это создаст множество неудобств.

СВЧ-поле (микроволны) относится к той части спектра электромагнитного излучения, частота колебаний которой варьируется от 300 до 300 000 мкГц, соответственно и длина волны – от 1 м до 1 мм. СВЧ-излучение может в разной степени воздействовать на организм. Микроволны могут проникать в ткани и вступать в сложные взаимодействия с клетками организма, которые поглощают 40 – 50 % попадающей энергии (остальное отражается). Регистрируемый термический эффект развивается при облучении в дозах, превышающих 10 – 15 мВт/см².

Существуют определенные допустимые нормы и правила для воздействия излучения СВЧ-диапазона, несоблюдение которых может приводить к патологическим изменениям в организме человека. Экспериментально доказано, что наиболее высокая чувствительность к воздействию микроволн характерна для нервной системы. Так, в эксперименте при одинаковом облучении головы, туловища и конечностей у животных наиболее выраженные сдвиги регистрируются в случае облучения головы. Под воздействием СВЧ-излучения на организм человека происходит частичное поглощение энергии тканями (особенно с большим содержанием воды: кровью, межклеточной жидкостью, слизистой ЖКТ и в большей степени желудка, хрусталиком глаза и т. д.). Длительное и систематическое воздействие излучения вызывает у человека головную боль, утомляемость, чувство сонливости, нарушение или отсутствие сна, боли в области сердца и повышение артериального давления.

Отмечаются системные нарушения, такие как: изменение состава крови, увеличение щитовидной железы, катаракта глаза (наиболее характерна для женщин, если при приготовлении пищи микроволновая печь находится на уровне глаз и постоянно происходит контакт во время работы прибора). Вследствие прямого воздействия на нервную систему происходит нарушение кровоснабжения, нервной и электрической проводимости головного и спинного мозга. Как отмечает ряд исследователей (Л. Мамчиц, С. Климович, 2010), под СВЧ-воздействием происходит дестабилизация и нарушение выработки гормонов и поддержания нормального гормонального фона у мужчин и женщин.

У людей, подвергшихся воздействию СВЧ-волн на фоне измененной электроэнцефалограммы регистрируются психоэмоциональные нарушения (снижение сосредоточенности, ухудшение памяти, снижение порога эмоционального напряжения, замедление процессов мышления и нарушения сна), степень проявления которых непосредственно зависит от дозы облучения. Отмечаются реакции, больше схожие с недостатком витаминов и микроэлементов в организме — выпадение волос и ломкость ногтей. Микроволновое облучение способствует значительному снижению усвояемости (способности организма принимать питательное вещество и использовать его по назначению) витаминов, нутриентов и жироподобных веществ, содержа-

щихся в каждом продукте питания, а также нуклеопротеидов мяса. Происходит падение на 60 – 90 % так называемой «жизненной энергии» во всех облученных продуктах.

Более тяжелыми последствиями воздействия СВЧ-излучения на организм человека являются неопластические процессы, развивающиеся вследствие возникновения канцерогена D-нитрозодиэтанолamina при приготовлении мяса, разрушения активных бимолекулярных белковых соединений. Выявлено, что под воздействием СВЧ-излучения происходит образование канцерогенов и свободных радикалов в молоке и злаках, в некоторых видах микроэлементов, содержащихся в растениях, особенно в сырых корнеплодах. Это приводит к снижению способности организма сопротивляться развитию раковых новообразований в тканях. В большей степени преобладают рак желудка и других отделов желудочно-кишечного тракта.

Для существенного уменьшения патогенного воздействия СВЧ-излучения разработаны специальные средства и меры защиты от излучения (СанПины), к ним относятся: уменьшение излучения непосредственно от самого источника, экранирование, применение индивидуальных средств защиты, ограничение дозы облучения (не более 10 мкВт/см² в течение рабочего дня). При работе с какой бы то ни было аппаратурой необходимо убедиться в отсутствии утечек энергии на линиях передачи и местах сочленения элементов волнового тракта.

Как указывает ряд авторов, при использовании микроволновой печи источником утечки служит ее дверца. Ситуация усугубляется и тем, что в основном пользователь находится именно со стороны дверцы при приготовлении или разогревании пищи. Поэтому необходима тщательная экранировка СВЧ-излучения и недопущение его утечки из камеры.

Электромагнитные поля (ЭМП) генерируются токами, изменяющимися по направлению во времени. Спектр электромагнитных (ЭМ) колебаний находится в широких пределах по длине волны λ от 1000 км до 0,001 мкм и менее, а по частоте – от 3^{-10} до 3^{10} Гц, включая радиоволны, оптические и ионизирующие излучения. В настоящее время наиболее широкое применение в различных отраслях хозяйства находит ЭМ энергия неионизирующей части спектра. Это касается прежде всего ЭМ полей радиочастот. Они подразделяются по длине волны на ряд диапазонов (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Классификация радиоволн

Название диапазона	Длина волны	Диапазон частот	Частота	Название диапазона частот (по международному регламенту)
Длинные (километровые) волны (ДВ)	10 – 1 км	Высокие частоты (ВЧ)	От 3 до 300 КГц	Низкие (НЧ)
Средние (гектометровые) волны	1 км – 100 м	То же	От 0,3 до 3 МГц	Средние (СЧ)
Короткие (декаметровые) волны (КВ)	100 – 10 м	То же	От 3 до 30 МГц	Высокие (ВЧ)
Ультракороткие (метровые) волны (УКВ)	10 – 1 м	Ультравысокие частоты (УВЧ)	От 30 до 300 МГц	Очень высокие (ОВЧ)
Микроволны: дециметровые, дм	1 м – 10 см	Сверхвысокие частоты (СВЧ)	От 0,3 до 3 ГГц	Ультравысокие (УВЧ)
сантиметровые, см	10 – 1 см		От 3 до 30 ГГц	Сверхвысокие (СВЧ)
миллиметровые, мм	1 мм		От 30 до 300 ГГц	Крайне высокие (КВЧ)

Электромагнитное поле складывается из электрического поля, обусловленного напряжением на токоведущих частях электроустановок, и магнитного, возникающего при прохождении тока по этим частям. Волны ЭМП распространяются на большие расстояния.

В промышленности источниками ЭМП служат электрические установки, работающие на переменном токе частотой от 10 до 10^6 Гц; приборы автоматики; электрические установки с промышленной частотой 50 – 60 Гц; установки высокочастотного нагрева (сушка древесины, склеивание диэлектриков, нагрев пластмасс и др.). Значения предельно допустимой напряженности ЭМП радиочастот в диапазоне 0,06 – 300 МГц на рабочих местах приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Предельно допустимая напряженность ЭМП радиочастот
в диапазоне 0,06 – 300 МГц на рабочих местах

Составляющая поля, по которой оценивается его воздействие и диапазон частот, МГц	Предельно допустимая напряженность в течение рабочего дня
Электрическая составляющая:	
0,06 – 3	50 В/м
3 – 30	20 В/м
30 – 50	10 В/м
50 – 300	5,0 В/м
Магнитная составляющая:	
0,06 – 1,5	5,0 А/м
30 – 50	0,3 А/м

Электромагнитные поля характеризуются совокупностью переменных электрической и магнитной составляющих. Различные диапазоны радиоволн объединяет общая физическая природа, но они существенно различаются по заключенной в них энергии, характеру распространения, поглощения, отражения, а вследствие этого – по действию на среду, в том числе и на человека. Чем короче длина волны и больше частота колебаний, тем больше энергии несет в себе квант. Связь между энергией и частотой колебаний определяется как $Y = h \cdot f$ или $Y = \frac{h \cdot c}{\lambda}$, так как между длиной волны λ и частотой f существует

соотношение $f = \frac{c}{\lambda}$, где c – скорость распространения электромагнитной волны в воздухе ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с); h – постоянная Планка, равная $6,6 \cdot 10^{-34}$ Вт/см².

Вокруг любого источника излучения ЭМП разделяют на три зоны: ближнюю – зону индукции, промежуточную – зону интерференции и дальнюю – волновую зону. Если геометрические размеры источника излучения меньше длины волны излучения (т. е. имеет место точечный источник), границы зон определяются следующими расстояниями R :

$$\text{ближняя зона (индукции): } R = \frac{\lambda}{2\pi};$$

промежуточная зона (интерференции): $\frac{\lambda}{2\pi} < R < 2\pi\lambda$;

дальняя зона (волновая): $R > 2\pi\lambda$.

Работающие с источниками излучения НЧ, СЧ и в известной степени ВЧ- и ОВЧ-диапазонов находятся в зоне индукции. При эксплуатации генераторов СВЧ- и КВЧ-диапазонов работающие часто находятся в волновой зоне. В волновой зоне интенсивность поля оценивается величиной плотности потока энергии (ППЭ), т. е. количеством энергии, падающим на единицу поверхности. В этом случае ППЭ выражается в ваттах на 1 м^2 или в производных единицах: милливаттах и микроваттах на 1 см^2 ($\text{Вт}/\text{м}^2$, $\text{мВт}/\text{см}^2$, $\text{мкВт}/\text{см}^2$). ЭМП по мере удаления от источника излучения быстро затухает. Электромагнитные волны диапазонов УВЧ, СВЧ и КВЧ (микроволны) используются в радиолокации, геодезии, дефектоскопии, физиотерапии. Иногда ЭМП УВЧ-диапазона применяются для вулканизации резины, термической обработки пищевых продуктов, стерилизации, пастеризации, вторичного разогрева пищевых продуктов. СВЧ-аппараты используются для микроволновой терапии.

Наиболее опасными для человека являются электромагнитные поля ультравысоких и сверхвысоких частот. Критерием оценки степени воздействия на человека ЭМП может служить количество электромагнитной энергии, поглощаемой им при пребывании в электрическом поле. Величина поглощаемой человеком энергии зависит от квадрата силы тока, протекающего через его тело, времени пребывания в электрическом поле и проводимости тканей человека.

По законам физики изменения в веществе может вызвать только та часть энергии излучения, которая поглощается этим веществом, а отраженная или проходящая через него энергия действия не оказывает. Электромагнитные волны лишь частично поглощаются тканями биологического объекта, поэтому биологический эффект зависит от физических параметров ЭМП-радиочастот: длины волны (частоты колебаний), интенсивности и режима излучения (непрерывный, прерывистый, импульсно-модулированный), продолжительности и характера облучения организма (постоянное, интермиттирующее), а также от площади облучаемой поверхности и анатомического строения органа или ткани.

Степень поглощения энергии тканями зависит от их способности к ее отражению на границах раздела, определяемой содержанием воды в тканях и другими их особенностями. Колебания дипольных молекул воды и ионов, содержащихся в тканях, приводят к преобразованию ЭМ энергии внешнего поля в тепловую, что сопровождается повышением температуры тела или локальным избирательным нагревом тканей, органов, клеток, особенно с плохой терморегуляцией (хрусталик глаза, стекловидное тело, семенники и др.). Тепловой эффект зависит от интенсивности облучения.

Нарушение гормонального равновесия при наличии СВЧ-фона на производстве следует рассматривать как противопоказание для профессиональной деятельности, связанной с нервной напряженностью труда и частыми стрессовыми ситуациями. Постоянные изменения в крови наблюдаются при ППЭ выше 1 мВт/см^2 . Это фазовые изменения лейкоцитов, эритроцитов и гемоглобина. Поражение глаз в виде помутнения хрусталика (катаракты) – последствия воздействия ЭМП в условиях производства. При воздействии миллиметровых волн изменения наступали немедленно, но быстро проходили, а при частоте 35 ГГц они были стойкими, так как являлись результатом повреждения эпителия роговицы. При частоте около 400 кГц повреждений не наблюдалось. При интенсивности электромагнитного поля ниже 10 мВт/см^2 также отсутствовали какие-либо проявления катаракты. При воздействии значительных интенсивностей СВЧ может возникать более или менее выраженное помутнение хрусталика глаза (катаракты). Нередко отмечают случаи изменения в составе периферической крови.

В соответствии с санитарными нормами и правилами при работе с источниками ЭМП СВЧ-частот предельно допустимые интенсивности ЭМП на рабочих местах приведены в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Диапазон микроволн (300 МГц – 300 ГГц)	Предельно допустимая интенсивность
1. Для работающих при облучении в течение: – всего рабочего дня – не более 2 ч за рабочий день – не более 15 – 20 мин за рабочий день	10 мкВт/см^2 100 мкВт/см^2 1000 мкВт/см^2
2. Для лиц, не связанных профессионально с источниками ЭМП, и для населения	1 мкВт/см^2

Защитные меры от действия электромагнитного поля сводятся в основном к применению защитного экранирования; удалению рабочего места от источника ЭМП (применение дистанционного управления устройствами, излучающими ЭМ волны); расположению рабочего места в направлении наименьшего излучения источника поля (использование диаграммы направленности излучения); применению средств индивидуальной защиты.

Защитные экраны делятся на отражающие излучение и поглощающие излучение. К первому типу относятся сплошные металлические экраны, экраны из металлической сетки, экраны из металлизированной ткани. Ко второму типу относятся материалы из радиопоглощающих материалов. К средствам индивидуальной защиты относятся: спецодежда, выполненная из металлизированной ткани, защитные очки, защитные халаты, фартуки, накидки с капюшоном, перчатки, щитки.

Описание лабораторной установки

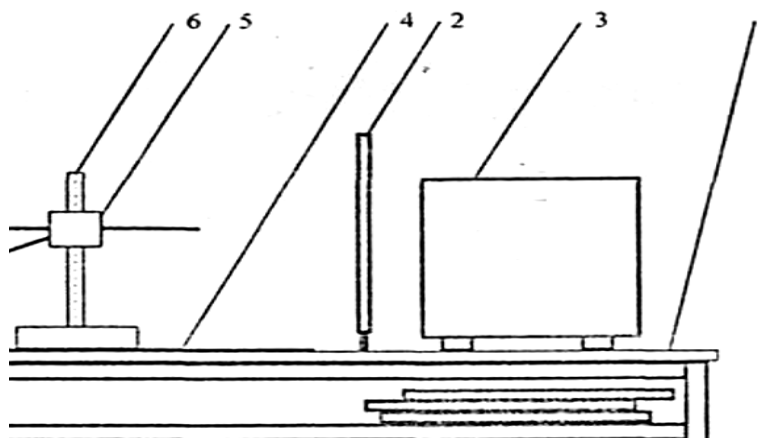
Внешний вид лабораторной установки представлен на рисунке. Стенд представляет собой стол, под которым размещаются сменные экраны, используемые для изучения экранирующих свойств различных материалов. На столешнице 1 размещены СВЧ-печь 3 (источник излучения), устройство (гнезда) для крепления защитного экрана 2, координатное устройство 4, измерительная стойка 6 с датчиком 5.

Координатное устройство 4 регистрирует перемещение датчика 5 СВЧ-поля по осям X, Y. Координата Z определяется по шкале, нанесенной на измерительную стойку 6, по которой датчик 5 может свободно перемещаться. Это дает возможность исследовать распределение СВЧ-излучения в пространстве со стороны передней панели СВЧ-печи (наиболее интенсивного излучения). Датчик рассчитан на частоту измерения 2,45 ГГц. Диапазон измерения плотности потока ЭМИ излучения СВЧ – от 0,01 до 2 мВт/см².

Координатное устройство 4 выполнено в виде планшета, на который нанесена координатная сетка. В качестве нагрузки в СВЧ-печи используется огнеупорный шамотный кирпич, устанавливаемый на неподвижную подставку, в качестве которой используется неглубокая фаянсовая тарелка, обеспечивающая стабильность измеряемого сигнала.

На столешнице 1 имеются гнезда для установки сменных защитных экранов 2, выполненных из следующих материалов:

- сетки из металла с ячейками 50 мм;
- сетки из металла с ячейками 10 мм;
- листа из металла;
- полистирола;
- резины.



Лабораторная установка

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с мерами по технике безопасности при проведении лабораторной работы и строго выполнять их.
2. Подключить СВЧ-печь к сети переменного тока.
3. В печь на подставку (перевернутая тарелка) положить кирпич.
4. Датчик, размещенный на стойке (координата Z по указанию преподавателя), устанавливается в начало координат.
5. Включить датчик.
6. Установить режим работы СВЧ-печи:
 - нагрузку $P = 100 \%$;
 - время эксперимента 1 мин;
 - включить печь.
7. Перемещая датчик по оси X координатной системы измерить интенсивность излучения на расстояниях 10, 20, 30, 40, 50 см от источника излучения и определить зоны наиболее интенсивного излучения, сравнив их с допустимыми значениями (см. табл. 6.3), сделать вывод о безопасном расстоянии. Построить график распределения интенсивности излучения в пространстве перед печью.

8. Поочередно устанавливать защитные экраны и фиксировать показания датчика в табл. 6.4.

9. Выключить печь.

10. Определить эффективность экранирования для каждого экрана по формуле $\delta = \frac{Y - Y_{\text{э}}}{Y}$, где Y – показания датчика без экрана; $Y_{\text{э}}$ – показания датчика с экраном.

Таблица 6.4

Исследование эффективности экранирования

Виды защитных экранов	Эффективность экранирования

11. Построить диаграмму эффективности экранирования в зависимости от вида материала защитных экранов. Сделать выводы.

12. Выполнить проверку индивидуальных систем сотовой связи.

Используемый в лабораторной работе прибор для измерения ЭМП позволяет оценить сотовые телефоны студентов на соответствие требованиям биоэлектромагнитной совместимости.

Гигиенические требования к подвижным станциям сухопутной радиосвязи установлены санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи». Санитарные правила устанавливают временные допустимые уровни (ВДУ) воздействия на человека ЭМП, создаваемых подвижными станциями сухопутной радиосвязи (включая абонентские терминалы спутниковой связи) непосредственно у головы пользователя. ВДУ электромагнитных полей не должны превышать следующих значений:

в диапазоне частот $27 \text{ МГц} \leq f < 30 \text{ МГц}$ – 45,0 В/м;

в диапазоне частот $30 \text{ МГц} \leq f < 300 \text{ МГц}$ – 15,0 В/м;

в диапазоне частот $300 \text{ МГц} \leq f \leq 2400 \text{ МГц}$ – 100,0 мкВт/см².

Измерение контролируемых уровней ППЭ ЭМП для диапазона частот 800 – 2400 МГц должны осуществляться на расстоянии 370 мм. При этом контролируемый уровень ППЭ ЭМП в диапазоне частот ≥ 300 – 2400 МГц не должен превышать 3 мкВт/см², что обеспечивает соблюдение требований санитарных правил.

Для оценки соответствия требованиям безопасности установить сотовый телефон на расстоянии 37 см от измерительного прибора и включить его на вызов абонента. Если в качестве абонента служит другой сотовый телефон, последний должен располагаться от него на расстоянии не менее 3 м. Дисплей телефона должен находиться напротив антенны измерителя. Измерить максимальное значение показания прибора при обычном расположении, а также при повороте его на 90 и на 180°. Сделать вывод о безопасности сотового телефона.

Правила техники безопасности

1. К работе допускаются студенты, ознакомленные с устройством лабораторного стенда, принципом действия и мерами безопасности при проведении лабораторной работы.

2. Запрещается работать с открытой дверцей СВЧ-печи.

3. Запрещается самостоятельно регулировать или ремонтировать дверь, панель управления, выключатели системы блокировки или какие-либо другие части печи. Ремонт должен производиться только специалистами.

4. СВЧ-печь должна быть заземлена.

5. Не допускается включение и работа печи без нагрузки. Рекомендуется в перерывах между рабочими циклами оставлять в печи кирпич. При случайном включении печи кирпич будет выполнять роль нагрузки.

Контрольные вопросы

1. Назовите зоны, которые формируются вокруг источника электромагнитного поля.

2. Каким образом определяют расстояние каждой зоны?

3. Назовите распределение источников ЭМП по частоте.

4. Что входит в измерительный комплект электромагнитного поля?

5. Как определить эффективность экранирования ЭМП?

6. Какие основные защитные меры от электромагнитного поля вы можете назвать?

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ ОТ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы

1. Исследование характеристик теплового излучения (облучения).
2. Определение интенсивности теплового облучения организма человека и эффективности теплозащитных свойств экранов.
3. Исследование способов защиты от теплового излучения в условиях нагревающего микроклимата.

Общие положения

Эффективность деятельности человека зависит от условий, в которых она протекает. Одним из необходимых условий жизнедеятельности человека является обеспечение нормальных метеорологических условий в помещениях, оказывающих существенное влияние на тепловое самочувствие человека.

Микроклимат называется нагревающим, если температура воздуха в помещении выше границ оптимальных величин, предусмотренных нормативными документами.

Под тепловым излучением понимается перенос теплоты в виде электромагнитных волн с двойным взаимным превращением тепловой энергии в лучистую и обратно. Влияние теплового излучения от технологического оборудования на персонал называют тепловым облучением. Действие теплового облучения на организм определяется многими факторами, а именно: интенсивностью и продолжительностью облучения, площадью облученной поверхности организма, спектром излучения, углом падения лучистой энергии, температурой и скоростью движения воздуха, категорией выполняемой работы, защитными свойствами спецодежды и т. п.

Источниками тепловыделений могут быть: нагретые поверхности стен печей, их открытые проемы, желоба, прокатываемый металл, нагретые обрабатываемые детали и заготовки, различные виды сварки и плазменной резки и др. Нагретые тела отдают свое тепло менее

нагретым телам тремя способами: теплопередачей (теплопроводностью), теплоизлучением и конвекцией.

Конвекция определяется в основном подвижностью воздушной среды и разностью температур поверхностей и охлаждающего их воздуха (около 30 % тепла). Около 60 % тепловой энергии распространяется в окружающей среде путем излучения, нагревая только те тела, на которые тепловое излучение падает, и поглощается ими; при прохождении инфракрасного излучения через воздух последний не нагревается. Между двумя телами, имеющими разную температуру, устанавливается радиационный теплообмен с отдачей тепла от более нагретой поверхности менее нагретой. Закон Кирхгофа говорит о том, что отношение излучательной способности любого тела к его поглощательной способности одинаково для всех тел при данной температуре и частоте и не зависит от их формы, химического состава и прочего. Излучением отдают тепло все тела, имеющие температуру выше абсолютного нуля ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$). Газы также обладают способностью излучать и поглощать тепловую энергию. Одно- и двухатомные газы (N_2 , O_2 , H_2 и др.) практически прозрачны для тепловых лучей, а значительной излучательной и поглощательной способностью обладают многоатомные газы (CO_2 , H_2O , SO_2 , NH_3 и др.).

Тепловое излучение (инфракрасное излучение) – электромагнитное излучение определенной длины волны. Длина волны определяет физические и биологические свойства излучения. Инфракрасное (ИК) излучение невидимо и занимает в общем электромагнитном спектре участок с длиной волны от 0,48 до 1000 мкм. В гигиенической практике имеет значение более узкая область спектра – до 60 мкм.

При температуре до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ нагретой поверхностью излучаются инфракрасные лучи с длиной волны 0,76 – 740 мкм; при более высокой температуре наряду с инфракрасными лучами более короткой длины волны появляются видимые световые и ультрафиолетовые лучи. По закону Вина, чем выше температура тела, тем короче длина волны теплового излучения.

Из закона Стефана – Боцмана следует, что величина отдачи тепла излучением в большей степени зависит от температуры поверхности тела T , которая пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры:

$$\varepsilon = \sigma \cdot T^4,$$

где ε – теплоотдача, Вт/м²;

σ – постоянная величина, равная $1,38 \cdot 10^{12} \cdot 4,2$ Дж/(см · с);

T – абсолютная температура ($t + 273$ °С).

В соответствии с этим даже небольшое увеличение температуры поверхности тела приводит к значительному росту отдачи тепла излучением.

Физиологи и гигиенисты используют классификацию инфракрасных лучей, согласно которой весь диапазон ИК-излучений по длине волны делится на три области: ИК-А (коротковолновая) находится в диапазоне длин волн от 0,48 до 1,0 мкм, они обладают большой проникаемостью через кожу и оболочки мозга; 14 % лучей этой длины проходят через кожу, и 1 % проникает через кости черепа и твердую мозговую оболочку; ИК-В (средневолновая) находится в диапазоне длин волн от 1,4 до 3,0 мкм; ИК-С (длинноволновая) находится в диапазоне длин волн от 3,0 до 30 мкм.

По биологической классификации области ИК-В и ИК-С обозначаются как длинноволновые. Спектр инфракрасного излучения тела человека принимается в пределах от 2,5 до 20 – 25 мкм с максимальной длиной волны около 9,3 – 9,4 мкм. Длинноволновая инфракрасная радиация не оказывает неблагоприятного действия на организм человека, если ее величина не превышает величины, излучаемой самим человеком.

Инфракрасные лучи оказывают на организм человека в основном тепловое действие. Поглощение энергии этих лучей происходит главным образом в эпидермисе. Два органа нашего тела являются приемником радиации – глаза и кожа. Действие на них радиации проявляется только при поглощении её данным органом. Коэффициент поглощения ИК-лучей и эффект их действия связаны с длиной волны, которая обуславливает глубину их проникновения, например, ИК-излучение с длиной волны от 0,76 до 1,5 мкм может травмировать органы зрения, вызывая катаракту глаз (помутнение хрусталика). С повышением температуры максимум излучения смещается в сторону более коротких волн. Для реальных тел закон Планка выражает максимально возможную интенсивность излучения.

Под влиянием теплового облучения в организме происходят биохимические сдвиги: образование в тканях биологически активных веществ (пирогенных), способствующих повышению температуры тела в органах за счет усиления обмена веществ; уменьшается кислородная насыщенность крови, понижается венозное давление, замедляется кровоток, и, как следствие, нарушается деятельность сердечно-сосудистой и нервной систем.

Кроме непосредственного воздействия на человека, лучистая теплота нагревает окружающие конструкции. Эти вторичные источники отдают теплоту окружающей среде излучением и конвекцией, в результате чего температура воздуха внутри помещения повышается. При высоких температурах воздуха дыхание может учащаться и становится поверхностным, легочная вентиляция при этом уменьшается, что способствует снижению потребления кислорода.

Выполнение работы средней тяжести и тяжелой сопровождается повышением температуры тела на $0,3 - 0,5$ °С. Повышение температуры тела на 1 °С сопровождается ухудшением самочувствия (вялость, сонливость, раздражительность, учащение дыхания и пульса).

При работе в условиях высокой температуры воздуха водно-солевой и витаминный обмены значительно изменяются, так как усиленное потоотделение ведет к потере жидкости, солей и водорастворимых витаминов, при этом масса тела рабочих к концу смены может уменьшаться на $3 - 4$ кг и более. Считается допустимым для человека снижение его массы на $2 - 3$ % путем испарения влаги (обезвоживание организма). Обезвоживание на 6 % влечет за собой нарушение умственной деятельности, снижение остроты зрения; испарение влаги на $15 - 20$ % приводит к смертельному исходу.

В одном литре пота содержится от $2,5$ до $5,6$ г хлорида натрия. При неблагоприятных условиях потеря жидкости может достигать $10 - 12$ литров за смену, а с ней – до $30 - 40$ г хлорида натрия, содержание которого в организме составляет всего около 140 г. Потеря соли до 30 г приводит к прекращению желудочной секреции, лишает кровь способности удерживать воду, а потеря большего количества – к мышечным спазмам и судорогам и к нарушению деятельности сердечно-сосудистой системы. Это связано с нарушением водного обмена, сгущением и перераспределением крови (усиливается кровоснаб-

жение кожи, подкожной жировой клетчатки), влиянием повышенной температуры на сердечную мышцу и тонус сосудов. При высокой температуре воздуха легко расходуются углеводы, жиры, разрушаются белки, изменяется состав крови (повышается содержание гемоглобина и эритроцитов); артериальное давление понижается, но при выполнении физической работы повышается и зависит от выраженности указанных двух факторов.

Негативное влияние на центральную нервную систему работ в условиях высоких температур проявляется в ослаблении внимания, замедлении реакций, ухудшении координации движений, что может быть причиной снижения производительности труда и роста травматизма.

Длительное воздействие высокой температуры в сочетании с повышенной влажностью может привести к перегреву организма – гипертермии – состоянию, при котором температура тела поднимается до 38 – 39 °С, наблюдается головная боль, головокружение, общая слабость, искажение цветового восприятия, сухость во рту, тошнота, рвота, обильное потоотделение. Пульс и дыхание учащены, в крови увеличивается содержание азота и молочной кислоты. При этом наблюдаются бледность, синюшность, зрачки расширены, возникают судороги, потеря сознания.

По интенсивности тепловыделений производственные помещения делят на группы в зависимости от удельных избытков явной теплоты. Явной называется теплота, воздействующая на изменение температуры воздуха помещения, а избытком явной теплоты – разность между суммарными поступлениями явной теплоты и суммарными теплопотерями в помещении. Незначительные избытки явной теплоты – это избытки теплоты, не превышающие или равные 23 Вт на 1 м³ внутреннего объема помещения. Помещения со значительными избытками явной теплоты характеризуются избытками теплоты более 23 Вт/м³.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.), должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников

Облучаемая поверхность, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² (не более)
50 и более	35
25 – 50	70
Не более 25	100

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого или красного свечения, т. е. более 600 °С (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.), не должны превышать 140 Вт/м². При этом облучению не должно подвергаться более 25 % поверхности тела и обязательным считается использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

При наличии теплового облучения работающих температура воздуха на рабочих местах не должна превышать в зависимости от категории работ следующие величины:

- 25 °С – категория работ I а;
- 24 °С – категория работ I б;
- 22 °С – категория работ II а;
- 21 °С – категория работ II б;
- 20 °С – категория работ III.

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата предусматриваются защитные мероприятия, например; системы местного кондиционирования воздуха; воздушное душирование; компенсация неблагоприятного воздействия одного параметра микроклимата изменением другого; спецодежда и другие средства индивидуальной защиты; помещения для отдыха; регламентация времени работы, в частности перерывы в работе; сокращение рабочего дня; увеличение продолжительности отпуска; уменьшение стажа работы и др.

Для оценки сочетанного воздействия параметров микроклимата в целях осуществления мероприятий по защите работающих от возможного перегревания рекомендуется использовать интегральный показатель тепловой нагрузки среды (ТНС-индекса).

ТНС-индекс определяется на основе величин температуры смоченного термометра аспирационного психрометра ($t_{вл}$) и температуры внутри зачерненного шара ($t_{ш}$).

ТНС-индекс рассчитывается по уравнению $ТНС = 0,7 \cdot t_{вл} + 0,3 \cdot t_{ш}$.

ТНС-индекс рекомендуется использовать для интегральной оценки тепловой нагрузки среды на рабочих местах, скорость движения воздуха на которых не превышает 0,6 м/с, а интенсивность теплового облучения – 1200 Вт/м². Значения ТНС-индекса не должны выходить за пределы величин, рекомендуемых в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Рекомендуемые величины ТНС-индекса
для профилактики перегревания организма

Категория работ по уровню энерготрат, Вт	Величина ТНС-индекса, °С
Ia до (139)	22,2 – 26,4
Iб (140 – 174)	21,5 – 25,8
IIa (175 – 232)	20,5 – 25,1
IIб (233 – 290)	19,5 – 23,9
III (более 290)	18,0 – 21,8

В соответствии с санитарными правилами и нормами тепловое излучение входит в показатели, характеризующие микроклимат производственных помещений. Нормируемыми параметрами воздействия теплового излучения являются интенсивность теплового облучения и экспозиционная доза.

Общее количество теплоты, поглощенное телом, зависит от площади облучаемой поверхности, температуры источника излучения и расстояния до него. Для характеристики теплового излучения принята величина, названная интенсивностью теплового облучения E – мощность лучистого потока, приходящегося на единицу облучаемой поверхности.

Во избежание чрезмерного (опасного) общего перегревания и локального повреждения (ожог) должна быть регламентирована продолжительность периодов непрерывного инфракрасного облучения человека и пауз между ними (табл. 7.3).

К группе санитарно-технических мероприятий по защите от ИК-излучений относится применение коллективных средств защиты:

локализация тепловыделений, теплоизоляция горячих поверхностей, экранирование источников или рабочих мест, воздушное душирование, радиационное охлаждение, мелкодисперсное распыление воды; общеобменная вентиляция или кондиционирование воздуха, а также мероприятия, обеспечивающие герметичность оборудования: плотно подогнанные дверцы, заслонки, блокировка закрытия технологических отверстий оборудования.

Таблица 7.3

Время пребывания на рабочих местах при интенсивности инфракрасного облучения выше допустимых величин

Интенсивность инфракрасного облучения, Вт/м ²	Продолжительность периодов непрерывного облучения, мин	Продолжительность паузы, мин	Соотношение продолжительности облучения и пауз
350	20	8	2,5
700	15	10	1,5
1050	12	12	1,0
1400	9	13	0,7
1750	7	14	0,5
2100	5	15	0,33
2450	3,5	12	0,3

Теплозащитные экраны применяют для локализации источников лучистой теплоты, уменьшения облучённости на рабочих местах и снижения температуры поверхностей, окружающих рабочее место. Ослабление теплового потока за экраном обусловлено его поглощательной и отражательной способностью. В зависимости от того, какая способность экрана более выражена, различают теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие экраны.

К первому классу (теплоотражающие) относят металлические, альфолиевые, алюминиевые экраны.

Ко второму (теплопоглощающие) – экраны из металлической сетки, цепные завесы, экраны из стекла, армированного металлической сеткой; все эти экраны могут орошаться водяной пленкой.

Третий класс (теплоотводящие) составляют экраны из различных стекол: силикатного, кварцевого и органического, бесцветного, окрашенного и металлизированного, пленочные водяные завесы, свободные и стекающие по стеклу.

Приборы и методика измерений

Переносной радиометр ИК-метр предназначен для измерения энергетической яркости источника по интенсивности теплового излучения (теплового потока) в инфракрасном диапазоне.

Область применения радиометра теплового излучения ИК-метр – контроль за параметрами теплового излучения в жилых и рабочих помещениях, а также при проведении комплексного санитарно-гигиенического обследования зданий согласно СНиП 2.04.95-91 и СНиП 2.01.01; в медицине, сельском хозяйстве для измерения плотности потока излучения от нагретых объектов; тепловых потерь в теплоэнергетике, машиностроении и пр.; контроль окружающей среды в части параметров микроклимата органами Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор).

Принцип действия радиометра ИК-метр состоит в преобразовании измеряемого теплового потока в спектральном диапазоне от 1,0 до 25,0 мкм, падающего на микросборку термопар с углом обзора 7,27°, в электрический сигнал, который затем преобразуется аналого-цифровым преобразователем в цифровой код, индицируемый на цифровом табло индикаторного блока (табл. 7.4).

Таблица 7.4

Технические характеристики радиометра

Диапазон измерений энергетической яркости, Вт/(м ² · ср)	От 165 до 5000
Диапазон измерений интенсивности теплового излучения (теплового потока), Вт/м ²	От 10 до 2500
Пределы допускаемой относительной погрешности, %	± 6,0
Время установления показаний, с	10

Встроенное программное обеспечение является неотъемлемой частью прибора и осуществляет функции сбора, обработки и представления на цифровом табло измерительной информации, контроля уровня напряжения питания радиометра, а также идентификации версии программного обеспечения. В сенсометрической щупе установлен первичный преобразователь излучения – термоэлемент для измерения энергетической яркости и освещенности (рис. 7.1).



Рис. 7.1. Внешний вид радиометра: 1 – сенсорная кнопка включения/выключения; 2 – разъем для подключения блока питания; 3 – индикатор «заряд аккумуляторных батарей»; 4 – индикатор «сбой в процессе заряда»

На передней панели индикаторного блока размещен жидкокристаллический двухстрочный дисплей с диапазоном отображения от 0 до 9999 для вывода результатов измерений. В верхней части корпуса индикаторного блока размещен разъем для подключения сенсометрического щупа.

Для заряда аккумуляторных батарей радиометра необходимо вставить штекер блока питания в разъем 2, расположенный с правой стороны радиометра (см. рис. 7.1); вставить вилку зарядного устройства в сетевую розетку ~220 В 50 Гц, при этом загорится индикатор заряда АКБ 3 (см. рис. 7.1) на передней панели радиометра.

Одновременно с окончанием процесса заряда индикатор «заряд аккумуляторных батарей» 3 погаснет. Далее необходимо сначала отключить зарядное устройство от сети ~220 В 50 Гц, а затем отсоединить штекер зарядного устройства от радиометра. Время заряда аккумуляторных батарей зависит от степени их разряда и в среднем составляет три часа.

Описание лабораторной установки

Схема лабораторной установки для получения теплового потока с различными спектральными характеристиками, для исследования интенсивности теплового облучения и оценки эффективности средств теплозащиты включает в себя источник теплового излучения с регулируемой мощностью излучения и выключателем; комплект защитных экранов – 6 штук (алюминиевый лист; стальной лист, окрашенный в черный цвет; стекло силикатное; брезент; стальная цепь; вода в прозрачном плоском экране); радиометр; подставку для закрепления датчика; рамку для установки экрана; направляющие для установки и перемещения экрана и датчика; кассету для хранения защитных экранов (рис. 7.2).

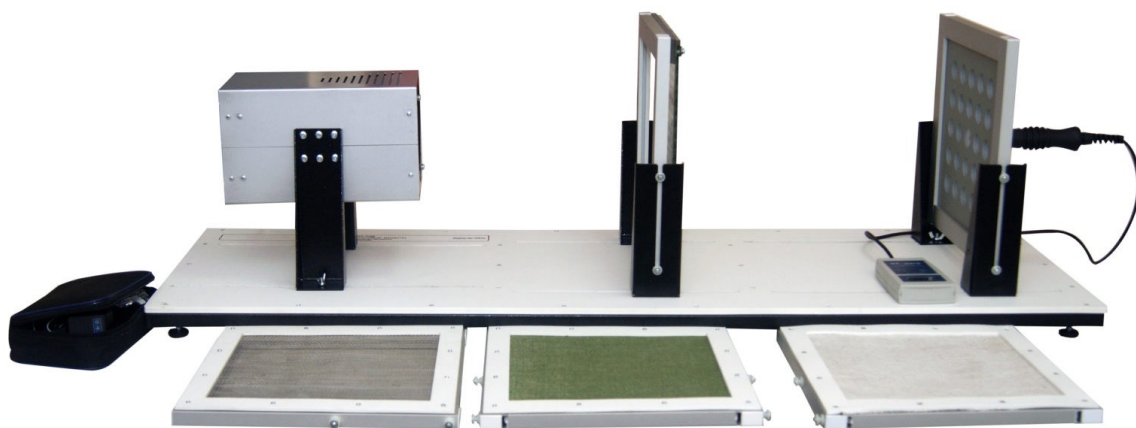


Рис. 7.2. Лабораторная установка для измерения интенсивности теплового излучения

Конструкция стенда предусматривает установку защитного экрана между источником излучения и датчиком измерительного прибора.

Порядок выполнения работы

1. Определить влияние мощности излучателя на интенсивность теплового облучения. Для этого необходимо:

- включить источник теплового излучения на минимальное значение интенсивности излучения;
- закрепить датчик по центру подставки;

- установить подставку, на которой закреплен датчик (измерительная головка), на расстоянии 30 см от источника теплоизлучений;
- измерить интенсивность теплового облучения при всех положениях регулятора (минимальное, среднее, максимальное). Результаты экспериментальных данных занести в табл. 7.5;
- повторить эксперимент для расстояния 70 см от источника теплоизлучений;
- определить время пребывания работающих на рабочих местах при интенсивности инфракрасного облучения выше допустимых величин, используя табл. 7.3;
- сделать выводы о распределении интенсивности теплового облучения в зависимости от мощности источника излучения и расстояния; дать заключение о необходимости применения теплозащитных экранов.

Таблица 7.5

Определение интенсивности теплового облучения в зависимости
от мощности излучателя

Положение регулятора	Исследуемая характеристика	Минимальное значение	Среднее значение	Максимальное значение
30 см	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ²			
	Время пребывания на рабочих местах при интенсивности инфракрасного облучения выше допустимых величин			
70 см	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ²			
	Время пребывания на рабочих местах при интенсивности инфракрасного облучения выше допустимых величин			

2. Оценить эффективность тепловых экранов:
 - установить защитный экран на расстоянии 25 см от источника тепловых излучений;
 - установить ручку регулятора мощности излучения в максимальном положении;
 - измерить интенсивность теплового облучения при максимальной температуре на разных расстояниях. Данные опыта занести в табл. 7.6.

Таблица 7.6

Оценка эффективности тепловых экранов

Наименование экрана	Интенсивность теплоизлучения, Вт/м ² на расстоянии L от источника излучения, см				
	30	40	50	60	70
Алюминиевый лист					
Стальной лист, окрашенный в черный цвет					
Силикатное стекло и т. д.					

3. Сделать выводы об эффективности защитного экранирования и о наиболее эффективном экране в зависимости от расстояния экрана до источника излучения.

**Правила техники безопасности при выполнении
лабораторной работы**

1. При выполнении лабораторной работы на установке необходимо соблюдать общие требования по электробезопасности. Источник теплового излучения включен в сеть переменного тока напряжением 220 В.
2. Перед включением установки в сеть необходимо убедиться, что ручка регулятора мощности установлена в положение «0», а выключатель «Сеть» – в положение «Выключено».
3. Длительность непрерывной работы стенда – 20 мин.
4. Не разрешается класть на короб источника теплового излучения посторонние предметы.
5. При обнаружении в процессе работы неисправности необходимо немедленно прекратить работу и сообщить преподавателю.

6. После окончания работы установить рукоятку регулировки мощности в положение «0», выключатель – в положение «Выключено» и отключить установку от сети.

Контрольные вопросы

1. От каких параметров зависит величина интенсивности теплового излучения на рабочем месте? Указать единицу измерения интенсивности.

2. От какого параметра излучения зависит глубина его проникновения в живую ткань? На какие органы наиболее опасно воздействие излучения?

3. Какой диапазон ИК-излучения при облучении вызывает наиболее тяжелые последствия?

4. Какое профессиональное заболевание может вызвать длительное тепловое облучение? Какой диапазон ИК-излучения при этом наиболее опасен?

5. Через величину какой характеристики оценивается действие теплового излучения на человека? Указать единицу ее измерения.

6. От каких факторов зависит эффект воздействия теплового излучения?

7. При тепловом облучении допустимые значения какого параметра и в зависимости от какого фактора устанавливаются ГОСТ 12.1.005-88?

8. Какими способами обеспечивается защита работников от перегревания? Какой из способов является наиболее распространенным?

9. Какие из исследуемых экранов называются теплоотражающими? Из каких других материалов изготавливают такие экраны?

10. Какие из исследуемых экранов называют теплопоглощающими? Из каких других материалов изготавливают такие экраны?

11. Что используют на производстве в качестве теплоотводящих экранов?

Лабораторная работа № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Цель работы

1. Изучить методику гигиенического нормирования показателей микроклимата рабочих мест производственных помещений и их оценки по степени опасности и вредности.

2. Приобрести навыки исследования микроклимата производственных помещений и его нормализации.

ГОСТ 12.1.005 «Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования» и СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» – нормативные акты, устанавливающие критерии безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды его обитания и требования к обеспечению благоприятных условий его жизнедеятельности.

Санитарные правила обязательны для соблюдения всеми государственными органами и общественными объединениями, предприятиями и иными хозяйствующими субъектами, организациями и учреждениями независимо от их подчинённости и форм собственности, должностными лицами и гражданами (ст. 3. Закона «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».)

В соответствии со ст. 9 и 34 названного Закона в организациях должен осуществляться производственный контроль за соблюдением требований санитарных правил и проведением профилактических мероприятий, направленных на предупреждение возникновения заболеваний работающих в производственных помещениях, а также контроль за соблюдением условий труда и отдыха и выполнением мер коллективной и индивидуальной защиты работающих от неблагоприятного воздействия микроклимата.

Должностные лица и граждане, допустившие санитарное правонарушение, могут быть привлечены к дисциплинарной, административной и уголовной ответственности (ст. 27 Закона «О санитарно-гигиеническом благополучии населения».)

Термины и определения

(СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»).

Производственные помещения – замкнутые пространства в специально предназначенных зданиях и сооружениях, в которых постоянно (по сменам) или периодически (в течении рабочего дня) осуществляется трудовая деятельность людей.

Рабочая зона – пространство, ограниченное по высоте 2 м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или непостоянного (временного) пребывания работающих.

Рабочее место – участок помещения, на котором в течение рабочей смены или части её осуществляется трудовая деятельность. Рабочим местом может являться несколько участков производственного помещения. Если эти участки расположены по всему помещению, то рабочим местом считается вся площадь помещения.

Постоянное рабочее место – место, на котором работающий находится большую часть своего рабочего времени (более 50 % или более двух часов непрерывно). Если при этом работа осуществляется в различных пунктах рабочей зоны, постоянным рабочим местом считается вся рабочая зона.

Непостоянное рабочее место – место, на котором работающий находится меньшую часть (менее 50 % или менее 2 ч непрерывно) своего рабочего времени.

Холодный период года – период года, характеризующийся среднесуточной температурой наружного воздуха, равной +8 °С и ниже.

Теплый период года – период года, характеризующийся среднесуточной температурой наружного воздуха выше +8 °С.

Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энергозатрат организма в ккал/ч (Вт).

К категории Ia относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением (ряд профессий на предприятиях точного приборо- и машиностроения, на часовом, швейном производствах, в сфере управления и т. п.).

К категории Ib относятся работы с интенсивностью энергозатрат 121 – 150 ккал/ч (140 – 174 Вт), производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (ряд профессий в полиграфической промышленности, на предприятиях связи, контролеры, мастера в различных видах производства и т. п.).

К категории IIa относятся работы с интенсивностью энергозатрат 151 – 200 ккал/ч (175 – 232 Вт), связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения (ряд профессий в механосборочных цехах машиностроительных предприятий, в прядильно-ткацком производстве и т. п.).

К категории IIb относятся работы с интенсивностью энергозатрат 201 – 50 ккал/ч (233 – 290 Вт), связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (ряд профессий в механизированных литейных, прокатных, кузнечных, термических, сварочных цехах машиностроительных и металлургических предприятий и т. п.).

К категории III относятся работы с интенсивностью энергозатрат более 250 ккал/ч (более 290 Вт), связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий (ряд профессий в кузнечных цехах с ручной ковкой, литейных цехах с ручной набивкой и заливкой опок машиностроительных и металлургических предприятий и т. п.).

Общие требования и показатели микроклимата

Санитарные правила устанавливают гигиенические требования к показателям микроклимата рабочих мест производственных помещений с учётом интенсивности энергозатрат работающих (категории работ), времени выполнения работы, периодов года и содержат требования к методам измерения и контроля микроклиматических условий.

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма. Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, выступают:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха.

Оптимальные условия микроклимата

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение восьмичасовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно-эмоциональным напряжением (в кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники и др.).

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведённым в табл. 8.1, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и тёплый периоды года.

Таблица 8.1

Рекомендуемые величины интегрального показателя тепловой нагрузки среды (ТНС-индекса) для профилактики перегревания организма

Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Величины интегрального показателя, °С
Ia (до 139)	22,2 – 26,4
Iб (140 – 174)	21,5 – 25,8
IIa (175 – 232)	20,5 – 25,1
IIб (233 – 290)	19,5 – 23,9
III (более 290)	18,0 – 21,8

Допустимые условия микроклимата

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьмичасовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Оптимальные величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 8.2, допустимые величины – в табл. 8.3 применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

Таблица 8.2

Оптимальные величины показателей
микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22 – 24	21 – 25	60 – 40	0,1
	Iб (140 – 174)	21 – 23	20 – 24	60 – 40	0,1
	IIa (175 – 232)	19 – 21	18 – 22	60 – 40	0,2
	IIб (233 – 290)	17 – 19	16 – 20	60 – 40	0,2
	III (более 290)	16 – 18	15 – 19	60 – 40	0,3
Теплый	Ia (до 139)	23 – 25	22 – 26	60 – 40	0,1
	Iб (140 – 174)	22 – 24	21 – 25	60 – 40	0,1
	IIa (175 – 232)	20 – 22	19 – 23	60 – 40	0,2
	IIб (233 – 290)	19 – 21	18 – 22	60 – 40	0,2
	III (более 290)	18 – 20	17 – 21	60 – 40	0,3

Таблица 8.3

**Допустимые величины показателей
микроклимата на рабочих местах производственных помещений**

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более <***>
Холодный	Ia (до 139)	20,0 – 21,9	24,1 – 25,0	19,0 – 26,0	15 – 75 <*>	0,1	0,1
	Iб (140 – 174)	19,0 – 20,9	23,1 – 24,0	18,0 – 25,0	15 – 75	0,1	0,2
	IIa (175 – 232)	17,0 – 18,9	21,1 – 23,0	16,0 – 24,0	15 – 75	0,1	0,3
	IIб (233 – 290)	15,0 – 16,9	19,1 – 22,0	14,0 – 23,0	15 – 75	0,2	0,4
	III (более 290)	13,0 – 15,9	18,1 – 21,0	12,0 – 22,0	15 – 75	0,2	0,4
Теплый	Ia (до 139)	21,0 – 22,9	25,1 – 28,0	20,0 – 29,0	15 – 75 <*>	0,1	0,2
	Iб (140 – 174)	20,0 – 21,9	24,1 – 28,0	19,0 – 29,0	15 – 75 <*>	0,1	0,3
	IIa (175 – 232)	18,0 – 19,9	22,1 – 27,0	17,0 – 28,0	15 – 75 <*>	0,1	0,4
	IIб (233 – 290)	16,0 – 18,9	21,1 – 27,0	15,0 – 28,0	15 – 75 <*>	0,2	0,5
	III (более 290)	15,0 – 17,9	20,1 – 26,0	14,0 – 27,0	15 – 75 <*>	0,2	0,5

<*> При температурах воздуха 25 °С и выше максимальные величины относительной влажности воздуха должны приниматься в соответствии со следующим требованием: при температуре воздуха на рабочих местах 25 °С и выше максимально допустимые величины относительной влажности воздуха не должны выходить за пределы: 70 % – при температуре воздуха 25 °С; 65 % – при температуре воздуха 26 °С; 60 % – при температуре воздуха 27 °С; 55 % – при температуре воздуха 28 °С.

<***> При температурах воздуха 26 – 28 °С скорость движения воздуха в теплый период года должна приниматься в соответствии со следующим требованием. При температуре воздуха 26 – 28 °С скорость движения воздуха, указанная в табл. 8.3 для теплого периода года, должна соответствовать диапазону:

0,1 – 0,2 м/с – при категории работ Ia; 0,1 – 0,3 м/с – при категории работ Iб;

0,2 – 0,4 м/с – при категории работ IIa; 0,2 – 0,5 м/с – при категории работ IIб и III.

В производственных помещениях, в которых допустимые нормативные величины показателей микроклимата невозможно установить из-за технологических требований к производственному процессу или экономически обоснованной нецелесообразности, условия микроклимата следует рассматривать как вредные и опасные. В целях профилактики неблагоприятного воздействия данных условий микроклимата применяют, например, системы местного кондиционирования воздуха, воздушное душирование, компенсацию неблагоприятного воздействия одного параметра микроклимата изменением другого, используют спецодежду и другие средства индивидуальной защиты, оборудуют помещения для отдыха и обогрева, регламентируют время работы, в частности: перерывы в работе, сокращение рабочего дня, увеличение продолжительности отпуска, уменьшение стажа работы и др.

Время работы при температуре воздуха на рабочем месте выше или ниже допустимых величин

В целях защиты работающих от возможного перегревания или охлаждения при температуре воздуха на рабочих местах выше или ниже допустимых величин время пребывания на рабочих местах (непрерывно или суммарно за рабочую смену) должно быть ограничено. При этом среднесменная температура воздуха, при которой работающие находятся в течение рабочей смены на рабочих местах и местах отдыха, не должна выходить за пределы допустимых величин температуры воздуха для соответствующих категорий работ, указанных в табл. 8.3.

Воздействие метеорологических условий на человека определяется процессом теплообмена между организмом человека и окружающей средой. В условиях производства человек должен иметь нормальный тепловой обмен с окружающей средой, т. е. количество тепла, вырабатываемое организмом в единицу времени, должно быть равно количеству тепла, отдаваемого с поверхности тела человека в окружающую среду.

Человеческий организм обладает способностью к терморегуляции, т. е. способностью поглощать или отдавать определенное количество тепла, сохраняя при этом температуру тела почти постоянной ($36,5 - 37\text{ }^{\circ}\text{C}$). В случае недостаточной или избыточной теплоотдачи (конвекцией, излучением и испарением влаги) с поверхности тела че-

ловека в окружающую среду нарушается тепловое равновесие (баланс) и наступает перегрев или переохлаждение организма, что приводит к нарушению нормального самочувствия человека.

Комплексное воздействие на организм человека оптимальных (или допустимых) метеорологических параметров создает тепловое равновесие между телом человека и окружающей средой, обеспечивает нормальный режим терморегуляции, что исключает возможность перегрева или переохлаждения организма человека и не может отрицательно влиять на состояние здоровья человека и производительность труда.

Описание контрольно-измерительных приборов

Для исследования метеорологических условий в производственных помещениях применяются следующие контрольно-измерительные приборы:

1. Аспирационный психрометр (психрометр Асмана) для измерения относительной влажности.
2. Анемометры (ручной крыльчатый типа АСО-03 и ручной чашечный типа МС-13) для измерения малых и больших скоростей движения воздуха в рабочей зоне и воздуховодах.
3. Кататермометр и термоанемометр для измерения малых скоростей движения воздуха в рабочей зоне.

Аспирационный психрометр Асмана (рис. 8.1) состоит из двух спиртовых термометров со шкалой от -30 до $+50$ °С.



Рис. 8.1. Аспирационный психрометр Асмана

При использовании психрометров подсчет относительной влажности ведется по психрометрической таблице (см. рис. 8.1).

Крыльчатый анемометр типа АСО-3 предназначен для измерения малых скоростей движения воздуха в пределах от 0,3 до 5 м/с (или от 1 до 10 м/с) при температуре окружающего воздуха от +10 до +50 °С. Крыльчатый анемометр состоит из небольшого лопастного колеса с алюминиевыми пластинками, укрепленными под некоторым углом к плоскости вращения колеса, и счетного механизма.

Кататермометр представляет собой прибор, измеряющий величину собственного охлаждения от совместного действия температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха при температуре человеческого тела. Прибор выполнен в виде спиртового термометра – стеклянной запаянной трубки с капилляром в верхней и резервуаром в нижней части. Нижний резервуар в виде шара (или цилиндра) заполнен подкрашенным спиртом, а на стеклянную трубку нанесены деления от +33 до +40 °С и на обратной стороне кататермометра указан фактор прибора F , Мкал/(см²·с).

Принцип действия прибора основан на том, что тело, нагретое выше температуры окружающей среды, остывая до определенной температуры (до +33 °С), отдает тепло в окружающую среду путем теплопроводности, конвекции и излучения. Количество тепла, теряемое прибором при его охлаждении с +38 °С до +35 °С, постоянно, а время охлаждения различно и зависит от температуры, влажности и скорости движения окружающего воздуха.

Описание стенда

Стенд «Параметры микроклимата» предназначен для проведения экспериментальных исследований по измерению параметров микроклимата на рабочих местах, учета их влияния на работоспособность человека, ознакомления с требованиями санитарных норм и правил к микроклимату (рис. 8.2).

В комплект стенда входят:

- лабораторная установка;
- метеометр для измерения температуры и влажности – 1 шт.;
- нагреватель с закрытым нагревательным элементом;
- вентилятор с плавно регулируемой скоростью вращения;

- гигрометр психрометрический;
- регулируемый по высоте штатив для размещения датчиков метеометра.

Лицевая панель лабораторной установки показана на рис. 8.2. За лицевой панелью расположена камера (далее – камера стенда), в которой расположены вентилятор, нагреватель и освещение.



Рис. 8.2. Внешний вид лабораторного стенда

На лицевой панели лабораторной установки находятся:

1. Блок «Питание стенда», который содержит индикатор подключения к сети и дифавтомат, предназначенный для подачи питания на стенд.
2. Блок «Освещение», который включает в себя выключатель освещения и ручку регулировки интенсивности источника света.
3. Блок «Нагрев», в которой входит выключатель нагревательного элемента и ручку регулировки (галетный переключатель) мощности нагрева.
4. Блок «Вентиляция», который содержит выключатель вентилятора и ручку регулировки скорости вращения вентилятора.

Общие положения

Среднесуточная температура наружного воздуха – средняя величина температуры наружного воздуха, измеренная в определенные часы суток через одинаковые интервалы времени. Она принимается по данным метеорологической службы.

Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энерготрат организма в ккал/ч (Вт). Характеристика категорий работ (Ia, Ib, IIa, IIb, III) представлена на с. 109.

Тепловая нагрузка среды (ТНС) – сочетанное действие на организм человека параметров микроклимата (температуры, влажности, скорости движения воздуха, теплового облучения), выраженное одночисловым показателем в градусах Цельсия – ТНС-индекса.

Показатели микроклимата, тепловой баланс организма человека

Метеорологические условия в производственных помещениях – это сочетание пяти физических производственных факторов:

- 1) температуры воздуха t , °С;
- 2) температуры поверхностей $t_{\text{п}}$, °С;
- 3) относительной влажности воздуха ϕ , %;
- 4) скорости движения воздуха V , (м/с);
- 5) интенсивности теплового облучения Q , Вт/м²;

Температура воздуха – параметр, характеризующий степень нагретости воздуха.

Температура поверхностей – параметр, характеризующий степень нагрева поверхностей ограждающих конструкций (стен, потолка, пола), устройств (экраны и т. п.), а также технологического оборудования или ограждающих его устройств. Температура представляет собой меру средней кинетической энергии поступательного движения молекул, составляющих воздух (ограждающие конструкции, технологическое оборудование и т. д.).

Влажность воздуха – параметр, отражающий содержание в воздухе водяных паров.

Различают абсолютную действительную, абсолютную максимально возможную и относительную влажность воздуха.

Абсолютной влажностью называется масса пара, содержащаяся в 1 м³ влажного воздуха, численно равная плотности пара при парциальном давлении.

Максимально возможной влажностью воздуха называется максимально возможная плотность водяных паров при данной температуре.

Относительной влажностью воздуха выступает отношение действительной абсолютной влажности ненасыщенного воздуха к максимально возможной абсолютной влажности воздуха при той же температуре.

Скорость движения воздуха – параметр, отражающий интенсивность движения воздушных масс.

Интенсивность теплового облучения – параметр, характеризующий перенос энергии инфракрасным излучением от нагретых поверхностей оборудования, отопительных и осветительных приборов, излучения Солнца, проникающего через оконные проемы.

Условием существования человека как теплокровного биосущества является соблюдение состояния теплового равновесия, при котором количество образовавшегося в нем тепла равно количеству тепла, выделенного во внешнюю среду в тот же промежуток времени.

Тепловой баланс человека с окружающей средой можно выразить уравнением

$$M \pm C \pm R - \varepsilon = 0,$$

где M – метаболическое тепло, полученное за счет процесса обмена веществ в организме, равное 116,6 – 125,5 Вт в условиях покоя;

C – тепло, получаемое организмом из внешней среды или отдающееся во внешнюю среду путем конвекции (теплообмен с окружающим воздухом);

R – тепло радиации (теплообмен с окружающими поверхностями);

ε – испарение влаги через кожу и с выдыхаемым воздухом.

Значительное накопление тепла приводит к гипертермии – состоянию, при котором температура тела поднимается до 38 – 39 °С. Симптомы: головная боль, головокружение, общая слабость, искажение цветового восприятия, сухость во рту, тошнота, рвота, обильное потовыделение. Пульс и дыхание учащены. При этом наблюдаются бледность, синюшность, зрачки расширены, временами возникают судороги, потеря сознания.

Гипотермия – переохлаждение организма. В начальный период воздействия умеренного холода наблюдается уменьшение частоты дыхания, увеличение объема вдоха. При продолжительном воздействии холода дыхание становится неритмичным, частота и объем вдоха увеличиваются.

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия (системы местного кондиционирования воздуха, воздушное душирование, компенсация неблагоприятного воздействия одного параметра микроклимата изменением другого, спецодежда и другие средства индивидуальной защиты, помещения для отдыха и обогрева, регламентация времени работы, в частности: перерывы в работе, сокращение рабочего дня, увеличение продолжительности отпуска, уменьшение стажа работы и др.).

Классификация условий труда по показателям микроклимата

Сочетание параметров микроклимата, при котором имеет место нарушение теплообмена человека с окружающей средой, характеризуется понятиями нагревающего и охлаждающего микроклимата.

Нагревающий микроклимат – сочетание параметров микроклимата (температуры воздуха, влажности, скорости его движения, теплового излучения), при котором имеет место нарушение теплообмена человека с окружающей средой, выражающееся в накоплении тепла в организме выше верхней границы оптимальной величины ($> 0,87$ кДж/кг) и/или увеличении доли потерь тепла испарением пота (> 30 %) в общей структуре теплового баланса, появлении общих или локальных дискомфортных теплоощущений (слегка тепло, тепло, жарко).

Для оценки нагревающего микроклимата в помещении (вне зависимости от периода года), а также на открытой территории в теплый период года используется интегральный показатель – тепловая нагрузка среды (ТНС-индекс). Значения ТНС-индекса не должны выходить за пределы величин, рекомендуемых в табл. 8.1.

Охлаждающий микроклимат – сочетание параметров микроклимата, при котором имеет место изменение теплообмена организма, приводящее к образованию общего или локального дефицита тепла в

организме ($< 0,87$ кДж/кг) в результате снижения температуры «ядра» и/или «оболочки» тела (температура «ядра» и «оболочки» тела – соответственно температура глубоких и поверхностных слоев тканей организма).

В зависимости от теплового и функционального состояния человека условия труда по показателям микроклимата (нагревающего и охлаждающего) относят к тому или иному классу вредности и опасности.

Оптимальные условия микроклимата (1-й класс) установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение восьмичасовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонения в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно-эмоциональным напряжением (в кабинетах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники и др.).

Перечень других рабочих мест и видов работ, при которых должны обеспечиваться оптимальные величины микроклимата, определяются санитарными правилами по отдельным отраслям промышленности и санитарно-эпидемиологического надзора в установленном порядке и другими документами, согласованными с органами государственного санитарно-эпидемиологического надзора в установленном порядке.

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в табл. 8.2, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

Допустимые условия микроклимата (2-й класс) установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьмичасовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений и нарушений состояния здоровья, но могут приводить к

возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 8.3, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

Допустимые условия микроклимата условно относят к безопасным.

Оптимальные и допустимые значения показателей микроклимата установлены с учетом периода года, интенсивности энерготрат работающих, продолжительности выполнения работы.

В производственных помещениях, в которых допустимые нормативные величины показателей микроклимата невозможно установить из-за технологических требований к производственному процессу или экономически обоснованной нецелесообразности, условия микроклимата следует рассматривать как вредные и опасные.

Вредные условия микроклимата (3-й класс) характеризуются превышением оптимальных и допустимых гигиенических нормативов; оказывают неблагоприятное действие на организм работающего. Вредные условия микроклимата по степени опасности подразделяются на четыре степени вредности.

Опасные (экстремальные) условия труда (4-й класс) характеризуются значениями показателей микроклимата, воздействие которых в течение рабочей смены (или ее части) создает угрозу для жизни, высокий риск тяжелых форм перегрева и переохлаждения организма.

Мероприятия по оптимизации параметров микроклимата на рабочем месте

1. Автоматизация и дистанционное управление технологическими процессами. Это мероприятие позволяет во многих случаях вывести человека из производственных зон, где действуют неблаго-

приятные факторы (например, автоматизированная загрузка печей в металлургии, управление розливом металла и др.).

2. Рациональные вентиляция, отопление и кондиционирование воздуха.

Они являются наиболее распространенными способами нормализации микроклимата в производственных помещениях. Так называемое воздушное и водно-воздушное охлаждение широко используется в борьбе с перегреванием рабочих в горячих цехах.

Обеспечить нормальные тепловые условия в холодный период года в весьма габаритных и облегченных промышленных зданиях очень тяжело и экономически нецелесообразно. Наиболее рациональным вариантом в этом случае будет применение лучистого нагрева постоянных рабочих мест и отдельных участков. Защита от сквозняков достигается путем плотного закрывания окон, дверей и других отверстий, а также устройством воздушных и воздушно-тепловых завес на дверях и воротах.

3. Рационализация режимов труда и отдыха достигается сокращением продолжительности рабочего времени, введением дополнительных перерывов, созданием условий для эффективного отдыха в помещениях с нормальными метеорологическими условиями. Если организовать отдельное помещение тяжело, то в горячих цехах создают зоны отдыха – охлаждательные беседки, где средствами вентиляции обеспечивают нормальные температурные условия.

Для рабочих, которые работают на открытом воздухе зимой, оборудуют помещения для согревания, в которых температуру поддерживают немного выше, чем комфортная.

4. Применение теплоизоляции оборудования и защитных экранов. В качестве теплоизоляционных материалов широко используются асбест, асбоцемент, минеральная вата, стекловата, керамзит, пенопласт и др. На производстве применяют также защитные экраны для ограждения источников теплового излучения от рабочих мест. По принципу защиты от действия тепла экраны бывают отражающие, поглощающие, отводные и комбинированные. Хорошую защиту от теплового излучения осуществляют водяные завесы, которые широко используются в металлургии.

5. Использование средств индивидуальной и групповой защиты. Существенное значение для профилактики перегревания организма человека имеют средства индивидуальной и групповой защиты. Спецодежда должна быть воздухо- и влагонепроницаемой (из льна), иметь удобный покрой. Для работы в экстремальных условиях применяются специальные костюмы с повышенной тепло- и светоотдачей. Для защиты головы от излучения применяют дюралевые, фибровые каски, войлочные шляпы; для защиты глаз – очки (темные или с прозрачным пластом металла), маски с откидным экраном. Защита от действия пониженной температуры достигается использованием теплой спецодежды, а во время осадков – плащей и резиновых сапог.

К групповым средствам защиты можно отнести устройства для защиты рабочих от перегревания, например камеру-релаксатор для восстановления теплового баланса организма человека.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с краткой теорией, описанием стенда и руководством по эксплуатации метеометра (см. приложение).

2. С помощью метеометра определить показатели микроклимата в помещении лаборатории: температуру, влажность. Период года принять в соответствии с реальными погодными условиями, категорию работ – по указанию преподавателя. Занести полученные данные в табл. 8.4.

3. Используя данные табл. 8.1 – 8.3, оценить микроклимат в лаборатории для указанных условий и типа работ.

4. Подключить стенд к сети, включить дифавтомат «Питание стенда». Включить выключатель блока «Освещение», с помощью ручки регулировки установить интенсивность освещения по указанию преподавателя.

5. С помощью метеометра определить показатели микроклимата в камере стенда: температуру, влажность. Период года и категорию работ для опыта принять такими же, как для опыта, проводимого в естественных условиях. Занести полученные данные в табл. 8.4.

6. Включить выключатель блока «Нагрев», с помощью ручки регулировки установить мощность нагрева по указанию преподавателя.

7. С помощью метеометра определить показатели микроклимата в камере стенда: температуру, влажность. Период года и категорию работ для опыта принять такими же, как для опыта, проводимого в естественных условиях. Занести полученные данные в табл. 8.4.

8. Включить выключатель блока «Вентиляция», с помощью ручки регулировки установить скорость потока воздуха по указанию преподавателя.

9. С помощью метеометра определить показатели микроклимата в камере стенда: температуру, влажность. Период года и категорию работ для опыта принять такими же, как для опыта, проводимого в естественных условиях. Занести полученные данные в табл. 8.4.

10. Используя данные табл. 8.1 – 8.3, оценить микроклимат в камере для данного опыта.

11. Посчитать индекс ТНС для каждого проведенного опыта по формуле

$$\text{ТНС} = 0,7 \cdot t_{\text{вл}} + 0,3 \cdot t_{\text{ш}},$$

где $t_{\text{вл}}$ – показания влажного термометра;

$t_{\text{ш}}$ – показания шарового термометра.

12. Проанализировать результаты, предложить мероприятия по оптимизации параметров микроклимата на рабочем месте для каждого опыта. Сделать выводы.

Таблица 8.4

Условия проведения исследования	Период года	Категория работ	Температура	Влажность	Скорость воздуха	ТНС
Естественные условия (в лаборатории)						
Искусственные условия (освещение)						
Искусственные условия (нагрев)						
Искусственные условия (вентиляция)						

Контрольные вопросы

1. Дайте определение холодному и теплomu периодам года.
2. Что такое индекс ТНС?
3. Какие факторы влияют на микроклимат в производственных помещениях?
4. Каким уравнением выражается тепловой баланс человека с окружающей средой?
5. Какие существуют классы условий труда по показателям микроклимата?
6. Дайте определения понятиям «нагревающий микроклимат» и «охлаждающий микроклимат».
7. Перечислите мероприятия по оптимизации параметров микроклимата на рабочем месте.
8. На основе чего производится дифференциация работ по категориям?

Лабораторная работа № 9

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ВИБРАЦИИ

Цель работы

1. Исследование параметров производственной вибрации на соответствие требованиям санитарных норм и стандартов безопасности труда.

2. Исследование производственной вибрации и способов защиты от неё.

Студент должен знать:

а) физическое явление «вибрация» – её сущность, источники, причины возникновения, характеристики и способы обнаружения;

б) производственную вибрацию – её источники, причины возникновения, влияние на работающих и окружающих, способы обнаружения и меры борьбы с ней;

в) организационно-технические меры по недопущению или снижению уровня производственной вибрации;

уметь:

г) определять приборами и подручными средствами источники производственной вибрации, оценивать её величину;

д) принимать меры по устранению или снижению уровня производственной вибрации.

Теоретическая часть

Вибрация – это механическое колебательное движение системы с упругими связями.

Вибрация относится к факторам, обладающим значительной биологической активностью. Восприятие вибрации объективно зависит от индивидуальных физиологических реакций и биохимических свойств каждого человека, а также от степени распространения колебаний на тело человека, их частоты, амплитуды, площади участков тела, соприкасающихся с вибрирующим объектом, места приложения и других условий.

Вибрации по способу передачи на человека (в зависимости от характера контакта с источником вибрации) условно подразделяются на *местные* (локальные) и *общие*, передающиеся через опорные по-

верхности на тело человека в положении сидя (ягодицы) или стоя (подошвы ног). В производственных условиях нередко имеет место сочетанное действие местной и общей вибрации.

В соответствии с действующими санитарными нормами СИ 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» производственные вибрации по своим физическим характеристикам классифицируются:

а) по характеру спектра:

- низкочастотные;
- среднечастотные;
- высокочастотные;

б) по временным характеристикам:

- постоянные;
- непостоянные:
- колеблющиеся во времени;
- прерывистые;
- импульсные, состоящие из нескольких вибрационных воздействий (например, ударов).

Производственными источниками локальной вибрации являются ручные механизированные машины ударного, ударно-вращательного и вращательного действий с пневматическим или электрическим приводом.

Общая вибрация рабочих мест по источнику возникновения подразделяется на *транспортную, транспортно-технологическую и технологическую*. Водители транспортных машин (тракторов, самоходной сельскохозяйственной техники, грузового автотранспорта, землеройных машин и др.), а также операторы транспортно-технологического оборудования (экскаваторов, подъёмных кранов, горнодобывающих машин, бетоноукладчиков и др.) подвергаются воздействию общей и локальной (местной) вибрации. Кроме того, на рабочее место водителя, в том числе и на органы управления, передаётся вибрация, возникающая в результате работы двигателя и трансмиссии. Эта вибрация может превышать нормативные уровни.

Факторы производственной среды – чрезмерные мышечные нагрузки, шум высокой интенсивности, неблагоприятные микроклиматические условия – оказывают усугубляющее вредное воздействие вибрации на организм.

Длительное влияние вибрации, сочетающееся с комплексом неблагоприятных производственных факторов, может приводить к стойким патологическим нарушениям в организме работающих, развитию вибрационной болезни. Наибольшее распространение имеет вибрационная болезнь, обусловленная воздействием локальной вибрации.

Одним из основных симптомов вибрационной болезни следует считать сосудистые расстройства. Больные жалуются на внезапно возникшие приступы побеления пальцев, которые чаще всего появляются при мытье рук холодной водой или при общем охлаждении организма; появляются ноющие, ломящие, тянущие боли в верхних конечностях, беспокоящие больше по ночам или во время отдыха. Боли сопровождаются повышенной зябкостью кистей. Появляется расстройство вибрационной, болевой и температурной чувствительности. Изменения со стороны костей появляются в виде дегенеративно-дистрофических изменений.

Одним из основных симптомов вибрационной болезни, вызванной воздействием общей вибрации и толчками, является *вестибулопатия*, которая проявляется головокружением, головными болями, гипергидрозом и т. д. Нередко возникают дисфункции пищеварительных желез, моторной, секреторной функций желудка и т. д. Происходят изменения и в позвоночнике в виде деформирующего остеоартроза пояснично-крестцового отдела или дискозов.

При всех видах вибрационной болезни нередко наблюдаются изменения со стороны центральной нервной системы. У рабочих виброопасных профессий с большим стажем возникают невриты слуховых нервов и даже понижение слуха.

Общая вибрация оказывает также отрицательное влияние на женскую половую сферу: отмечается обострение воспалительных процессов в половых органах, наблюдаются расстройства менструального цикла в виде дисменореи.

Основными профилактическими мероприятиями выступают технические способы ограничения и уменьшения вибрации, рациональные режимы труда и отдыха, лечебно-профилактические меры.

Наиболее действенными средствами защиты человека от вибрации являются устранение непосредственного его контакта с вибрирующим оборудованием; замена и усовершенствование технологиче-

ских операций, конструктивные усовершенствования; применение средств внешней виброзащиты упругодемпфирующими материалами и устройствами, которые размещаются между источником вибрации и руками человека, а также постоянный контроль за исправностью оборудования и своевременным планово-предупредительным его ремонтом, так как в процессе эксплуатации и износа, особенно для ручного механизированного оборудования, происходит выраженное усиление вибрации. В целях профилактики работающие должны использовать средства индивидуальной защиты: рукавицы или перчатки, спецобувь. Запрещается проведение сверхурочных работ на вибрирующем оборудовании.

Важная роль в профилактике развития профессиональных заболеваний от воздействия вибрации принадлежит гигиеническому нормированию (Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.566-96), регламентирующему нормируемые параметры, предельно допустимые значения производственной вибрации, допустимые значения вибраций в жилых и общественных зданиях. Санитарные нормы являются обязательными для всех организаций и юридических лиц на территории Российской Федерации независимо от форм собственности, подчинения и принадлежности и физических лиц независимо от гражданства. Имеется ряд нормативов, регламентирующих параметры вибрации машин и оборудования, в виде ГОСТов, многие из которых относятся к стандартам системы безопасности труда, например ГОСТ 26568-85 «Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация».

Юридические лица и индивидуальные предприниматели в соответствии с осуществляемой ими деятельностью обязаны выполнять требования санитарного законодательства (СП 1.1.1058-01 «Организация и проведение производственного контроля за соблюдением санитарных правил и выполнением санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий»), в том числе разрабатывать и проводить санитарно-противоэпидемические (профилактические) мероприятия; обеспечивать безопасность для здоровья человека выполняемых работ и оказываемых услуг; осуществлять производственный контроль, в том числе посредством проведения лабораторных исследований и испытаний, за соблюдением санитарных правил и проведением санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий при выполнении работ и оказании услуг.

Одним из наиболее важных аспектов медико-биологической профилактики неблагоприятного воздействия вибрации являются обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры.

Скорость колебательного движения частиц среды называется колебательной скоростью, или виброскоростью v , м/с, определяемой по формуле:

$$v = \omega A = 2\pi f A,$$

где A – амплитуда колебания;

f – частота;

ω – циклическая частота.

Виброускорение a , м/с², соответственно равно

$$a = \omega^2 A = (2\pi f)^2 A.$$

Учитывая, что абсолютные значения виброскорости и виброускорения изменяются в очень широких пределах, в практике виброакустических исследований используют их логарифмические уровни L_v , L_a , дБ:

$$L_v = 20 \lg\left(\frac{v}{v_0}\right);$$

$$L_a = 20 \lg\left(\frac{a}{a_0}\right),$$

где v – среднее квадратическое значение виброскорости, м/с;

$v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с – пороговое значение виброскорости;

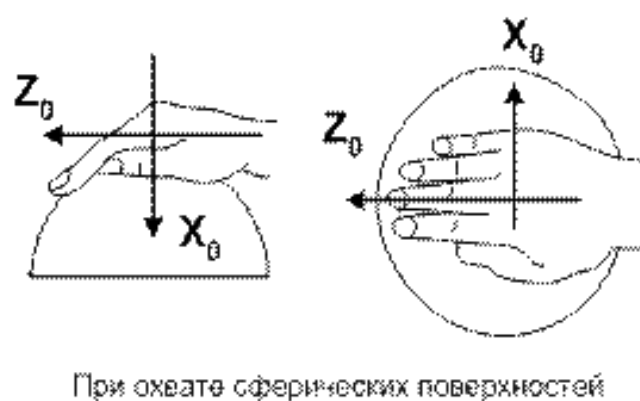
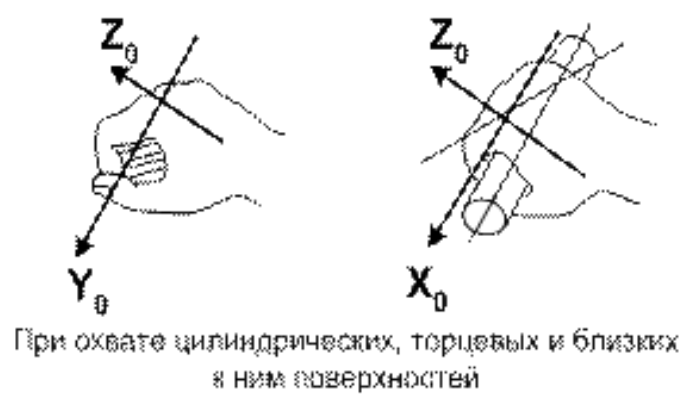
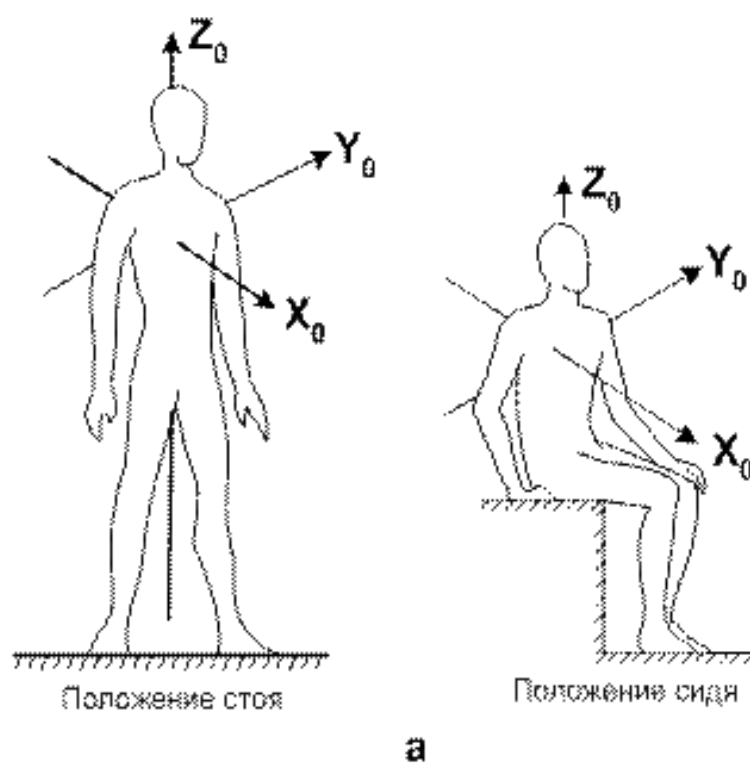
a – среднее квадратическое значение виброускорения, м/с²;

$a_0 = 10^{-6}$ м/с² – пороговое значение виброускорения.

Классификация вибрации, воздействующей на человека-оператора (ГОСТ 12.1.012-90)

1. По способу передачи на человека различают общую и локальную вибрации. Общая вибрация передается через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека. Локальная вибрация передается через руки человека. Вибрация, воздействующая на ноги сидящего человека и на предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями рабочих столов, может быть отнесена к локальной вибрации.

2. По направлению действия вибрацию подразделяют в соответствии с направлением осей ортогональной системы координат (см. рисунк).



б

*Направление координатных осей
при действии вибрации:
а) общая вибрация; б) локальная вибрация*

Для общей вибрации ось Z_0 – вертикальная, перпендикулярная к опорной поверхности, ось X_0 – горизонтальная от спины к груди, ось Y_0 – горизонтальная от правого плеча к левому. Для локальной вибрации ось $X_{\text{л}}$ совпадает или параллельна оси места охвата источника вибрации (рукоятки, рулевого колеса, рычага управления, обрабатываемого изделия, удерживаемого в руках). Ось $Z_{\text{л}}$ лежит в плоскости, образованной осью $X_{\text{л}}$ в направлении подачи или приложения силы, и направлена вдоль оси предплечья. Ось $Y_{\text{л}}$ направлена от ладони.

3. Общая вибрация в зависимости от источника возникновения (вида оборудования) подразделяется на следующие категории работ (табл. 9.1):

- 1 – транспортная;
- 2 – транспортно-технологическая;
- 3 – тип «а» – технологическая, создаваемая стационарным оборудованием;
- 3 – тип «б» – технологическая в производственных помещениях, где нет генерирующих вибрацию машин (см. примечание к табл. 9.1);
- 3 – тип «в» – технологическая на рабочих местах работников умственного труда.

Таблица 9.1

Категории общей вибрации (ГОСТ 12.1.012-90)

Категория вибрации по санитарным нормам и критерий оценки	Характеристика условий труда	Примеры источников вибрации
1-я. Безопасность	Транспортная вибрация, воздействующая на операторов подвижных самоходных и прицепных машин и транспортных средств при их движении по местности, агрофонам и дорогам, в том числе при их строительстве	Тракторы сельскохозяйственные и промышленные; машины для обработки почвы, уборки и посева сельскохозяйственных культур; автомобили, строительные-дорожные машины, в том числе бульдозеры, скреперы, грейдеры, катки, снегоочистители и т. п.; самоходный горно-шахтный транспорт

Категория вибрации по санитарным нормам и критерий оценки	Характеристика условий труда	Примеры источников вибрации
2-я. Граница снижения производи- тельности труда	Транспортно-технологи- ческая вибрация, воздей- ствующая на операторов машин с ограниченной подвижностью, переме- щающихся только по спе- циально подготовленным поверхностям производ- ственных помещений, промышленных площадок и горных выработок	Экскаваторы, краны промыш- ленные и строительные, маши- ны для загрузки мартеновских печей; горные комбайны; шахт- ные погрузочные машины; самоходные бурильные карет- ки; путевые машины, бетоно- укладчики; напольный производственный транспорт
3-я, тип «а». Граница снижения производи- тельности труда	Технологическая vibra- ция, воздействующая на операторов стационар- ных машин и оборудова- ния или передающаяся на рабочие места, не имею- щие источников вибрации	Станки металло- и деревообра- батывающие, кузнечно-прессовое оборудование, литейные маши- ны, электрические машины, насосные агрегаты, вентилято- ры, буровые станки, установки химической и нефтехимической промышленности, стационар- ное оборудование сельскохо- зяйственного производства
3-я, тип «в». Комфорт	Вибрация на рабочих местах работников умственного труда и пер- сонала, не занимающегося физическим трудом	Диспетчерские, заводоуправле- ния, конструкторские бюро, лаборатории, учебные помеще- ния, вычислительные центры, конторские помещения, здравпункты и т. д.

Примечание: Для общей технологической вибрации (категория **3-я, тип «б»**), передающейся на рабочие места в складах, столовых, бытовых, дежурных и других производственных помещениях, где нет генерирующих вибрацию машин, нормой вибрационной нагрузки являются указанные в табл., 9.2. и 9.4 нор-
мы, значения которых умножены на 0,4, а уровни уменьшены на 8 дБ.

При постоянной вибрации спектральные или скорректированные по частоте значения виброскорости или виброускорения за время наблюдения изменяются не более чем в два раза (уровни L_v , L_a – не более чем на 6 дБ). При непостоянной вибрации эти параметры за время наблюдения изменяются более чем в два раза (уровни L_v , L_a – более чем на 6 дБ).

Спектральные параметры – это параметры вибрации в октавных и 1/3-октавных полосах частот; скорректированные по частоте – общие одночисловые параметры вибрации для всего диапазона частот, создаваемого источником вибрации.

Нормирование параметров вибрации. Санитарные нормы параметров вибрации приведены в ГОСТ 12.1.012-90 «Вибрационная безопасность» и СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

Нормируемыми параметрами вибрации являются спектральные и скорректированные по частоте средние квадратические значения виброускорения a , виброскорости v и их логарифмические уровни L_a , L_v (табл. 9.2 – 9.5).

Таблица 9.2

Санитарные нормы одночисловых показателей вибрационной нагрузки на оператора, скорректированные по частоте
(согласно ГОСТ 12.1.012-90)

Вид вибрации	Категория вибрации по санитарным нормам	Направление действия	Нормативные, скорректированные по частоте и эквивалентные скорректированные значения			
			виброускорения		виброскорости	
			м/с ²	дБ	м/с·10 ⁻²	дБ
Локальная	—	X_l, Y_l, Z_l	2,0	126	2,0	112
Общая	1-я	Z_0	0,56	115	1,1	107
		Y_0, X_0	0,4	112	3,2	116
	2-я	Z_0, X_0, Y_0	0,28	109	0,56	101
	3-я, тип «а»	Z_0, X_0, Y_0	0,1	100	0,2	92
	3-я, тип «в»	Z_0, X_0, Y_0	0,014	83	0,028	75

Таблица 9.3

Санитарные нормы спектральных показателей вибрационной нагрузки на оператора. Общая вибрация, категория 1 (ГОСТ 12.1.012-90)

Средне-геометрическая частота полос, Гц	Нормативные значения															
	виброускорения								виброскорости							
	м/с ²				дБ				м/с·10 ⁻²				дБ			
	в 1/3-окт.		в 1/1-окт.		в 1/3-окт.		в 1/1-окт.		в 1/3-окт.		в 1/1-окт.		в 1/3-окт.		в 1/1-окт.	
	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀
0,8	0,71	0,224			117	107			14,12	4,45			129	119		
1,0	0,63	0,224	1,10	0,39	116	107	121	112	10,03	3,57	20,0	6,3	126	117	132	122
1,25	0,56	0,224			115	107			7,13	2,85			123	115		
1,6	0,50	0,224			114	107			4,97	2,29			120	113		
2,0	0,45	0,224	0,79	0,42	113	107	118	113	3,58	1,78	7,1	3,5	117	111	123	117
2,5	0,40	0,280			112	109			2,95	1,78			114	111		
3,15	0,355	0,365			111	111			1,78	1,78			111	111		
4,0	0,315	0,450	0,57	0,8	110	113	115	118	1,25	1,78	2,5	3,2	108	111	114	116
5,0	0,315	0,56			110	115			1,00	1,78			106	111		
6,3	0,315	0,710			110	117			0,80	1,78			104	111		
8,0	0,315	0,900	0,6	1,62	110	119	116	124	0,64	1,78	1,3	3,2	102	111	108	116
10,0	0,40	1,12			112	121			0,64	1,78			102	111		
12,5	0,50	1,40			114	123			0,64	1,78			102	111		
16,0	0,63	1,80	1,13	3,2	116	125	121	130	0,64	1,78	1,2	3,2	102	111	107	116
20,0	0,80	2,24			118	127			0,64	1,78			102	111		
25	1,0	2,80			120	129			0,64	1,78			102	111		
31,5	1,25	3,55	2,25	6,4	122	131	127	136	0,64	1,78	1,1	3,2	102	111	107	116
40,0	1,60	4,50			124	133			0,64	1,78			102	111		
50,0	2,00	5,60			126	135			0,64	1,78			102	111		
63,0	2,50	7,10	4,5	12,8	128	137	133	142	0,64	1,78	1,1	3,2	102	111	107	116
80,0	3,15	9,00			130	139			0,64	1,78			102	111		

Таблица 9.4

Санитарные нормы спектральных показателей вибрационной нагрузки на оператора. Общая вибрация, категория 2 (ГОСТ 12.1.012-90)

Среднегеометрическая частота полос, Гц	Нормативные значения в направлениях X_0 , Y_0							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с ²		дБ		м/с		дБ	
	в 1/3-окт.	в 1/1-окт.	в 1/3-окт.	в 1/1-окт.	в 1/3-окт.	в 1/1-окт.	в 1/3-окт.	в 1/1-окт.
1,6	0,25		108		2,48		114	
2,0	0,224	0,4	107	112	1,79	107	111	117
2,5	0,20		106		1,28		108	
3,15	0,178		105		0,90		107	
4,0	0,158	0,285	104	109	0,62	1,3	102	108
5,0	0,158		104		0,50		100	
6,3	0,158		104		0,40		98	
8,0	0,158	0,300	104	110	0,32	0,63	96	102
10,0	0,200		106		0,32		96	
12,5	0,25		108		0,32		96	
16,0	0,315	0,580	110	115	0,32	0,56	96	101
20,0	0,40		112		0,32		96	
25,0	0,50		114		0,32		96	
31,5	0,63	1,13	116	121	0,32	0,56	96	101
40,0	0,80		118		0,32		96	
50,0	1,0		120		0,32		96	
63,0	1,25	2,25	122	127	0,32	0,56	96	101
80,0	1,60		124		0,32		96	

Таблица 9.5

Санитарные нормы спектральных показателей вибрационной нагрузки на оператора. Локальная вибрация (ГОСТ 12.1.012-90)

Среднегеометрическая частота полос, Гц	Нормативные значения в направлениях			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с ²	дБ	м/с ² · 10 ²	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,7	129	1,4	109
63	5,4	135	1,4	109
125	10,7	141	1,4	109
250	21,3	147	1,4	109
500	42,5	153	1,4	109
1000	85,0	159	1,4	109

При нормировании параметров вибрации учитываются следующие факторы:

1. Вид вибрации (общая, локальная, вертикальная, горизонтальная).

2. Категория общей вибрации в зависимости от источника ее возникновения (транспортная, транспортно-технологическая, технологические 3а, 3б, 3в).

3. Временная характеристика вибрации (постоянная, непостоянная). При непостоянной вибрации нормой вибрационной нагрузки на оператора являются одночисловые эквивалентные скорректированные значения контролируемых параметров.

4. Нормируемый диапазон частот:

– для локальной вибрации в виде октавных полос со среднегеометрическими частотами 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц;

– для общей вибрации октавных полос со среднегеометрическими частотами 1; 2; 4; 8; 16; 31,5; 63 Гц;

– для общей вибрации 1/3-октавных полос со среднегеометрическими частотами от 0,8 до 80 Гц.

5. Длительность действия вибрации. При длительности действия вибрации менее 8 ч (480 мин) допустимые значения виброускорения и виброскорости определяются по формулам

$$a_T = a_{480} \sqrt{\frac{480}{T}};$$
$$v_T = v_{480} \sqrt{\frac{480}{T}}$$

где a_{480} , v_{480} – допустимые значения виброускорения и виброскорости при длительности действия в течение 8 ч (по ГОСТ 12.1.012-90, СН 2.2.4/2.1.8.566-96);

T – фактическое время воздействия вибрации, мин.

Экспериментальная часть

1. Для исследования параметров производственной вибрации на соответствие требований санитарных норм и стандартов безопасности труда предназначен лабораторный стенд «Исследование способов защиты от производственной вибрации».

2. Ознакомьтесь с техническим описанием учебно-лабораторного стенда «Исследование способов защиты от производственной вибрации» (далее – «Техническое описание»). Тщательно изучите стенд в целом, а также все его отдельные модули и компоненты.

3. Подготовьте стенд к работе в соответствии с Техническим описанием. Установите указанную преподавателем виброизолирующую платформу на стенд, установите датчик вибрации и указанное преподавателем количество грузов.

4. Подключите стенд к сети. Устанавливая с помощью генератора сигналов значения частот, указанные в первом столбце табл. 9.5, определите и запишите экспериментальные значения уровней виброускорения по показаниям измерителя вибрации.

5. Проанализируйте полученные значения в текущей конфигурации стенда (количество грузов, тип установленной виброизолирующей платформы, амплитуду сигнала) на соответствие указанным в табл. 9.5 нормам.

6. Объясните полученные в исследовании результаты. Насколько соответствуют экспериментальные данные ожидаемым? В рабочей тетради зарисуйте схему проведения экспериментов и запишите по

пунктам или в виде таблицы порядок их проведения: название эксперимента, цель эксперимента, используемые компоненты оборудования, входные данные для эксперимента, ход эксперимента, полученные результаты и выводы. Определите для себя темы для дальнейших исследований и также запишите их в рабочую тетрадь.

7. По окончании работы со стендом выключите все выключатели на стенде и отсоедините все соединительные шнуры. При необходимости упакуйте или аккуратно сложите все принадлежности. Уберите за собой рабочее место и доложите преподавателю об окончании работы.

Контрольные вопросы

1. Что такое вибрация?
2. Какие виды вибрации в зависимости от характера контакта тела человека с источником вибрации вам известны?
3. По каким физическим характеристикам классифицируются производственные вибрации в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»?
4. Какие неблагоприятные факторы вибрации, влияющие на здоровье, вы можете назвать?
5. Что такое виброскорость и виброускорение? Запишите формулы для вычисления их логарифмических уровней.
6. Как классифицируются вибрации, воздействующие на человека-оператора в соответствии с ГОСТ 12.1.012-90?
7. Какие параметры вибрации являются нормируемыми?

Лабораторная работа № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Цель работы: исследование защитных свойств виброизоляторов различных конструкций.

Студент должен знать:

- различные способы и средства защиты от вибрации;
 - особенности конструкции и применения различных способов и средств защиты от вибрации;
 - основные характеристики колебательной системы;
- уметь:
- определять эффективность защитных средств;
 - объяснить преимущества и недостатки применения различных методов защиты от вибрации в зависимости от характеристик колебательной системы.

Теоретическая часть

Фундамент работающей машины передает колебания от оборудования в толщу грунтов. Для уменьшения вибраций проектируемого фундамента и их воздействия на соседние сооружения и установки выбирают более спокойные машины и рационально размещают их в помещении. Целесообразно предварительно уплотнить и укрепить грунты. В необходимых случаях используют различные средства для гашения колебаний и их амортизации.

Колебания фундамента гасят, присоединяя к нему некоторую массу, например, консольные увеличения фундамента, устроенные у его подошвы. Для гашения горизонтальных колебаний эффективно использовать плиту, уложенную на поверхности грунта и соединенную с вибрирующим фундаментом гибкой связью. В некоторых случаях для удобства присоединяемую к фундаменту плиту выносят за пределы стен здания. Иногда применяют динамические гасители в виде массы, присоединенной к фундаменту пружинами. Динамические гасители требуют специального расчета и настройки при монтаже.

Для уменьшения динамического воздействия машины на фундамент применяют амортизаторы, что обосновывают динамическим расчетом. При этом выявляют условия режима, обеспечивающие ми-

нимальную частоту и амплитуду колебаний оборудования и его фундамента. Если эти условия окажутся нарушенными, то амортизатор из глушителя колебаний становится резонатором и колебания фундамента значительно усилятся.

Прогрессивным способом установки технологического оборудования можно назвать установку без фундаментов и заливки цементом с помощью специальных упругих опор. Такой способ имеет следующие преимущества: сокращает продолжительность монтажа машин до 80 %; упрощает и ускоряет перевозку оборудования при перестройке технологических процессов и переходе на производство новых изделий; существенно снижает шум и запыленность воздуха в производственных помещениях.

Виброопоры можно классифицировать по типу упругого элемента: резиновые, резинометаллические, цельнометаллические, виброизоляционные опоры из фетра и пробки.

Резиновые опоры. Для виброизолирующих опор используют натуральную и синтетическую резину. Натуральная резина имеет хорошие низкотемпературные свойства, однако быстро теряет прочность при температуре более 65 °С, разрушается под действием масел, под действием солнечного света уменьшается ее прочность. Поэтому широкое применение получили синтетические, особенно силиконовые резины (они выдерживают температуру от –55 до 200 °С).

При использовании резины в опорах для установки оборудования важными свойствами являются старение и ползучесть. Старение заключается в том, что в готовом резиновом изделии продолжают вулканизационные процессы, из-за чего твердость резины постепенно повышается. Ползучесть резины заключается в том, что при воздействии на нее длительной статической нагрузки происходит непрерывное увеличение деформации, т. е. резина «ползет».

Одним из важнейших качеств виброизолятора считается демпфирование. Оно зависит от твердости резины, формы упругого элемента и от вида деформации. Так, например, виброизоляция в горизонтальных направлениях для резиновых блоков более эффективна, так как модуль упругости резины на сдвиг в 3 – 6 раз меньше модуля упругости на сжатие (в зависимости от конфигурации резинового блока).

Наиболее простыми видами опор, в которых резина работает на сжатие, являются прокладки и ковры. Их преимущество заключается в том, что под оборудование оперативно ставят пластину соответствующей площади, что по сравнению с другими видами виброопор намного дешевле. Однако при использовании прокладок и ковров к качеству пола предъявляют очень высокие требования, так как выверка оборудования по высоте при такой установке затруднена.

В качестве виброизоляции применяют следующие типы прокладок: гладкие сплошные резиновые; с рифленой поверхностью; с тканевой основой, пропитанные специальными синтетическими резинами. Наиболее простыми признаны гладкие сплошные резиновые прокладки. Из-за большой жесткости их используют только при изоляции шумов и высокочастотных колебаний. Для тяжелого оборудования применяют ковры и подкладки из сплошной резины с рифленой поверхностью (рис. 10.1, а). Для виброизоляции очень больших ударных нагрузок, высокочастотных вибраций и шумов используют тканевые прокладки, пропитанные специальными синтетическими резинами.

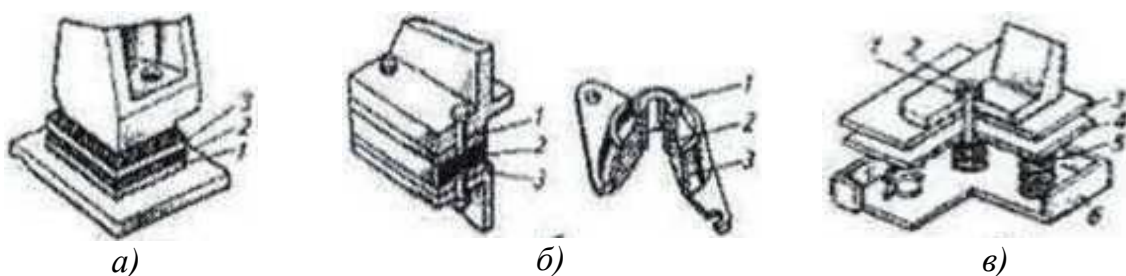


Рис. 10.1. Виды виброопор: а – установка машин на упругих подкладках: 1, 3 – виброустойчивые подкладки; 2 – вулканизированная резина; б – трехслойные подкладки: 1, 3 – металлические детали (кольца, пластины); 2 – вулканизированная резина; в – пружинные амортизаторы: 1 – винт с правой и левой резьбой; 2 – гайка; 3, 4 – пластины; 5 – пружины; 6 – основание

Резинометаллические опоры. Кроме резиновых прокладок-ковров часто применяют резинометаллические опоры, в которых резиновый упругий элемент скреплен с металлической арматурой. Преимущества этих опор следующие: их можно надежно прикреплять как к машине, так и к опорной поверхности для исключения смещения машины при сильных вибрациях и ударах; с помощью арматуры можно защитить резиновый элемент от попадания масла, растворителей, агрессивных жидкостей, солнечного света, что увеличивает срок

их службы; возможность регулировки устанавливаемой машины по высоте.

Резинометаллические виброопоры работают на сжатие, так как при растяжении трудно обеспечить надежные условия закрепления из-за опасности разрыва резины при наличии даже небольших поверхностных повреждений.

Цельнометаллические опоры. Цельнометаллические виброопоры имеют ряд преимуществ перед резинометаллическими: позволяют получать очень большие деформации и, следовательно, низкие собственные частоты колебаний; могут работать в широком диапазоне температур (практически без изменения характеристик); их деформация мало увеличивается со временем при постоянно прилагаемой номинальной нагрузке; их упругие характеристики можно точно рассчитать; они дешевле, чем резинометаллические.

Существенным недостатком цельнометаллических виброопор является то, что они хорошо передают колебания высоких частот (звук) и требуют в ряде случаев дополнительно вводить какой-либо звукоизолирующий элемент.

Цельнометаллические виброопоры классифицируют по форме упругого элемента на три группы: опоры со спиральными пружинами, с листовыми пружинами (рессоры) и из объемной металлической сетки.

В спиральной пружине демпфирование весьма мало, поэтому в ней могут возбуждаться высокочастотные колебания. В опоры со спиральными пружинами обычно вводят демпферы и звукоизолирующие прокладки.

Нормирование производственной вибрации осуществляется на основании СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий». Гигиеническая оценка может проводиться тремя методами:

- частотным (спектральным) анализом нормируемого параметра;
- интегральной оценкой по частоте нормируемого параметра;
- интегральной оценкой с учетом времени вибрационного воздействия по эквивалентному уровню нормируемого параметра.

При частотном (спектральном) анализе нормируемыми параметрами вибрации являются измеряемые в октавных или 1/3-октавных полосах частот средние квадратические значения виброскорости и виброускорения или их логарифмические уровни L_v , L_a .

При интегральной оценке по частоте нормируемым параметром будет скорректированное значение виброскорости и виброускорения или их логарифмические уровни, измеряемые с помощью корректирующих фильтров.

При интегральной оценке вибрации с учетом времени ее воздействия по эквивалентному (по энергии) уровню нормируемым параметром является эквивалентное скорректированное значение виброскорости или виброускорения $U_{\text{ЭКВ}}$, или их логарифмический уровень $L_{U_{\text{ЭКВ}}}$, измеренный или вычисленный по формулам

$$U_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n U_i^2 t_i}{T}};$$
$$L_{U_{\text{ЭКВ}}} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i} t_i \right),$$

где U_i – скорректированное по частоте значение контролируемого параметра виброскорости, м/с, или виброускорения, м/с², действующих в течение времени t_i ;

t_i – время действия вибрации в i -м интервале, ч;

n – общее число интервалов действия вибрации;

$T = \sum_{i=1}^n t_i$ – общее время действия вибрации.

Методы снижения параметров вибрации

Рассмотрим методы снижения параметров вибрации подробнее. В тех случаях, когда фактические значения гигиенических характеристик вибрации превышают допустимые значения, применяются средства защиты от вибрации.

Классификация средств и методов защиты от вибрации определена ГОСТ 26568-85 «Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация».

Выделяют следующие методы снижения параметров вибрации:

1. Методы снижения вибрации в источнике.
2. Методы снижения параметров вибрации на пути её распространения.
3. Методы защиты от вибрации на рабочем месте.

Для снижения вибрации в источнике возникновения уменьшают силу, вызывающую колебания: проводят статическую и динамиче-

скую балансировку роторов, заменяют возвратно-поступательное движение на вращательное, повышают точность формы сопрягаемых деталей в редукторах и подшипниках, совершенствуют аэродинамические характеристики объектов и т. д.

Для пояснения методов снижения вибрации на путях ее распространения от источника к человеку рассмотрим основные характеристики колебательной системы. К ним отнесем частоту возмущающей силы ω , рад/с, частоту собственных колебаний ω_0 , механический импеданс – комплексное сопротивление вибрирующей системы Z , зависящее от силы инерции, трения и упругости.

Рассмотрим эти характеристики на примере простейшей колебательной системы с одной степенью свободы. Такую систему можно изобразить в виде элемента массы m (кг), элементов упругости q (Н/м) в виде пружины и демпфирования трения S (Н · с/м) в виде поршня в цилиндре (рис. 10.2).

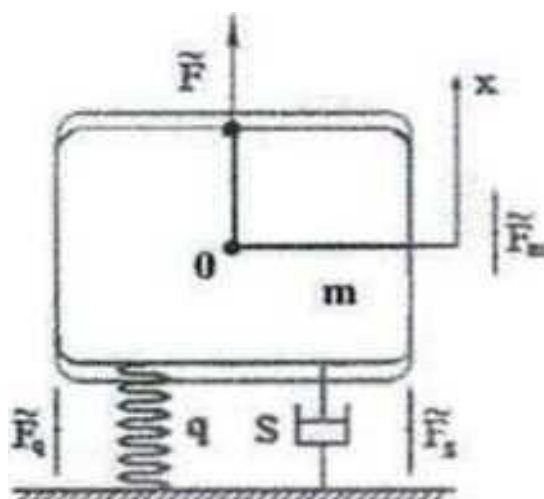


Рис. 10.2. Простейшая колебательная система с одной степенью свободы

На рис. 10.2 точка О обозначает положение статического равновесия, от которого отсчитывается координата x – смещение тела массой m под действием гармонической возмущающей силы F . К телу также приложены сила инерции $\tilde{F}_m = m \cdot \ddot{x}$, сила упругости $\tilde{F}_q = q \cdot \tilde{x}$ и демпфирующая сила трения $\tilde{F}_s = s \cdot \dot{\tilde{x}}$; где x , v , a – переменные текущие значения смещения, скорости и ускорения.

В соответствии с принципом Д'Аламбера имеем $\tilde{F} = \tilde{F}_m + \tilde{F}_q + \tilde{F}_s$, что соответствует уравнению движения $\tilde{F} = m \cdot \ddot{x} + q \cdot \tilde{x} + s \cdot \dot{\tilde{x}}$. При этом

$\tilde{a} = j\omega \cdot \tilde{v}$, $\tilde{x} = \frac{\tilde{v}}{j\omega}$, тогда уравнение движения через колебательную скорость приобретет вид $\tilde{F} = m \cdot j \cdot \omega \cdot \tilde{v} + q \frac{\tilde{v}}{j\omega} + s \cdot \tilde{v}$.

Механический импеданс (сопротивление колебаниям) при гармонических колебаниях в комплексной форме определяется как отношение силы к скорости

$$Z = \frac{F}{\tilde{v}} = \left(S + j \left(m \cdot \omega - \frac{q}{\omega} \right) \right),$$

т. е. состоит из трех импедансов:

- импеданса демпфирования (трения) $\dot{Z}_s = S$;
- импеданса массы $\dot{Z}_m = j \cdot \omega \cdot m$;
- импеданса упругости (жесткости) $\dot{Z}_q = -j \frac{q}{\omega}$.

Действительная часть импеданса определяется трением S (энергия колебательного движения переходит в тепло), мнимая – упругостью и инерцией $(m \cdot \omega - \frac{q}{\omega})$. Энергия перераспределяется во времени, преобразуясь из переменной в постоянную.

Модуль механического импеданса

$$Z = |\dot{Z}| = \sqrt{S^2 + \left(m \cdot \omega - \frac{q}{\omega} \right)^2}.$$

Зависимость элементов механического импеданса от частоты возмущающей силы ω представлена на рис. 10.3.

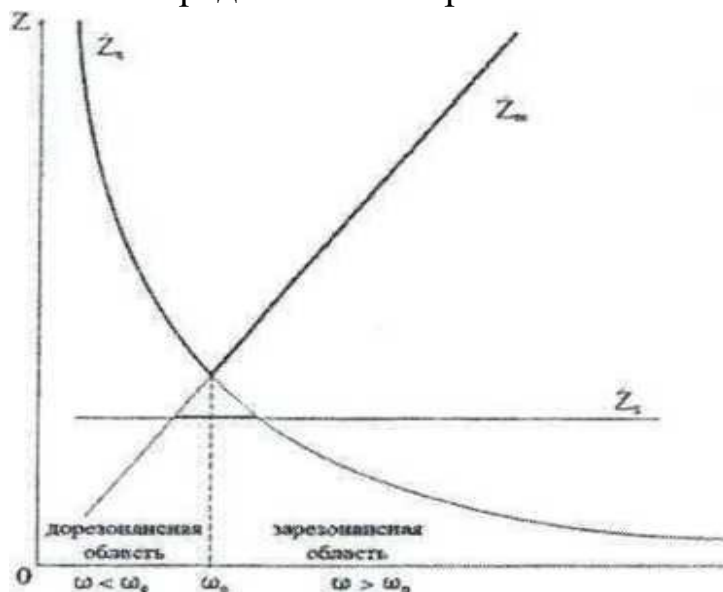


Рис. 10.3. График зависимости элементов механического импеданса от частоты возмущающей силы

Как известно, явление резонанса характеризуется совпадением частоты возмущающей силы ω и собственной частоты вибрирующей системы ω_0 в точке пересечения импеданса массы $\dot{Z}_m$ и импеданса упругости $\dot{Z}_q$ (рис. 10.3). Инерция и жесткость системы перестает играть существенную роль в колебательном процессе. При этом мнимая часть импеданса становится равной нулю $m\omega - \frac{q}{\omega} = 0$, а амплитуды вибро смещения A_x и вибро скорости A_v достигают максимального значения.

Таким образом, собственная частота системы $\omega_0 = \sqrt{\frac{q}{m}}$, или

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{q}{m}}.$$

Анализируя поведение составляющих импеданса в зависимости от частоты возмущающей силы ω , можно выделить следующие пять методов снижения вибрации:

- вибродемпфирование;
- отстройку от резонанса;
- виброгашение;
- виброизоляцию;
- динамическое виброгашение.

Вибродемпфирование (вибропоглощение).

Из рис. 10.3 видно, что в резонансной области при $\omega = \omega_0$ импедансы $\dot{Z}_m$ и $\dot{Z}_q$ взаимоисключают друг друга, а поведение системы определяется импедансом трения (демпфирования) $\dot{Z}_s$. Метод, основанный на увеличении внутреннего трения, за счет которого механическая энергия колебаний переходит во внутреннюю энергию материала (масляные демпферы, применение специальных материалов с высоким коэффициентом потерь), называют вибропоглощением (вибродемпфированием).

Рассеивание энергии системой определяется с помощью коэффициента потерь $\eta = \frac{\omega S}{q}$, который характеризует долю потери энергии за один период колебаний. Например, коэффициент потерь энергии на частоте 1000 Гц:

- для чугуна и стали равен 10^{-4} ;
- губчатой резины – 0,15 – 0,2;
- вибропоглощающей мастики – 0,4 – 0,44.

Эффективность вибродемпфирования в децибелах определяется как

$$\Delta L_{ВД} = 20 \lg \frac{\eta_1}{\eta_2},$$

где η_1 и η_2 – коэффициенты потерь системы соответственно до и после применения вибродемпфирования (вибропоглощения).

Отстройка от резонанса

На низких частотах при $\omega < \omega_0$ в дорезонансной области колебания определяются импедансом упругости (жёсткости) $\dot{Z}_q$ (см. рис. 10.3), и чем ниже частота ω , тем важнее для снижения вибрации высокая жёсткость системы. Конструктивные меры, связанные с включением в конструкцию рёбер жёсткости, дополнительных опор, стальных оттяжек для мачт и т. п., называют отстройкой системы от резонанса. При увеличении жёсткости q увеличивается собственная частота системы ω_0 и резонанса удаётся избежать.

Виброгашение

На высоких частотах при $\omega > \omega_0$ в зарезонансной области, как видно из рис. 10.3, колебательное движение определяется в основном импедансом массы $\dot{Z}_m$. Таким образом, высокочастотные вибрации можно легко устранить, применяя массивные корпуса машин, станины и фундаменты, которые порой в 20 – 40 раз превышают массу оборудования (вспомним соотношение массы молотка по сравнению с массой наковальни). Два последних метода снижения вибрации основаны на введении в колебательную систему дополнительных импедансов – это виброизоляция и динамическое виброгашение.

Виброизоляция

Этот метод наиболее распространён и заключается в ослаблении связи между источником вибрации и объектом виброзащиты путем размещения между ними виброизолирующего устройства (виброизолятора). Это могут быть пружины, рессоры, резиновый, резиново-металлический или пневматический элемент с упругостью q_1 на несколько порядков меньше упругости вибрирующей системы q (рис. 10.4). При этом у металлических виброизоляторов коэффициент трения S_1 мал и близок к нулю; у виброизоляторов, содержащих резиновые элементы, он может достигать существенных значений и влиять на уровень вибрации в резонансной зоне (см. вибродемпфирование).

Показателем эффективности виброизоляции является коэффициент передачи (КП), который показывает, какая доля динамической

возмущающей силы передаётся через виброизоляцию (рис. 10.4), $KП = \frac{F_n}{F_B}$, где F_n – амплитуда передаваемой динамической силы; F_B – амплитуда возмущающей силы.

Если пренебречь затуханием в виброизоляторах, коэффициент передачи можно рассчитать по формуле $KП = \frac{1}{(\frac{\omega}{\omega_0})^2 - 1}$, а для оценки виброизоляции в децибелах – по формуле $\Delta L = 20 \lg \frac{1}{KП}$.

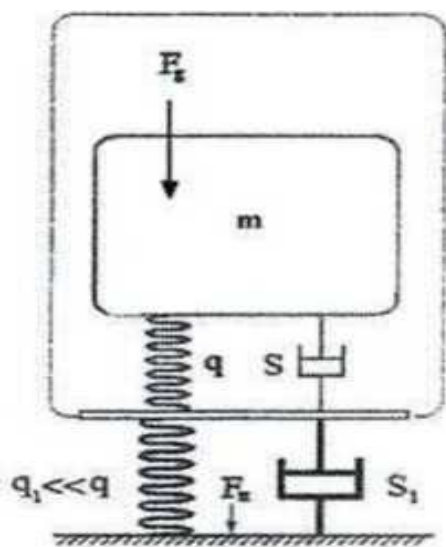


Рис. 10.4. Колебательная система с дополнительным виброизолятором

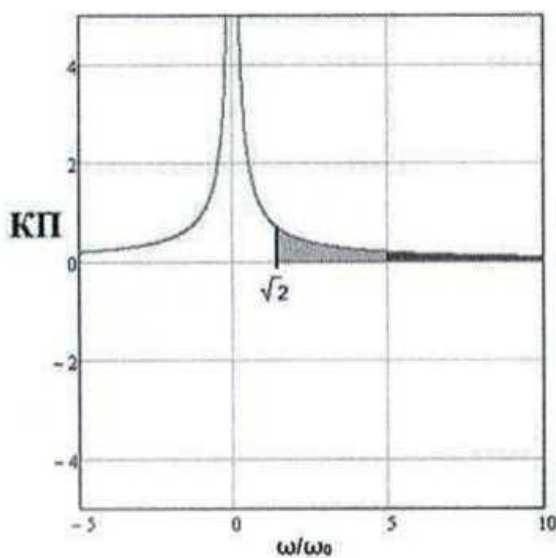


Рис. 10.5. Зависимость KП от ω/ω_0

На рис. 10.5 представлена графическая зависимость KП от отношения частот $\frac{\omega}{\omega_0}$, из которой видно, что в области частот, близкой к резонансной, виброизоляция не только не даёт эффекта, но даже приносит вред ($KП > 1$).

Виброизоляция начинает уменьшать передаваемую динамическую силу при $\frac{\omega}{\omega_0} > \sqrt{2}$. Для этого снижают жёсткость виброизолятора q_1 , резонансная частота ω_0 смещается в зону низких частот и при отношении $\frac{\omega}{\omega_0} > 5 - 10$ коэффициент передачи стремится к нулю $KП \rightarrow 0$.

Просто подложить кусок резины в качестве виброизолятора недостаточно. Дело в том, что резина практически несжимаема. Кусок резины податлив только в той мере, в какой он может раздаваться в стороны; если же расплющиваться ему некуда или его боковая поверхность мала, то резина ведет себя как жёсткое тело и никакой изо-

ляции не происходит. Поэтому резиновые или резинометаллические виброизоляторы необходимо сконструировать так, чтобы материал работал на сдвиг. При использовании стальных пружин с малым демпфированием ($S_i \approx 0$) амплитуды колебаний при резонансе выше, нежели при использовании резиновых виброизоляторов с $S_2 \gg S_i$, у которых значительно более высокий коэффициент потерь – внутреннего трения.

Динамическое виброгашение

Способ динамического виброгашения нежелательных низкочастотных резонансов основан на присоединении к защищаемому объекту

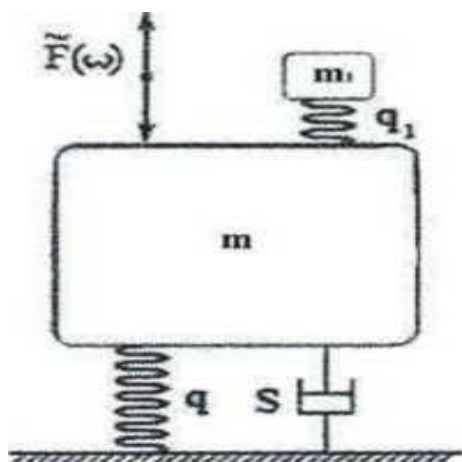


Рис. 10.6. Динамическое виброгашение

массой m дополнительной массы m_1 с упругой связью q_1 (рис. 10.6). Если собственная частота $\omega_{01} = \sqrt{\frac{q_1}{m_1}}$ присоединенного устройства (виброгасителя) будет равна частоте вибрационного воздействия ω , то основной защищаемый объект m останется неподвижным, хотя именно к нему приложена переменная сила $\tilde{F}(\omega)$. Динамический виброгаситель колеблется с достаточно большой амплитудой в режиме резонанса, забирая энергию внешнего воздействия на себя.

Оценка эффективности виброзащиты

Эффективность виброзащиты для каждой октавной полосы частот определяется по формуле

$$\Delta L = 20 \lg \frac{a}{a_3}, \text{ дБ},$$

где a – среднее квадратическое значение виброускорения до применения виброзащиты, м/с^2 ;

a_3 – среднее квадратическое значение виброускорения после применения виброзащиты, м/с^2 .

$$\text{Из } \Delta L = 20 \lg \frac{a}{a_3} \text{ получаем КП} = 10^{-\frac{\Delta L}{20}}.$$

$$\text{Из КП} = \frac{1}{\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 - 1} \text{ получаем } \frac{\omega}{\omega_0} = \sqrt{\frac{1}{\text{КП}} + 1}.$$

Экспериментальная часть

Для исследования параметров производственной вибрации на соответствие требованиям санитарных норм и стандартов безопасности труда предназначен лабораторный стенд «Исследование способов защиты от производственной вибрации».

Ознакомьтесь с техническим описанием учебно-лабораторного стенда «Исследование способов защиты от производственной вибрации» (далее – Техническое описание). Тщательно изучите стенд в целом, а также все его отдельные модули и компоненты.

Подготовьте стенд к работе в соответствии с Техническим описанием. Установите указанную преподавателем виброизолирующую платформу (далее ВП-1 – виброизолирующая платформа 1) на стенд, установите датчик вибрации и указанное преподавателем количество грузов (далее в течение лабораторной работы количество грузов при испытаниях не менять). При экспериментах с данной платформой (ВП-1) считать стенд работающим без виброзащиты.

Подключите стенд к сети. Устанавливая с помощью генератора сигналов среднегеометрические значения частот, указанные в таблице протокола, определить и записать в таблицу протокола экспериментальные значения a – средних квадратических значений виброускорения до применения виброзащиты (т. е. с установленной ВП-1) по показаниям измерителя вибрации. Занести полученные значения в таблицу протокола.

Выключите генератор сигналов, установите на стенд другую виброизолирующую платформу (ВП-2); установите датчик вибрации. Устанавливая с помощью генератора сигналов среднегеометрические значения частот, указанные в таблице протокола, определить и записать в нее экспериментальные значения $a_{з1}$ – средних квадратических значений виброускорения с применением виброзащиты (т. е. с установленной ВП-2) по показаниям измерителя вибрации.

Вычислить и занести в соответствующие ячейки таблицы протокола значения $\Delta L_1 = 20 \lg \frac{a}{a_{31}}$ и $KП_1 = 10^{-\frac{\Delta L}{20}}$.

Выключите генератор сигналов, установите на стенд третью виброизолирующую платформу (ВП-3); установите датчик вибрации. Устанавливая с помощью генератора сигналов среднегеометрические значения частот, указанные в таблице протокола, определить и записать в нее экспериментальные значения a_{32} – средних квадратических значений виброускорения с применением виброзащиты (т. е. с установленной ВП-3) по показаниям измерителя вибрации.

Вычислить и занести в соответствующие ячейки таблицы протокола значения $\Delta L_2 = 20 \lg \frac{a}{a_{32}}$ и $KП_2 = 10^{-\frac{\Delta L}{20}}$.

Выключить генератор сигналов.

Построить графики зависимости $\Delta L_1, KП_1, \Delta L_2, KП_2$ от частоты генератора; проанализировать эффективность испытанных защит (ВП-2, ВП-3) для разных частот. Сделать выводы об эффективности исследованных способов защиты от вибрации.

Таблица протокола

Описание исследуемого модуля виброзащиты	Показатели вибрации	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
		8	16	31,5	63	125	250	500	1000
ВП-1 (без защиты)	a								
ВП-2	a_{31}								
	ΔL_1								
	$KП_1$								
ВП-3	a_{32}								
	ΔL_2								
	$KП_2$								

Контрольные вопросы

1. Какими методами может проводиться гигиеническая оценка производственной вибрации?
2. Что является нормируемыми параметрами вибрации при частотном (спектральном) анализе?
3. Что следует назвать нормируемым параметром при интегральной оценке по частоте?
4. Что является нормируемым параметром при интегральной оценке вибрации с учетом времени ее воздействия по эквивалентному (по энергии) уровню?
5. Какие методы снижения параметров вибрации обычно выделяют?
6. Что такое механический импеданс? Запишите его формулу для случая простейшей колебательной системы с одной степенью свободы, состоящей из элемента массы m , элементов упругости q и демпфирования – трения S .
7. По каким формулам определяется эффективность виброзащиты?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лабораторный практикум ориентирован на повышение уровня подготовки выпускников вуза в области безопасности жизнедеятельности и базируется на знаниях, полученных студентами при изучении физиологии, социально-экономических, общенаучных и общетехнических дисциплин.

При изучении вредных производственных факторов был представлен не только информационный материал, но и ставилась задача научить студентов самостоятельно действовать в условиях влияния на работающих вредных факторов производства, а также уметь определять способы защиты от них.

Знание специфических физиолого-гигиенических закономерностей, обуславливающих успешное освоение профессиональных навыков, оптимальное приспособление организма к условиям трудовой деятельности и самому труду, поможет решить ряд практических вопросов, связанных с совершенствованием организации профессионального обучения, а следовательно, и повышением его эффективности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кадысева, А. А. Безопасность жизнедеятельности. Рабочая тетрадь : учеб. пособие для вузов / А. А. Кадысева, О. С. Козловцева. – СПб. : Лань, 2024. – 84 с. – ISBN 978-5-507-48314-3.
2. Киселева, Л. Б. Безопасность жизнедеятельности: личные, социальные и антропогенные аспекты : учеб. пособие / Л. Б. Киселева, Л. А. Скорикова, А. Е. Фирсова. – Йошкар-Ола : ПГТУ, 2024. – 74 с. – ISBN 978-5-8158-2404-1.
3. Наумова, Т. В. Безопасность жизнедеятельности. Теория, вопросы и задачи : учеб. пособие / Т. В. Наумова, О. Г. Феоктистова, И. Н. Мерзликин. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 216 с. – ISBN 978-5-9729-1606-1.
4. Пачурин, Г. В. Безопасность жизнедеятельности. Теория и практика : монография / Г. В. Пачурин, О. В. Маслеева, И. Г. Трунова. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 192 с. – ISBN 978-5-9729-1631-3.
5. Долгов, В. С. Основы безопасности жизнедеятельности / В. С. Долгов. – 4-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2023. – 188 с. – ISBN 978-5-507-45851-6.
6. Рысин, Ю. С. Безопасность жизнедеятельности : учеб. пособие / Ю. С. Рысин, С. Л. Яблочников. – М. : Ай Пи Ар Медиа, 2023. – 132 с. – ISBN 978-5-4497-0440-5.
7. Акимов, М. Н. Основы электромагнитной безопасности : учеб. пособие / М. Н. Акимов, С. М. Аполлонский. – 3-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2022. – 200 с. – ISBN 978-5-8114-2095-7.
8. Занько, Н. Г. Безопасность жизнедеятельности : учебник / Н. Г. Занько, К. Р. Малаян, О. Н. Русак. – 17-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2022. – 704 с. – ISBN 978-5-8114-0284-7.
9. Безопасность жизнедеятельности в химической промышленности : учебник / Н. И. Акинин [и др.] ; под общ. ред. Н. И. Акинина. – СПб. : Лань, 2022. – 448 с. – ISBN 978-5-8114-3891-4.
10. Ветошкин, А. Г. Нормативное и техническое обеспечение безопасности жизнедеятельности : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1. – 2-е

изд., испр. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 470 с. – ISBN 978-5-9729-0680-2.

11. Ветошкин, А. Г. Нормативное и техническое обеспечение безопасности жизнедеятельности : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2. – 2-е изд., испр. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 652 с. – ISBN 978-5-9729-0681-9.

12. Анискин, С. В. Безопасность жизнедеятельности. Ч. 1. Оценка безопасности на рабочем месте : учеб. пособие. – СПб. : С.-Петербург. гос. ун-т промышленных технологий и дизайна, 2019. – 59 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТЕОМЕТРА

Подготовка МЭС-200А к работе

Перед эксплуатацией МЭС-200А проверяют визуально. При этом внимание должно быть обращено на отсутствие видимых повреждений щупов и блока электроники, наличие пломб, состояние разъемных соединений.

Производят зарядку аккумуляторной батареи от источника электропитания ИЭС7-1203, подключаемого к гнезду «+12 В». Время заряда должно быть не менее 16 ч. Во время заряда МЭС-200А должен быть выключен. О подключении источника электропитания к блоку электроники сигнализирует светодиод на задней торцевой стороне МЭС-200А.

Соединительный кабель используемого щупа подключают к разъему «Т, Н, V» и снимают со щупа защитный кожух.

Внимание!

1. В период эксплуатации МЭС-200А при резкой смене температур (перемещение МЭС-200А из рабочих условий с отрицательными температурами в рабочие условия с положительными температурами) необходимо выдержать МЭС-200А при положительной температуре в течение 20 мин. После необходимой выдержки МЭС-200А готов к измерениям.

2. При пользовании МЭС-200А необходимо предохранять сенсоры, расположенные в щупах, от касания с различными предметами.

3. При транспортировке щупов сенсоры должны быть обязательно закрыты защитным кожухом.

Порядок работы

Работа с измерительным щупом Щ-1

При нажатии кнопки «О» включается подсветка матричного индикатора на 18 – 20 с. На индикаторе появляются надписи со значениями температуры и влажности (см. рисунок).

Т °С,

Н %.

Установка режимов работы МЭС-200А осуществляется кнопками «П», «+», «—» в соответствии с циклограммами, представленными ниже.

Для установки МЭС-200А в режим измерения давления необходимо нажать кнопку «П». При следующем нажатии кнопки «П» МЭС-200А возвращается в режим измерения температуры и влажности и т. д.

Для установки МЭС-200А в режим измерения скорости воздушного потока необходимо после нажатия кнопки «П» нажать кнопку «+» и выждать 2 – 3 мин (интервал времени, необходимый для прогрева сенсора скорости воздушного потока), после чего можно измерять скорость.



Порядок действий при использовании метеометра

При следующем нажатии кнопки «П» МЭС-200А устанавливается в режим измерения температуры и влажности и т. д.

В режиме измерения температуры и влажности (Т, Н) при нажатии кнопки «П» и сразу затем кнопки «—» младшему разряду единицы измерения температуры соответствует 0,01 °С.

В режиме измерения давления (Р) при нажатии кнопки «П» и сразу затем кнопки «—» младшему разряду единицы измерения давления соответствует 0,01 кПа и 0,1 мм рт. ст.

Подсветка матричного индикатора возникает каждый раз при нажатии кнопки «О» и затем любой другой кнопки и продолжается в течение ~ 10 с, а затем подсветка выключается. Для повторной подсветки следует нажать кнопку «+» или «—». Если в процессе работы с МЭС-200А после нажатия кнопки «О» ни одна из кнопок не нажимается в течение ~ 5 мин, МЭС-200А автоматически выключается.

Примечания.

1. При измерении скорости воздушного потока в диапазоне от 0 до 5 м/с температура внутри измерительного щупа Щ-1 может возрастать на 2 °С относительно температуры окружающей среды. Измерять температуру с нормированной погрешностью после измерения скорости воздушного потока можно через 10 мин.

2. При измерении скорости воздушного потока измерительный щуп Щ-1 должен быть ориентирован относительно направления воздушного потока таким образом, чтобы плоскость приемного окна сенсора скорости измерительного щупа была перпендикулярна направлению воздушного потока, при этом головка крепежного винта на щупе должна быть направлена в сторону потока.

Учебное электронное издание

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ»

Учебное пособие

Авторы-составители:

КИНДЕЕВ Евгений Александрович
ХУДЯКОВА Екатерина Олеговна

Редактор А. П. Володина

Технический редактор Ш. Ш. Амирсейидов

Компьютерная верстка Л. В. Макаровой

Корректор Н. В. Пустовойтова

Выпускающий редактор А. А. Амирсейидова

Системные требования: Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/7/8/10; Adobe Reader;
дисковод CD-ROM.

Тираж 9 экз.

Издательство Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.