

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ»

Раздел «ОХРАНА ТРУДА»

*Под редакцией В.И. Булыгина, Е.Б. Сугака*

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ  
по образованию в области строительства в качестве  
учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению  
270100 «Строительство»*

М о с к в а 2010

УДК 614.8.086

**Лабораторный практикум по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности». Раздел «Охрана труда»** / Под ред. В.И. Булыгина, Е.Б. Сугака. – М.: МГСУ, 2010. – 128 с.

#### А в т о р ы

канд. техн. наук, доц. **В.И. Булыгин** (лаб. раб. 1, 5–7);  
д-р техн. наук, проф. **Д.В. Коптев** (лаб. раб. 2);  
канд. техн. наук **Д.В. Виноградов** (лаб. раб. 3 – 4);  
канд. техн. наук, проф. **В.А. Рабинков** (лаб. раб. 8);  
канд. техн. наук, доц. **А.Г. Никитин** (лаб. раб. 9);  
канд. техн. наук, проф. **Е.Б. Сугак** (лаб. раб. 1 – 4, 6, предисловие)

Лабораторный практикум знакомит с методикой соответствующих измерений производственной среды, устройством лабораторного оборудования и аппаратуры, способами оценки уровня опасности и вредности. Приводятся рекомендации по снижению уровня опасности и вредности, возможные технические решения, расчеты защитных средств и устройств. Лабораторный практикум дает возможность практическими действиями закрепить знания, полученные на теоретических занятиях по дисциплине. В практикум включено 9 лабораторных работ по трем разделам курса: промышленная санитария и гигиена труда, производственная безопасность, пожарная безопасность в строительстве.

Практикум подготовлен сотрудниками кафедры технического регулирования Московского государственного строительного университета на основе многолетнего опыта авторов по преподаванию дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» раздела «Охрана труда» в строительстве.

#### Р е ц е н з е н т ы

д-р техн. наук, проф. **Б.Н. Дуванов** (Открытый институт охраны труда, промышленной безопасности и экологии Академии труда и социальных отношений); канд. техн. наук, доц. **Е.И. Друпкина** (Российский государственный университет туризма и сервиса)

© Кол. авт., 2010

© МГСУ, 2010

## О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие .....	4
Лабораторная работа 1. Оценка параметров микроклимата рабочих мест .....	5
Лабораторная работа 2. Оценка запыленности воздуха рабо- чей зоны .....	17
Лабораторная работа 3. Исследование производственного шума .....	29
Лабораторная работа 4. Оценка вибрационного воздействия на рабочие места .....	46
Лабораторная работа 5. Оценка освещенности рабочих мест в помещении .....	60
Лабораторная работа 6. Расчет защитного заземления элек- трических установок .....	75
Лабораторная работа 7. Исследование опасных факторов статического электричества .....	96
Лабораторная работа 8. Определение температуры вспышки горючих жидкостей .....	110
Лабораторная работа 9. Определение скорости испарения горючих жидкостей с малых поверхностей .....	121

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Несчастные случаи и профессиональные заболевания в процессе труда обусловлены комплексом объективных и субъективных причин. По современным представлениям основным из них является наличие на каждом рабочем месте опасных и вредных производственных факторов. Как правило, там, где выше уровень производственных опасностей и вредностей, чаще фиксируются несчастные случаи и профессиональные заболевания. Обеспечение безопасности человека в процессе труда с одновременным улучшением удобства и комфорта работы связано с выполнением комплекса мероприятий, наиболее эффективными из которых считаются способы по снижению уровня опасностей и вредностей с помощью технических решений. Профилактические меры по повышению безопасности технологического процесса, производственного оборудования и инструмента позволяют создать объективно неопасную производственную среду с низким уровнем неблагоприятных факторов.

Установлено, что большинство производственных опасностей и вредностей, в результате действия которых происходят несчастные случаи и фиксируются профессиональные заболевания, находятся в скрытом от человека состоянии, не проявляются до поры до времени и не причиняют видимого вреда работающим. Предупредительный характер мероприятий по охране труда требует выявить опасные и вредные факторы, оценить их количественно и провести соответствующую техническую работу до наступления случая повреждения работника. Определение наличия этих факторов на рабочих местах и оценка степени их опасности и вредности осуществляется путем измерения производственной среды, испытанием соответствующего оборудования, проведением модельных экспериментов, инженерных расчетов и другой исследовательской работы. Полученная информация дает возможность разработки обоснованных мероприятий по обеспечению безопасности рабочих мест.

# **Лабораторная работа 1**

## **ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА РАБОЧИХ МЕСТ**

**Цель работы:** получить навыки измерения и оценки основных параметров микроклимата рабочей зоны производственных помещений.

**Содержание работы:** изучение устройств приборов, применяемых для измерения параметров микроклимата; определение температуры, относительной влажности и подвижности воздуха в рабочей зоне производственного помещения; санитарно-гигиеническая оценка измеренных параметров микроклимата рабочей зоны.

### **КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ПАРАМЕТРАХ МИКРОКЛИМАТА И ЕГО НОРМИРОВАНИЕ**

Жизнедеятельность человека, его самочувствие и работоспособность зависят от состояния микроклимата, основными факторами которого являются температура окружающей среды, относительная влажность и скорость движения воздуха. Эти факторы окружающей среды человека постоянно изменяются. Температура здорового человека поддерживается на уровне 36,5... 37 °С, для чего организм человека обладает достаточно эффективной системой терморегулирования. Терморегулирование – сложный физиологический процесс, создающий равновесие теплового обмена, обеспечивающий постоянные функции человека при различных метеорологических условиях и тяжести работы.

Микроклимат (МК) в зависимости от физиологического состояния человека может быть оптимальным и допустимым. Оптимальный микроклимат создает общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение восьми часов рабочей смены, которое характеризуется минимальным напряжением механизмов терморегуляции при высоком уровне работоспособности и которое является предпочтительным на рабочих местах. Оптимальный МК следует соблюдать при выполнении работы операторского типа (в кабинах, на пультах управления технологическими

процессами, при эксплуатации ЭВМ и др.). Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах приведены в табл. 1.1.

Т а б л и ц а 1.1

**Оптимальные величины показателей МК  
на рабочих местах в помещениях**

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

*Примечание:* в табл. 1.1 принято обозначение категорий тяжести труда по энергозатратам: легкий труд – 1а и 1б; средний труд – 2а и 2б; тяжелый труд – 3 (ГОСТ ССБТ 12.1.005-88).

**ДОПУСТИМЫЕ УСЛОВИЯ МИКРОКЛИМАТА**

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.

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочем месте должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 1.2, а перепад температуры воздуха по высоте должен быть не более 3 °С.

Т а б л и ц а 1.2

Допустимые величины показателей МК на рабочих местах в помещениях

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	1а (до 139)	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75*	0,1	0,1
	1б (140-174)	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1	0,2
	2а (175-232)	17,0-18,9	21,1-23,0	16,0-24,0	15-75	0,1	0,3
	2б (233-290)	15,0-16,9	19,1-22,0	14,0-23,0	15-75	0,2	0,4
	3 (более 290)	13,0-15,9	18,1-21,0	12,0-22,0	15-75	0,2	0,5
Теплый	1а (до 139)	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75*	0,1	0,1
	1б (140-174)	20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0	15-75*	0,1	0,2
	2а (175-232)	18,0-19,9	22,1-27,0	17,0-28,0	15-75*	0,1	0,3
	2б (233-290)	16,0-17,9	21,1-27,0	15,0-28,0	15-75*	0,2	0,4
	3 (более 290)	15,0-17,9	20,1-26,0	14,0-27,0	15-75*	0,2	0,5

Факторы МК, взаимодействуя, влияют на организм человека, поэтому принято в целях оценки их возможного вредного влияния на человека определять интегральный показатель тепловой нагрузки среды (ТНС):

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

где  $T_{\text{вл}}$  – показание температуры влажного термометра;

$T_{\text{ш}}$  – показание температуры шарового термометра.

### **ТРЕБОВАНИЯ К КОНТРОЛЮ И МЕТОДАМ ИЗМЕРЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА**

Измерения показателей микроклимата в целях контроля их соответствия гигиеническим требованиям должны проводиться отдельно для холодного и теплого периодов года: в холодный период года – в дни с температурой наружного воздуха, отличающейся от средней температуры наиболее холодного месяца зимы не более, чем на 5 °С; в теплый период года – в дни с температурой наружного воздуха, отличающейся от средней температуры наиболее жаркого месяца не более, чем на 5 °С. Частота измерений в оба периода года определяется стабильностью производственного процесса.

При выборе участка и времени измерения необходимо учитывать все факторы, влияющие на микроклимат рабочих мест (фазы технологического процесса, функционирование системы вентиляции и отопления и др.). Измерения показателей микроклимата следует проводить не менее 3 раз в смену на рабочих местах. Если рабочим местом являются несколько участков производственного помещения, то измерения осуществляются на каждом из них.

### **ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА**

Оборудование стенда для измерения параметров микроклимата включает следующие приборы: ртутный термометр, термограф, психрометры (ПБ1 А, аспирационный Асмана, бытовой психрометр, анемометр крыльчатый и чашечный, кататермометр).

*Термометр ртутный* служит для измерения температуры с точностью 0,1 °С. Для измерения температуры воздуха во времени и непрерывной записи ее на ленту применяют термографы.



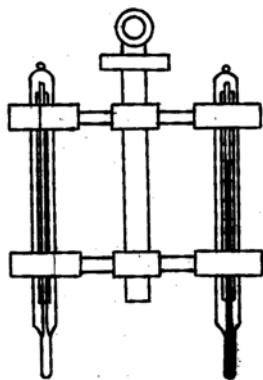


Рис. 1.1. Парный термометр

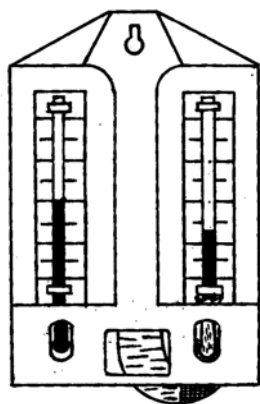


Рис. 1.2. Психрометр ПБ 1А

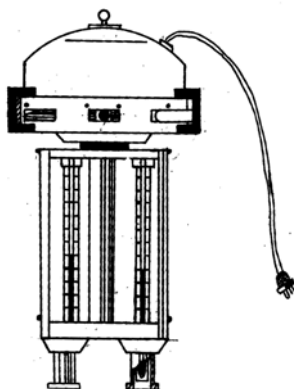


Рис. 1.3. Психрометр аспирационный Асмана

*Психрометры* измеряют относительную влажность. Психрометр состоит из двух термометров: влажного и сухого. На резервуар влажного одевается батистовый мешочек и опускается в мензурку с водой. Испаряясь, вода охлаждает влажный термометр, поэтому его показания всегда ниже показаний сухого термометра. По разности показаний термометров определяется относительная влажность воздуха. По конструкции психрометры бывают парные (рис. 1.1), стационарные ПБ 1 А типа Августа (рис. 1.2) и переносные типа Асмана (рис. 1.3.). **Психрометр Асмана** имеет более

совершенную конструкцию: он более точен, колбы термометров заключены в металлические оправы, на часть колбы с ртутью одевается влажный батистовый мешочек. В головной части колбы установлены вентилятор с ручным или электрическим приводом, что обеспечивает постоянную скорость обдува термометров.

*Анемометры* определяют скорость движения воздуха. В работе применяются два вида анемометров: крыльчатый и чашечный. Их конструкции показаны на рис. 1.4. Крыльчатый анемометр

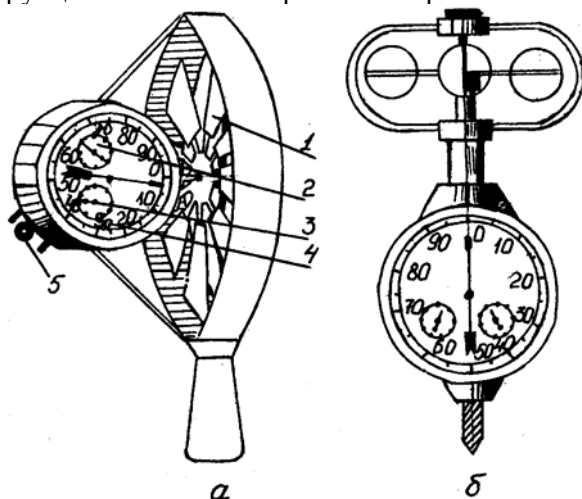


Рис. 1.4. Анемометры: а – крыльчатый; б – чашечный:  
1 – крыльчатка; 2, 3, 4 – соответственно шкалы сотен, десятков и единиц оборотов; 5 – арретир

позволяет измерять скорость движения воздуха до 10 м/с с точностью 0,1 м/с, чашечный применяется для более высоких скоростей воздуха (от 1 до 30 м/с). По измерению количества оборотов вращения крыльчатки или чашечек за определенное время оценивают скорость перемещения воздуха. Счетные механизмы приборов имеют шкалы отсчета сотен, десятков и единиц оборотов. Для того чтобы при измерении всякий раз не приводить прибор в исходное состояние, в нем имеется механизм остановки вращения – арретир. По полученному числу оборотов в секунду на тарировочном графике, прилагаемом к паспорту прибора, находят значение скорости движения воздуха в м/с.

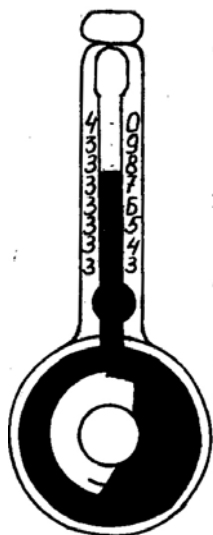


Рис. 1.5. Кататермометр

*Кататермометры* определяют скорость движения воздуха в интервале величин  $0,1 \dots 1,5$  м/с (рис. 1.5). Шаровой кататермометр представляет собой спиртовой термометр с двумя резервуарами – шаровой внизу и цилиндрический сверху. Шкала кататермометра имеет деления от 33 до 40 °С. При использовании этот прибор предварительно нагревают в водяной бане, затем вытирают насухо и помещают в исследуемое место. По величине падения столба спирта в единицу времени при охлаждении кататермометра судят о скорости движения воздуха.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Определить температуру воздуха заданного рабочего места с помощью ртутного термометра (см. рис. 1.1).

2. Подготовить к измерениям переносной аспирационный психрометр Асмана и определить температуру сухого и влажного термометров прибора. По разности температур в табл. 1.3 по величине показаний найти измеряемую влажность на рабочем месте.

3. Найти скорость движения воздуха на рабочем месте. Если ожидаемая скорость воздуха меньше  $1 \dots 2$  м/с, для измерения скорости воздуха следует применять крыльчатый анемометр.

4. Оценить вредность микроклимата условий труда на рабочем месте. По измеренным параметрам определить интегральный показатель тепловой нагрузки среды (ТНС) по табл. 1.4 – 1.5. Результаты измерений и расчетов занести в отчет по лабораторной работе 1 и сделать заключение по тяжести труда на рабочем месте.

Относительная влажность воздуха определяется по разности показаний температуры сухого и влажного термометров по психрометрической табл. 1.3.

Психрометрическая таблица для температур 0...+25 °С по влажному термометру

Показатель влажного термометра, °С	Разность показателей сухого и влажного термометров, °С																			
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0	90	81	73	64	57	50	43	36	31	26	20	16	11	7	3	-	-	-	-	-
1	90	82	74	66	59	52	46	39	33	29	19	19	15	11	7	-	-	-	-	-
2	90	83	75	67	61	54	47	42	36	31	26	20	16	14	10	-	-	-	-	-
3	90	83	76	69	63	56	49	44	39	34	29	26	21	17	14	10	-	-	-	-
4	91	84	77	70	64	57	51	46	41	38	32	28	24	20	17	14	11	-	-	-
5	91	85	78	71	65	59	54	48	43	39	34	30	27	23	19	17	13	10	-	-
6	92	85	78	72	66	61	56	50	45	41	35	33	29	26	22	19	16	13	10	-
7	92	86	79	73	67	62	57	52	47	43	39	35	31	28	25	22	19	15	12	11
8	92	86	80	74	68	63	58	54	49	45	41	37	33	30	27	25	21	18	15	14
9	93	86	81	75	70	65	60	55	51	47	43	39	35	32	29	27	24	21	18	17
10	94	87	82	76	71	66	61	57	53	48	45	41	37	34	31	28	26	23	21	19
11	94	87	82	77	72	67	62	59	55	50	47	43	40	36	33	30	29	25	23	20
12	94	87	82	78	73	68	63	59	56	52	48	44	42	38	35	32	30	27	25	22
13	94	89	83	78	73	69	64	61	57	53	50	46	43	40	37	34	32	29	27	24
14	94	89	83	79	74	70	66	62	58	54	51	47	45	41	39	36	34	31	29	26

Таблица 1.4

**Классы условий труда по показателю ТНС-индекса (°С) для производственных помещений с нагревающим микроклиматом независимо от периода года и открытых территорий в теплый период года**

Категория работ	Общие энергозатраты, Вт/М <sup>2</sup>	Классы условий труда						
		1	2	3				4
		Оптимальный	Допустимый	Вредный				Опасный (экстрем.)
				1 степени	2 степени	3 степени	4 степени	
1а	68 (58-77)	22,2-26,4		26,5-26,6	26,7-27,4	27,5-28,6	28,7-31,0	>31,0
1б	88 (78-97)	21,5-25,8		25,9-26,1	26,2-26,9	27,0-27,9	28,0-30,3	>30,3
2а	113 (98-129)	20,5-25,8		25,2-25,5	25,6-26,2	26,3-27,3	27,4-29,9	>29,9
2б	145 (130-160)	19,5-23,9		24,0-24,2	24,3-25,0	25,1-26,4	26,5-29,1	>29,1
3	177 (161-193)	18,0-21,8		21,9-22,2	22,3-23,4	23,5-25,7	25,8-27,9	>27,9

Таблица 1.5

**Классы условий труда по показателю температуры воздуха (°С, нижняя граница) при работе в производственных помещениях с охлаждающим микроклиматом**

Категория работ	Общие энергозатраты, Вт/м <sup>2</sup>	Классы условий труда						
		1	2	3				4
		Оптимальный	Допустимый	Вредный				Опасный (экстрем.)
				1 степени	2 степени	3 степени	4 степени	
1а	68 (58-77)	По СанПиН*	По СанПиН*	18	16	14		
1б	88 (78-97)	По СанПиН*	По СанПиН*	17	15	13	12	
2а	133 (98-129)	По СанПиН*	По СанПиН*	14	12	10	11	
2б	145 (130-160)	По СанПиН*	По СанПиН*	13	11	9	7	
3	177 (161-193)	По СанПиН*	По СанПиН*	12	10	8	6	

\* СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

## **РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОЗДАНИЮ И ПОДДЕРЖАНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**

Строительные процессы выполняются в условиях высоких и низких температур, при интенсивных воздействиях ветра, дождя, солнечной радиации и пр. Сохранить здоровье и высокую работоспособность позволяет комплекс технических и организационных мероприятий. Так, от переохлаждения защищаются устройством легких укрытий различной конструкции с подводом тепла или без него, периодическими перерывами в работе с обогревом в специальных бытовых помещениях, использованием соответствующей спецодежды.

При избытках тепла спектр применяемых решений значительно шире. Во-первых, техническими мерами (автоматизация и механизация) снижают трудоемкость ручного труда, физических напряжений работника. Во-вторых, применяют дистанционное управление «горячими» операциями либо устраивают экранирование источников тепла. В-третьих используют инженерные системы, которые обеспечивают оптимальную подвижность воздуха: обдувы, вытяжную вентиляцию, кондиционирование воздуха и пр. Эффективны также перерывы в работе, проводимые работником в прохладных помещениях, применение легкой спецодежды.

# ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ 1

## Оценка параметров микроклимата рабочих мест

(шифр, группа, ф., и., о. студента)

**Исходные данные:** рабочее место \_\_\_\_\_; период года \_\_\_\_\_

1. Определение температуры и влажности воздуха на рабочем месте.

№ пп.	Наименование прибора	$T_{\text{сух}},$ °C	$T_{\text{вл}},$ °C	$T_{\text{вл.}} - T_{\text{сух}},$ °C	Относительная влажность, %
1					
2					
3					

2. Определение скорости движения воздуха.

№ пп.	Начальный отсчет	Конечный отсчет	Продолжительность измерений $t$ , с	Число оборотов
1				
2				
3				

3. Оценка класса условий труда по показателю ТНС-индекса на рабочем месте.

**Заключение** об условиях труда на рабочем месте:

По энергетическим показателям и классу условий труда \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Подпись**

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. *Какие основные параметры воздушной среды определяют микроклимат рабочей зоны производственных помещений?*
2. *Какая существует взаимосвязь между самочувствием человека и состоянием микроклимата производственной среды?*
3. *Какие факторы учитываются при нормировании микроклимата рабочей зоны помещений?*
4. *Какими нормативными документами регламентированы метеорологические условия производственной среды?*
5. *Дайте определение оптимальных и допустимых параметров микроклимата.*
6. *Назовите приборы для измерения температуры, относительной влажности, движения воздуха.*
7. *В каких случаях для измерения температуры воздуха применяется парный термометр?*
8. *Каковы устройство и принцип действия стационарного психрометра?*
9. *В чем отличие и преимущества переносного аспирационного психрометра от стационарного?*
10. *Какие санитарно-гигиенические мероприятия позволяют создавать и поддерживать микроклимат рабочей зоны в соответствии с требованиями ГОСТа и санитарных норм?*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

ГОСТ ССБТ 12.1.005-88. Общие требования к воздуху рабочей зоны.

СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.



## Лабораторная работа 2

### ОЦЕНКА ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

**Цель работы:** овладение практическими методами определения количественного содержания пыли в воздухе, санитарно-гигиеническая оценка запыленности воздуха рабочей зоны.

**Содержание работы:** определение запыленности воздуха рабочей зоны весовым методом; расчет рассеяния запыленных вентиляционных выбросов в атмосферном воздухе.

#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ПЫЛИ

Пылью называются измельченные частицы твердого вещества, способные в течение некоторого времени находиться в воздухе во взвешенном состоянии. Пыль – это аэродисперсная система. Системы, в которых дисперсионной средой являются газы, а дисперсной фазой – взвешенные частицы, называются аэродисперсными системами или аэрозолями. Аэрозоли, содержащие мельчайшие частицы жидкости, называются туманами, аэрозоли, содержащие мельчайшие твердые частицы, – дымами.

Размер пылевых частиц колеблется в широком диапазоне: наиболее мелкие частицы по своим размерам приближаются к молекулам, а наиболее крупные имеют размеры в несколько сот микрометров (мкм). Пылевые частицы по размерам подразделяются на крупные (более 60 мкм), мелкие (60... 1 мкм) и субмикронные (менее 1 мкм).

Пыль подразделяется на органическую (древесная, хлопчатобумажная, кожаная и др.), неорганическую (цементная, кварцевая, керамическая и др.) и смешанную. Источниками образования пыли на производстве являются следующие процессы: механическое измельчение, горение веществ, конденсация паров и химическое взаимодействие веществ.

Гигиеническая вредность пыли зависит от ее химического состава, размеров пылевых частиц и их концентрации в воздухе. Пыль может попадать в организм человека через дыхательные органы, органы пищеварения, кожу. В организме человека при дыхании задерживаются частицы размером 0,2...7 мкм. Более

мелкие частицы выдыхаются обратно, а более крупные оседают в носоглотке.

Отлагаясь в легких, пыль может вызывать профессиональные заболевания – пневмокониозы (в зависимости от конкретного вещества – силикоз, асбестоз, цементоз, сидероз и др.). Особую опасность представляют токсичные (ядовитые) пыли, способные вызывать острые и хронические отравления организма. Некоторые виды пылей отрицательно воздействуют на кожный покров человека и являются причиной кожных заболеваний – дерматитов. Пыль может вызывать также заболевания глаз (конъюнктивиты).

Стандартом ГОСТ 12.1.005-88 установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) пылей в воздухе рабочей зоны и классы опасностей пылей. В зависимости от физико-химического состава пылей их ПДК колеблются в пределах  $1 \dots 10 \text{ мг/м}^3$ . *Предельно допустимые концентрации* вредных веществ в воздухе рабочей зоны – это концентрации ( $\text{мг/м}^3$ ), которые при ежедневной работе в течение 8 ч или при другой продолжительности, но не более 41 ч в неделю, на протяжении всего рабочего стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в более отдаленные сроки жизни.

Отрицательным свойством многих видов пылей является их способность к воспламенению и взрыву. В зависимости от величины нижнего предела воспламенения пыли подразделяют на взрывоопасные и пожароопасные. К взрывоопасным относятся пыли с нижним пределом воспламенения до  $65 \text{ г/м}^3$  (сера, сахар, мука). К пожароопасным относят пыли с нижним пределом воспламенения выше  $65 \text{ г/м}^3$  (табачная, древесная пыль и др.). При взрывах на предприятиях возможны несчастные случаи с людьми, а также разрушения и повреждения оборудования, строительных конструкций и т.п.

Для защиты от пыли на производстве применяется комплекс санитарно-гигиенических и технических мероприятий. Наиболее эффективными являются технические решения, исключающие выброс пыли в рабочую зону, например, за счет повышения герметичности технологического объема, в котором перерабатывается пылящий материал, либо другие изменения в промышленном оборудовании. Вторая группа мер связана с уменьшением

концентрации вредных веществ, которые попали в воздушную зону рабочих мест, с помощью вентиляции либо очисткой пылеуловителями и фильтрами, использованием водяных завес и пр. Эти способы широко применяются на производстве, однако дополнительные защитные устройства достаточно часто ухудшают удобство работы человека и тем самым снижают эффективность его труда. Индивидуальные средства защиты (респираторы, очки и пр.) также неудобны в работе, поэтому их рекомендуется использовать для временных непродолжительных работ в ограниченном масштабе.

## СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА

Существует несколько методов определения запыленности воздушной среды, из которых наиболее часто применяются два: весовой и счетный. Более предпочтителен первый метод, применяемый обычно в практике инспекторского контроля воздушной среды.

Сущность *весового метода* заключается в том, что определенный объем запыленного воздуха пропускается через высокоэффективный фильтр и по увеличению массы фильтра и объему профильтрованного воздуха рассчитывают массовую (весовую) концентрацию пыли по формуле

$$C = \frac{G}{V_0} = \frac{M_2 - M_1}{V_0}, \text{ мг/м}^3, \quad (2.1)$$

где  $C$  – массовая концентрация пыли, мг/м<sup>3</sup>;

$G$  – масса пыли, осевшей на фильтре, мг;

$M_1$  и  $M_2$  – масса фильтра соответственно до и после отбора пробы, мг;

$V_0$  – объем профильтрованного воздуха, приведенного к нормальным условиям (температура 0°C и барометрическое давление 760×133,322 Па), м<sup>3</sup>.

Объем профильтрованного воздуха определяется по формуле

$$V_0 = \frac{V_t \cdot 173 \cdot B}{(273 + T) \cdot 760 \cdot 133322}, \text{ м}^3, \quad (2.2)$$

где  $B$  – барометрическое давление, Па;

$T$  – температура воздуха в месте отбора пробы пыли, С°;

$V_t$  – объем воздуха, пропущенного через фильтр при температуре  $T$  и давлении  $B$ ,  $m^3$ ; рассчитывается по формуле

$$V_t = \frac{v \cdot t}{1000}, m^3, \quad (2.3)$$

где  $v$  – объемная скорость просасывания воздуха через фильтр, л/мин;  
 $t$  – продолжительность отбора пробы, мин;  
 $1000$  – перевод объема воздуха из литров,  $m^3$ .

Для подсчета массовой концентрации пыли ( $mg/m^3$ ) можно пользоваться также формулой, получаемой путем подстановки значения  $V_t$  из формулы (2.3) в формулу (2.2) и значения  $V_0$  в формулу (2.1):

$$C = \frac{3,71 \cdot 10^5 \cdot G(273 + T)}{v \cdot t \cdot B}. \quad (2.4)$$

*Счетный метод.* В ряде отраслей промышленности имеются производства с повышенными требованиями к чистоте воздушной среды: изготовление радиоэлектронной аппаратуры, кинофотоматериалов, медицинских препаратов и т.п. При таких производствах действуют ведомственные нормы качества воздуха, которыми установлены ПДК пыли в счетных показателях: число частиц на литр или на  $cm^3$  воздуха (ч/л, ч/ $cm^3$ ). Сущность контроля запыленности воздуха, который в этом случае осуществляется счетным методом, заключается в предварительном осаждении пылинок из определенного объема прибора на предметное стекло и последующем подсчете их числа с помощью микроскопа. Путем деления общего числа пылинок на объем воздуха, из которого они осажжены, получают счетную концентрацию пыли (ч/л):

$$C = \frac{N}{V} = \frac{K_n \cdot n_{cp} \cdot S}{V} = \frac{K_n \cdot n_{cp} \cdot \pi \cdot R^2}{\pi \cdot R^2 \cdot h} = \frac{K_n \cdot n_{cp}}{h}, \quad (2.5)$$

где  $K_n$  – количество полей зрения (клеток сетки) в 1  $cm^2$  окуляра микроскопа;

$n_{cp}$  – среднее количество пылинок в одном поле зрения, определенное на основе подсчета в пяти различных клетках;

$S$  – площадь основания емкости, из которой осажжены пылинки,  $cm^2$ ;

$R$  – радиус основания емкости, см;

$V$ ,  $h$  – объем и высота этой ёмкости, соответственно  $cm^3$  и см;

$N$  – число пылинок.

## УСТРОЙСТВО ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ И ПРИБОРОВ

Для определения концентрации пыли весовым методом применяется лабораторная установка, схема которой приведена на рис. 2.1. Она состоит из пылевой камеры и приборного отсека. Пылевая камера емкостью  $0,05 \text{ м}^3$  имитирует производственное помещение, в котором воздушная среда загрязняется пылью вследствие пылевывделяющих процессов. В приборном отсеке размещаются основные приборы и приспособления для измерения концентрации пыли.

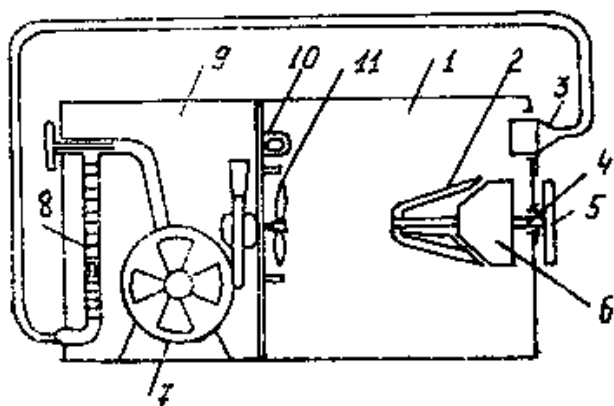


Рис. 2.1. Схема установки для отбора весовых проб пыли:  
1 – пылевая камера; 2 – конусообразный стакан; 3 – фильтровальный патрон (аллонж); 4 – бункер-дозатор; 5 – ручка; 6 – регулировочная гайка; 7 – воздушодувка; 8 – ротаметр; 9 – приборный отсек; 10 – фонарь; 11 – вентилятор

Передняя стенка камеры выполнена в виде дверки с уплотнением. На ней внутри камеры закреплен бункер-дозатор, предназначенный для дозированной подачи пыли в камеру. Бункер-дозатор имеет конусообразный стакан, куда засыпается навеска пыли, гайку, регулирующую величину зазора, через который пыль поступает в камеру и ручку.

При повороте ручки-дозатора происходят щелчки. Вследствие сотрясения пыль высыпается из стакана в воздушное пространство камеры. Количество высыпавшейся пыли регулируется гайкой. В камере пыль рассеивается вентилятором, крыльчатка которого приводится во вращение с помощью электродвигателя, размещенного в приборном отсеке.

Для визуального наблюдения за процессом пылеобразования в камере имеется светопрозрачное окно. Подсветка аэрозоля в камере осуществляется с помощью фонаря, закрепленного на стенке камеры.

На передней стенке камеры имеется отверстие для отбора проб запыленного воздуха. В нерабочем положении оно закрывается пробкой, а при работе установки в него вводится фильтровальный патрон. Последний снаряжается аналитическим аэрозольным фильтром типа АФА-В-10. Такие фильтры отличаются отсутствием гигроскопичности, вследствие чего их не требуется сушить и выдерживать до получения постоянной массы. Синтетические волокна этих фильтров несут на себе электрический заряд, поэтому эффективность пылезадержания фильтров чрезвычайно высока. Фильтры считаются абсолютными, т.е. их эффективность принимается равной 100%. Отсасываемый из камеры воздух компенсируется чистым воздухом, поступающим через специальное отверстие, закрытое войлочным фильтром. В установке предусмотрена блокировка, не допускающая включение вентилятора при открытой передней стенке камеры.

Отсасывание запыленного воздуха производится с помощью aspirатора, расположенного в приборном отсеке. К aspirатору резиновой трубкой подключается фильтрующий патрон. Aspirатор смонтирован в металлическом корпусе и состоит из воздуходувки с электродвигателем и четырех ротаметров, служащих для измерения расхода отсасываемого воздуха. Каждый ротаметр состоит из стеклянной трубки и находящегося в ней поплавка. Трубки ротаметров градуированы.

На передней панели aspirатора имеются штуцеры для присоединения резиновых трубок и вентилей ротаметров для регулирования объемной скорости отсасывания воздуха.

При проведении лабораторной работы дополнительно к установке используются следующие приборы: секундомер, барометранероид, термометр, аналитические весы с разновесом.

Для обеспечения электробезопасности лабораторная установка должна быть заземлена, для чего в задней части приборного отсека предусмотрен болт. Установка подключается к сети напряжением 220 В.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Определение запыленности воздуха рабочей зоны весовым методом:

1. Взвесить аналитический фильтр АФА-В-10 на лабораторных весах. Так как фильтры запрессованы в бумажные фильтродержатели, то перед взвешиванием их следует отделить от фильтродержателей и взвешивать без них с точностью до 0,1 мг. Засыпать навеску пыли в бункер-дозатор и с помощью гайки установить зазор, обеспечивающий подачу пыли в требуемом количестве. Включив вентилятор, повернуть ручку бункера-дозатора по часовой стрелке на несколько щелчков до образования в камере необходимой запыленности воздуха (наблюдается через окно).

2. Вставить фильтр в фильтровальный патрон. Включив аспиратор, выбрать требуемую скорость отсасывания воздуха. Отсчет скорости прохождения воздуха следует брать по верхней кромке поплавка на шкале ротаметра. После выбора скорости отсасывания воздуха аспиратор выключить, фильтровальный патрон с фильтром установить в пылезаборное отверстие пылевой камеры. Включить одновременно аспиратор и секундомер и произвести отбор пробы пыли. В течение всего времени отбора пробы пыли скорость отсасывания воздуха поддерживать постоянной с помощью вентиля ротаметра. Зафиксировать секундомером продолжительность отбора пробы пыли.

3. Извлечь фильтр АФА-В-10 из патрона вместе с бумажным фильтродержателем. Взвесить фильтр на лабораторных весах (без фильтродержателя).

4. Замерить барометрическое давление и температуру воздуха в помещении.

5. Рассчитать концентрацию пыли по формулам (2.1), (2.2), (2.3) и (2.4) и результаты занести в отчет. Вид исследуемой пыли задает преподаватель. Для гигиенической оценки запыленности воздуха на рабочем месте (по ГОСТ 12.1.005.88) определить ее ПДК и класс опасности. Экспериментально найденную концентрацию пыли сравнить с предельно допустимой величиной. Сделать соответствующий вывод по результатам опытов.

## ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ 2

### Оценка запыленности воздуха рабочей зоны

---

(шифр, группа, ф., и., о. студента)

1. Схема лабораторной установки.

2. Определение запыленности воздуха рабочей зоны весовым методом.

**Исходные данные:** наименование пыли \_\_\_\_\_, ПДК \_\_\_\_\_ кг/м<sup>3</sup>  
 класс опасности пыли \_\_\_\_\_  
 барометрическое давление \_\_\_\_\_ Па  
 температура воздуха в помещении \_\_\_\_\_ °С

№ опыта	Объемная скорость просасывания воздуха через фильтр $v$ , л/мин	Продолжительность отбора пробы пыли $t$ , мин	Масса фильтра до отбора пробы пыли $M_1$ , мг	Масса фильтра после отбора пробы пыли $M_2$ , мг	Масса пыли, уловленной фильтром $G$ , мг	Концентрация пыли в воздухе $C$ , мг/м <sup>3</sup>	Превышение ПДК $n = C/C_{\text{ПДК}}$

**Закключение** \_\_\_\_\_



## РАСЧЕТ РАССЕЙЯНИЯ ЗАПЫЛЕННЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ

Выброс вредных веществ в атмосферу должен производиться таким образом, чтобы загрязнение воздушной среды в приземном слое не превышало установленных величин ПДК. Для нетоксичной пыли  $C_{\text{пдк}} = 0,5 \text{ мг/м}^3$ .

При рассеянии вредных выбросов из дымовой трубы максимальная приземная концентрация примесей образуется на расстоянии, равном примерно  $20 \text{ Н}$  от трубы, где  $\text{Н}$  – высота трубы, м (рис. 2.2).

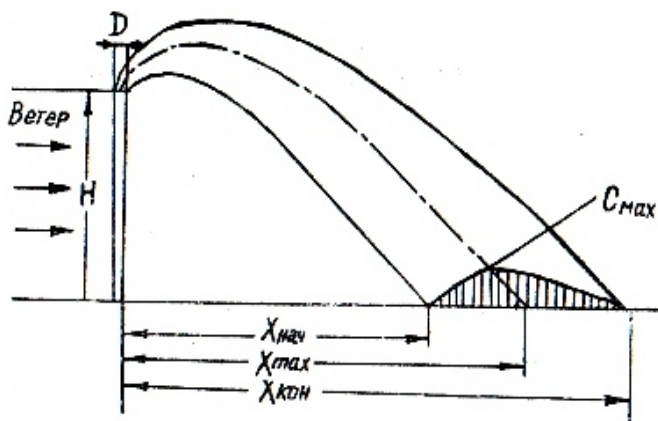


Рис. 2.2. Схема рассеяния выбросов пыли из дымовой трубы

Для холодных выбросов максимальная концентрация пыли в приземном слое атмосферы,  $\text{мг/м}^3$ , подсчитывается по формуле

$$C_{\text{max}} = \frac{AMnk\nu}{\text{Н}^{\frac{3}{4}}},$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от метеорологических условий рассеяния вредностей в атмосфере (температурной стратификации). Его величина принимается в соответствии с климатическими зонами (табл. 2.1);

$\text{Н}$  – высота трубы, м, для расчета принимается равной  $30 \dots 70 \text{ м}$  (с интервалом  $10 \text{ м}$ );

$M$  – масса выбрасываемых веществ, г/с, определяется путем умножения замеренной концентрации на объем выбросов

( $M=CV$ ). Для расчета объема выбросов задаются (10...50 тыс.  $\text{м}^3/\text{ч}$  с интервалом 10 тыс.  $\text{м}^3/\text{ч}$ ). Концентрация пыли устанавливается по данным лабораторных исследований;

$v$  – безразмерный коэффициент, зависящий от скорости оседания вредных веществ в атмосферном воздухе, для мелкодисперсной пыли принимается  $v = 1$ ;

$n$  – безразмерный коэффициент, зависит от параметра  $v_m$ ,  $\text{м}/\text{с}$ , который находится из выражения

$$v_m = 1,3 v_0 D/H$$

(при  $v_m \leq 0,3$   $n=3$ ; при  $0,3 \leq v_m \leq 2$   $n = 3 - \sqrt{(v_m - 0,3)(4,36 - v_m)}$ );

$D$  – диаметр устья трубы,  $\text{м}$ . Для расчета принимается равным 0,8...1,2  $\text{м}$  (с интервалом 0,1  $\text{м}$ );

$v_p$  – скорость выхода газов из устья трубы,  $\text{м}/\text{с}$ ; находится по формуле

$$v_0 = \frac{V}{3600\pi D^2 / 4},$$

где  $k$  – коэффициент,  $\text{с}/\text{м}^2$ , определяемый по формуле

$$k = \frac{D}{8V},$$

здесь  $V$  – объем выбрасываемых газов в единицу времени,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Т а б л и ц а 2.1

### Значение коэффициента $A$

Климатическая зона	Коэффициент $A$
Нижнее Поволжье, Кавказ, Сибирь, Дальний Восток	200
Север, Северо-Запад европейской территории РФ, Среднее Поволжье, Урал	160
Центральная часть европейской территории РФ	120

Произведем расчет рассеяния запыленных выбросов. Через дымовую трубу высотой 30  $\text{м}$  и диаметром устья 1  $\text{м}$  выбрасывается в атмосферу вентиляционный воздух, запыленный до концентрации  $C = 480 \text{ мг}/\text{м}^3$ .

Объем выбрасываемого воздуха составляет  $V = 30000 \text{ м}^3/\text{ч} = 8,33 \text{ м}^3/\text{с}$ . Пыль нетоксичная, ее ПДК в приземном слое атмосферы составляет  $0,5 \text{ мг}/\text{м}^3$ . Фоновая концентрация пыли равна  $0,15 \text{ мг}/\text{м}^3$ . Предприятие расположено в европейской части РФ.

Определить величину максимального загрязнения пылью приземного слоя атмосферы и сравнить ее с величиной ПДК.

### Решение

1. Так как предприятие расположено в европейской части РФ, то коэффициент  $A = 120$ .

2. Масса выбрасываемой пыли

$$M = CV = 480 \cdot 8,33 = 4000 \text{ мг/с.}$$

3. Определяем скорость выхода воздуха из устья трубы:

$$v_0 = \frac{4V}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 8,33}{3,14 \cdot 1^2} = 10,61 \text{ м/с.}$$

4. Находим параметр  $v_m$ :

$$v_m = 1,3v_0 \frac{D}{H} = 1,3 \cdot 10 \frac{61}{30} = 0,46 \text{ м/с.}$$

5. Определяем параметр  $n$  при условии  $v_m > 0,3 \text{ м/с}$ :

$$n = 3 - \sqrt{(v_m - 0,3)(4,36 - v_m)} = 3 - \sqrt{(0,46 - 0,3)(4,36 - 0,48)} = 2,2$$

6. Определяем коэффициент  $k$ :

$$k = \frac{D}{8V} = \frac{1}{8 \cdot 8,33} = 0,01 \text{ с/м}^2.$$

7. Находим максимальную величину концентрации пыли в приземном слое атмосферы:

$$C_{\max} = \frac{120 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 2,2 \cdot 0,01}{30^{4/3}} = 0,22 \text{ мг/м}^3$$

8. С учетом фоновое загрязнение воздуха в данной местности  $C_{\text{ф}} = 0,15 \text{ мг/м}^3$  общее загрязнение составит:

$$C_{\text{об}} = 0,22 + 0,15 = 0,37 \text{ мг/м}^3,$$

что не превышает  $C_{\text{пдк}} = 0,5 \text{ мг/м}^3$ .

### Расчет рассеяния запыленных вентиляционных выбросов в атмосферном воздухе

**Исходные данные:** Наименование пыли \_\_\_\_\_  
 ПДК = \_\_\_\_\_ мг/м<sup>3</sup>;  
 Класс опасности пыли \_\_\_\_\_  
 $A = \underline{\hspace{1cm}}$  м;  $H = \underline{\hspace{1cm}}$  м;  $D = \underline{\hspace{1cm}}$  м;  $V = \underline{\hspace{1cm}}$  м<sup>3</sup>/с

### Решение

1.  $M = CV = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мг / с}$
2.  $v_0 = 4V(\pi D^2) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мг / с}$
3.  $v_m = 1,3v_0 D / H = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м / с}$
4.  $n = 3 - \sqrt{(v_m - 0,3)(4,36 - v_m)} = \underline{\hspace{2cm}}$   
при  $v_m > 0,3 \text{ м/с}$
5.  $k = D/8Y = \underline{\hspace{2cm}}$
6.  $C_{\max} = AMnk v H^{\frac{4}{3}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мг / м}^3$

**Заключение** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Подпись** \_\_\_\_\_

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется пылью?
2. В чем заключается гигиеническая вредность пыли?
3. Что такое ПДК вредного вещества?
4. Сущность весового метода определения концентрации пыли.
5. Каким образом измеряется счетная концентрация пыли?
6. Как измеряется объем воздуха, просасываемого через фильтр при весовом методе измерения концентрации пыли?
7. Какие санитарно-технические мероприятия позволяют снижать концентрацию пыли на рабочих местах до уровня ПДК?
8. Какие средства индивидуальной защиты работающих применяются в условиях повышенной запыленности воздуха рабочей зоны?

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Утв. Постановлением Госкомсан-эпиднадзора России от 1 октября 1996 г., № 21.

## Лабораторная работа 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА

**Цель работы:** научиться измерять параметры шума, производить санитарно-гигиеническую оценку шума и определять эффективность звукоизоляции преград.

**Содержание работы:** измерение уровней шума на рабочих местах; санитарно-гигиеническая оценка шума; измерение и расчет звукоизоляции преград.

#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ШУМЕ

Шумом называют различные звуки, мешающие нормальной деятельности человека. Звук представляет собой колебательное движение упругой среды. Звук, распространяющийся в воздушной среде, называют воздушным шумом; звук, передающийся по строительным конструкциям, – структурным. Движение звуковой волны в воздухе по сравнению с невозмущенной воздушной средой сопровождается периодическим изменением давления. Орган слуха человека реагирует на изменение звукового давления  $P$  (Па), чем выше звуковое давление, тем сильнее ощущение громкости звука. Звуковая волна характеризуется частотой и амплитудой колебаний. Человек воспринимает звуки с частотой 20...20000 Гц. Человек способен различать огромный диапазон звуков разного звукового давления. Звук с частотой в 1000 Гц на грани болевого порога ( $2 \cdot 10^2$  Па) в  $10^7$  раз превышает звук на пороге слышимости (едва различимый звук) с  $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па. Поэтому в акустике используют не абсолютные величины звукового давления, а их относительные логарифмические уровни, выражаемые в децибелах:

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

где  $L$  – уровень звукового давления, дБ;

$P$  – звуковое давление, Па;

$P_0$  – пороговая величина звукового давления, равная  $2 \cdot 10^{-5}$  Па.

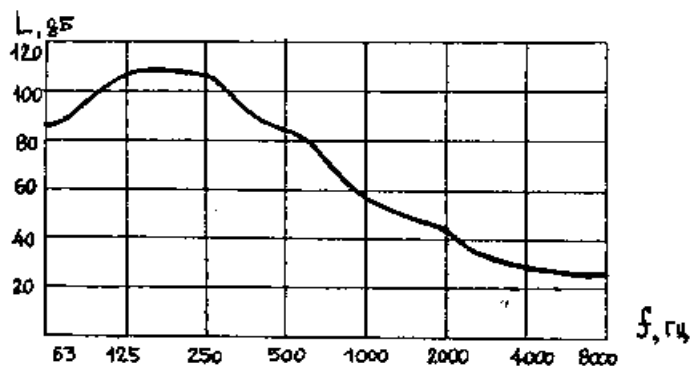
Снижение уровня звукового давления на 3 дБ ведет к уменьшению абсолютной величины звукового давления в 1,26 раза; на 6 дБ – в 3 раза. В практике часто необходимо знать распределение уровней звукового давления по частотам. Для получения частотных спектров шумов производят измерение уровней звукового давления на фиксированных октавных среднегеометрических частотах. Интервал частот, в котором верхняя граничная частота  $f_B$  вдвое выше нижней граничной частоты  $f_H$ , называется октавой. Для нормирования шума и оценки звукоизоляции установлены следующие октавные полосы частот: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц. Каждую октавную полосу характеризует значение среднегеометрической частоты  $f_{cr} = \sqrt{f_B \cdot f_H}$ . Общее субъективное воздействие шума на человека оценивается по *уровню звука* в дБА (децибелах «А»), когда шумометр включает-ся на характеристику «А», при которой производится суммирование звуковой энергии по всем частотам спектра. По характеру спектра шумы разделяются на: широкополосные, где представлены звуки на всех частотах спектра (рис. 3.1,а); тональные, в спектре которых явно прослушиваются дискретные тона (рис. 3.1,б).

По временным характеристикам шумы делятся на постоянные, уровень звука которых в течение рабочего дня изменяется не более, чем на 5 дБА; непостоянные, уровень звука которых в течение рабочего дня меняется более, чем на 5 дБА.

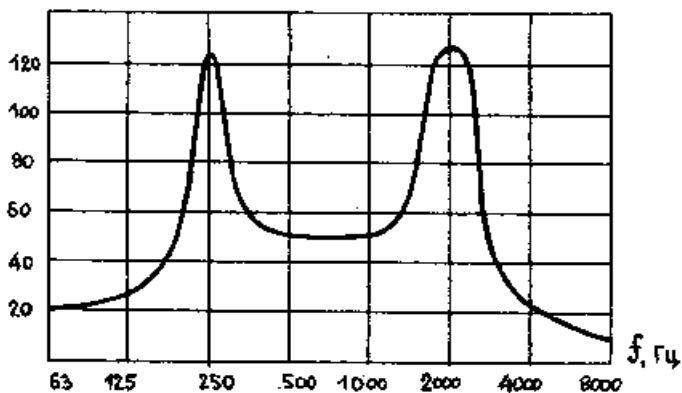
В свою очередь непостоянные шумы разделяются на:

- колеблющиеся во времени (уровень звука которых непрерывно изменяется во времени);
- прерывистые, уровень звука которых резко падает до уровня фонового шума (при длительности интервалов в 1 с и более);
- импульсные, состоящие из одного или нескольких сигналов, каждый длительностью менее 1 с, отличающиеся друг от друга не менее, чем на 10 дБ.

Шум воздействует на человека, вызывая в его организме неблагоприятные физиологические и психические последствия. Длительное и систематическое действие повышенного сверх нормы производственного шума приводит к снижению остроты слуха, нарушениям в центральной нервной системе, которые ведут к неблагоприятным, а порой патологическим изменениям во



а



б

Рис. 3.1. Графики шумов:  
а – широкополосный; б – тональный

всех жизненно важных системах организма человека. Действие шума проявляется в виде повышения у работника кровяного давления, появления головокружения и головной боли, ослабления внимания и координации движения. Именно значительное снижение работоспособности человека привело к тому, что в странах Евросоюза мерам по защите рабочих мест от производственного шума придают повышенное внимание.

## **НОРМИРОВАНИЕ ШУМА**

Производственный шум нормируется в частотном диапазоне 31,5...8000 Гц по стандартным октавным полосам. При этом на частотах спектра нормируется уровень звукового давления в децибелах, а суммарное воздействие звуковой энергии на всех частотах оценивается и нормируется по уровню звука, выраженного в децибелах «А» (дБА).

Нормы шума и измеряемые параметры шума определены в Санитарных нормах СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах». Допустимые уровни звука и уровни звукового давления для рабочих и служащих представлены в Санитарных нормах СН 2.2.4/2.1.8.562-96 и СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» (табл. 3.1).

Установлены следующие измеряемые и рассчитываемые параметры шума:

- для постоянного шума: а) уровень звука, дБА; б) октавные уровни звукового давления, дБ, на частотах 31,5...8000 Гц;
- для колеблющегося во времени шума: а) эквивалентный уровень звука, дБА; б) максимальный уровень звука, дБА;
- для импульсного и прерывистого шума: а) эквивалентный уровень звука, дБА; б) максимальный уровень звука, дБА.

По СНиП 23-03-2003 запрещается даже кратковременное пребывание людей в зонах с уровнем звукового давления свыше 135 дБ в любой октавной полосе.

## **СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА**

Мероприятия по снижению шумового воздействия на работающих следует разрабатывать комплексно на всех стадиях проектирования генерального плана предприятия, планировочного решения помещений, размещения технологического оборудования. Наиболее эффективным и экономичным считается уменьшение шума в источнике его возникновения, которое обеспечивается должным профилактическим обслуживанием машин и механизмов, оптимальным режимом их эксплуатации, использованием шумозащитных преград, кожухов, экранов.



Таблица 3.1

**Допустимые уровни звукового давления, уровни звука  
и эквивалентные уровни звука на рабочих местах  
в производственных помещениях и на территории предприятий**

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивал. уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1. Творческая деятельность, руководящая работа, научная деятельность, преподавание, обучение и пр.	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2. Высококвалифицированная работа, административно-управленческая работа и пр.	93	79	70	68	58	55	52	50	49	60
3. Операторская и диспетчерская	96	83	34	68	63	60	57	55	54	65
4. Работа, требующая сосредоточенности и с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону	193	91	83	77	73	70	68	66	64	75
5. Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных в п.п. 1-4) на постоянных рабочих местах	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

На практике широко применяют методы по снижению шума на путях его распространения в производственных помещениях. Преодолевая различные звукоизоляционные и звукопоглощающие барьеры (экраны, кожухи, глушители и прочее), звуковая волна теряет часть своей энергии, в результате чего её шумовые характеристики снижаются до допустимых значений. В добавлении к коллективным средствам защиты используют и индивидуальные, но их рекомендуют применять, если коллективными техническими мероприятиями не удастся снизить шум до допустимых пределов. Наушники, противошумные вкладыши и пр. ухудшают удобство работы и тем самым провоцируют работника на их изъятие. Поэтому индивидуальные средства эффективны при ограничении их использования по численности персонала и по времени работы.

## **ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ**

Схема лабораторной установки представлена на рис. 3.2. Измерения параметров шума проводятся на макете помещения, состоящего из шумовой камеры А, в которой помещается источник шума в виде динамика.

Сигналы к динамику поступают от генератора, возбуждающего звуковые колебания в частотном диапазоне 20...20000 Гц. Выходные данные сигнала генератора звука задаются преподавателем. В изолируемом помещении Б располагается микрофон шумомера. Сигналы от микрофона поступают на шумомер Р S/202 и далее – на октавный фильтр OF201 (фирмы RFT).

В шумомере имеются переключатели пределов измерения (рис. 3.3), стрелочный индикатор, переключатель характеристик шумомера А и Lin.

Корректирующей характеристикой А пользуются при измерении уровня звука в дБА; характеристику Lin (линейную) применяют при проведении спектрального анализа, т.е. определении распределения уровней звукового давления по октавным полосам спектра: 31,5...8000 Гц.

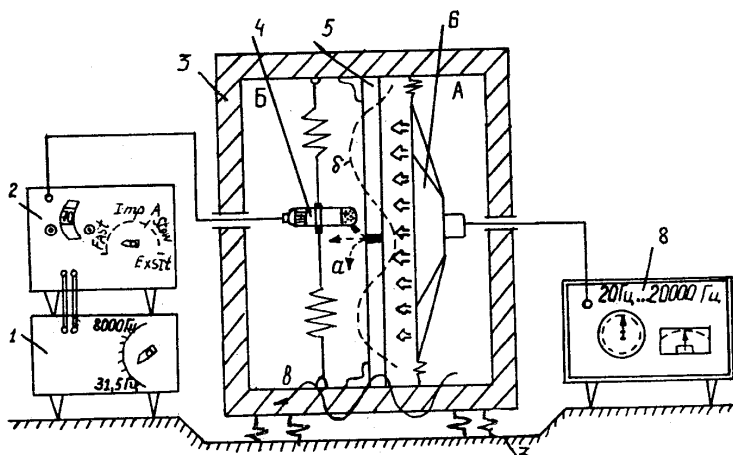


Рис. 3.2. Схема лабораторной установки:

1 – октавный фильтр; 2 – шумомер; 3 – макет помещения; 4 – микрофон; 5 – перегородка; 6 – динамик; 7 – виброизолятор резиновый; 8 – генератор звуковых сигналов; А – шумовая камера; В – изолируемое помещение; а, б, в – пути передачи звука из помещения А в помещение Б

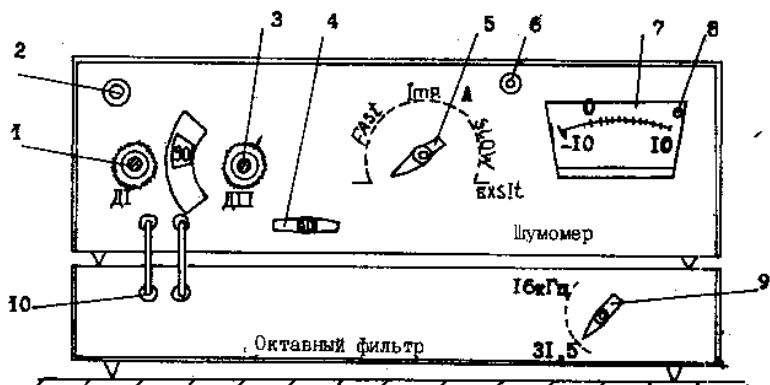


Рис.3.3. Органы управления шумомера модели PS/202 и октавного фильтра модели OF 201:

1 – переключатель пределов измерения «Диапазон 1»; 2 – микрофонный вход; 3 – переключатель пределов измерения «Диапазон 2»; 4 – переключатель «Контроль батареи»; 5 – переключатель характеристик и режимов измерения; 6 – сигнальная лампочка включения прибора; 7 – стрелочный индикатор; 8 – индикатор перегрузки прибора; 9 – переключатель октавных полос фильтра; 10 – перемычки для соединения шумомера с фильтром

Человек обладает различной чувствительностью к звукам разной частоты. Раздражающее действие шума возрастает в пределах частот 20...1000 Гц, достигая максимума, на высоких частотах 1000-8000 Гц.

Указанные особенности слухового анализатора человека учитываются в ходе измерения уровня звука, когда дается интегральная (суммарная) оценка воздействия энергии звуков различной частоты. Измерение уровня звука проводится на корректирующей характеристике шумомера «А», т.е. измеряется уровень звука в децибелах «А» (дБА). При этом чувствительность всего измерительного тракта «микрофон-шумомер» подобрана таким образом, чтобы она соответствовала средней минимальной чувствительности человека к звукам на частотах 31,5...8000 Гц.

График корректирующей характеристики шумомера «А» (рис. 3.4,б) представляет собой зеркальное изображение кривой порога чувствительности человека (рис. 3.4,а). На этом же рисунке показана характеристика шумомера Lin или линейная характеристика, при которой чувствительность измерительного тракта на всех частотах спектра постоянна. Характеристика Lin используется при проведении спектрального анализа с помощью блока октавных фильтров. При спектральном анализе последовательно включаются в работу отдельные фильтры от 31,5 до 8000 Гц и определяются уровни звукового давления в децибелах (дБ) на каждой фиксированной частоте. В результате устанавливается область частот, где интенсивность звуков максимальна. На основании этого разрабатываются технические способы снижения шума, которые существенно различаются для низкочастотных, среднечастотных и высокочастотных звуков. Блок октавных фильтров OF 201 соединяется с шумомером двумя перемычками и представляет собой набор RC-фильтров, настроенных на пропускание звуковых электрических сигналов на фиксированных частотах 31,5...8000 Гц.

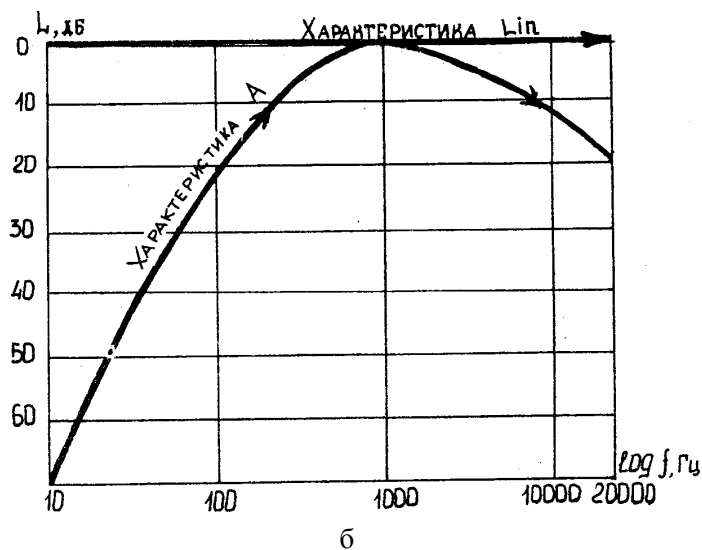
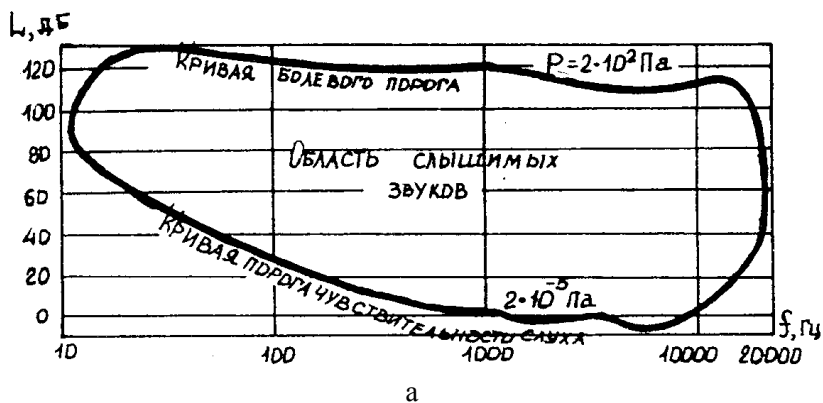


Рис. 3.4. Кривые чувствительности органа слуха человека (а) и корректирующие характеристики шумомера А и Lin (б)

## **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

### **Измерение уровней звукового давления в дБ**

1. Шумомер включается при помощи переключателя режимов измерения 4 (см. рис. 3.3) в режим «Медленно» и на режим «Внешний фильтр» (Exsit), после чего загорается неоновая лампа на его лицевой панели.

2. Переключателем диапазонов 1 и 3 следует установить стрелку в положительном секторе шкалы индикатора в интервале 0 ...+10 дБ. При этом сначала управляют переключателем пределов измерения «Диапазон 1», которым последовательно понижают (ступенями по 10 дБ) звук в диапазоне измерений 130... 70 дБ, пока в каком-то из этих поддиапазонов стрелка прибора не войдет в положительный сектор шкалы индикатора. Для понижения диапазона ручка переключателя «Диапазон 1» вращается против часовой стрелки. Если требуется дальнейшее понижение предела измерения (60-50-40-30 дБ), то это обеспечивается вращением против часовой стрелки переключателя «Диапазон 2».

3. Отсчет получается суммированием показаний стрелочного индикатора (от 0 до 10 дБ) и установленного диапазона измерений (от 130 до 30 дБ), в котором стрелка вошла в положительный сектор шкалы.

4. Для спектрального анализа используется октавный фильтр типа OF 201 фирмы RFT (см. рис. 3.3), обеспечивающий пропускание звуков по октавным полосам частот 31,5...16000 Гц. В лабораторной установке шумомер стационарно соединен с блоком октавных фильтров. При спектральном анализе шумомер должен быть включен на режим «Медленно» и одновременно на режим «Внешний фильтр» (Exsit) с помощью переключателя 4.

Затем последовательно включаются фильтры от 31,5 до 8000 Гц и на каждой октавной полосе определяется (по шумомеру) уровень звукового давления.

Измерение уровней звукового давления начинается с полосы октавы 31,5 Гц и продолжается в сторону повышения частот до полосы 8000 Гц. При измерениях постоянных шумов фиксации уровней проводят не менее трех раз на каждой частоте. Результатом измерения явится среднее арифметическое значение уровня

звукового давления или уровня звука, которые заносят в табл. 1 отчета о лабораторной работе 3. Среднее значение уровней сопоставляется с нормой по СНиП 2303-2003 (см. табл. 3.1).

### **ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЕЙ ЗВУКА В ДБА**

1. Шумомер включается с помощью переключателя режимов измерения 4 (см. рис. 3.3) в режим «Медленно» и на характеристику «А».

2. Переключателями «Диапазон 1» (130...70 дБ) и «Диапазон 2» (60...30 дБ) следует добиться установления стрелки индикатора в положительном секторе шкалы (0... +10 дБ).

3. Показания стрелочного индикатора снимаются визуально по среднему положению стрелки.

4. Отсчет получается суммированием показаний стрелочного индикатора (0...+10 дБ) и установленного диапазона измерений.

5. Измерения повторяются не менее трех раз. Результаты измерения усредняют и заносят в табл. 1 отчета о лабораторной работе 3. Для наглядности измеренные и нормативные уровни звукового давления изображаются графически (см. форму отчета о лабораторной работе 3).

6. После проведения измерений шумомер выключается переключателем режимов измерений в положение «0».

### **ИЗМЕРЕНИЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ОГРАЖДЕНИЯ**

1. Собрать установку и измерительный тракт по схеме (см. рис. 3.2) без установки испытуемого образца перегородки.

2. Включить измерительную аппаратуру и генератор шума, при помощи ручки регулятора выходного напряжения генератора установить в камере заданный уровень звукового давления. Уровень звукового давления задается преподавателем (например, 90 дБА) и устанавливается лаборантом.

3. Произвести измерения октавных уровней звукового давления в изолируемом помещении Б (см. рис. 3.2) до установки испытуемой перегородки. Так как измерения уровня звукового давления в камере без установки перегородки уже выполнялись, то значения L берутся из табл.1 отчета о лабораторной работе 3.

4. Определить теоретически и экспериментально звукоизолирующую способность перегородки. Звукоизоляция – это свойство ограждающих конструкций препятствовать распространению звука. Звукоизолирующая способность любой однослойной изотропной преграды определяется ее массивностью (или массой  $1 \text{ м}^2$  преграды). Звук за преграду передается следующими путями (см. рис. 3.2):

- через щели и отверстия в преграде;
- за счет колебаний преграды под действием энергии звуковых волн;
- при передаче звуковой вибрации из шумного помещения в изолируемое помещение Б через прилегающие строительные конструкции.

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ**

Необходимо установить испытуемый образец перегородки и закрепить его прижимным устройством (см. рис. 3.2). Произвести измерения октавных уровней звукового давления  $L_2$  в изолируемом помещении Б. Значения  $L_2$  занести в отчет о лабораторной работе. Затем вычислить звукоизоляцию  $R = L_1 - L_2$  дБ на частотах спектра и занести результаты в отчет. По полученным данным построить график звукоизоляции в координатах  $R/f$  (см. форму отчета о лабораторной работе 3).

В табл. 3.2 представлены значения плотности материалов и координат точек В, С.

### **ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ПЕРЕГОРОДКИ**

Звукоизоляция однослойных изотропных перегородок приближенно определяется по так называемому «закону массы» или более точно «графическим методом».

«Закон массы» имеет следующую формулу:

$$R = 20 \lg mf - 47,5 \text{ дБ},$$

где  $m$  – масса  $1 \text{ м}^2$  перегородки, кг;

$f$  – частота звука, от 31,5 до 8000 Гц.



Т а б л и ц а 3.2

**Характеристика строительных материалов**

Материал	Плот- ность, кг/м <sup>3</sup>	Координаты точек			
		В		С	
		дБ	Гц	дБ	Гц
Сталь	7800	39	$\frac{6000}{h}$	31	$\frac{12000}{h}$
Алюминиевые сплавы	2500- 2700	32	$\frac{6000}{h}$	22	$\frac{12000}{h}$
Стекло силикатное	2500	35	$\frac{6000}{h}$	29	$\frac{12000}{h}$
Стекло органическое	1200	37	$\frac{17000}{h}$	30	$\frac{34000}{h}$
Асбестоцементный лист	2100	35	$\frac{9000}{h}$	29	$\frac{18000}{h}$
	18000	34	$\frac{10000}{h}$	28	$\frac{20000}{h}$
	1600	34	$\frac{10000}{h}$	29	$\frac{18000}{h}$
Сухая гипсовая штукатурка	1100	36	$\frac{19000}{h}$	30	$\frac{38000}{h}$
	830	34	$\frac{19000}{h}$	27	$\frac{38000}{h}$
Древесно-стружечная плита (ДСП)	850 650	32 30,5	$\frac{13000}{h}$	27	$\frac{26000}{h}$
Твердая древесно- волокнистая плита (ДВП)	1100	35	$\frac{19000}{h}$	29	$\frac{38000}{h}$

*Примечание.* h – толщина однослойной конструкции, мм.

Графическим методом звукоизоляции перегородок заданной толщины, выполненных из металла, стекла, сухой гипсовой штукатурки, ДСП и др., в строительной практике рассчитываются по методике пособия к МГСН 2.04-97.

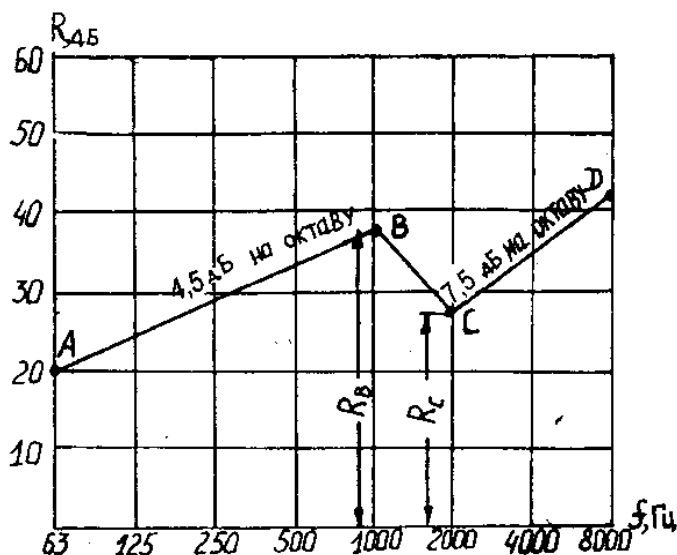


Рис. 3.5. Пример построения графика звукоизоляции ограждения на частотах спектра

Необходимо построить графическую зависимость  $R/f$ . Для построения кривой звукоизоляции ABCD (рис. 3.5) сначала определяются координаты точек В и С. Координаты точек В ( $R_B$ ,  $f_B$ ) и С ( $R_C$ ,  $f_C$ ) берутся из табл. 3.2. в зависимости от выбранного материала и толщины перегородки в миллиметрах. При этом полученные значения  $f_B$  и  $f_C$  округляются до значения ближайшей стандартной 43 октавной полосы 63...8000 Гц. Точки В и С наносятся на координатную сетку  $R$ - $f$  (см. рис. 3.5). Затем из точки В проводится прямая ВА с наклоном, равным 4,5 дБ на каждую октаву для перегородок (ограждений), выполненных из металла, стекла или других материалов. Из точки С проводится прямая CD с наклоном 7,5 дБ на октаву. Точки В и С соединяются прямой. В итоге получена ломаная кривая ABCD, показывающая теоретическую звукоизолирующую способность перегородки из выбранного материала.

# **ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ 3** **Исследование производственного шума**

---

(шифр, группа, ф., и., о. студента)

## 1. Протокол измерения параметров шума на рабочем месте.

---

(вид рабочего места)

Форма табл. 1

Номер отсчета	Уровень звука, дБА	Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1										
2										
3										
Среднее значение $L_1$										
Норма шума										
Превышение нормы										

Схема лабораторной установки:

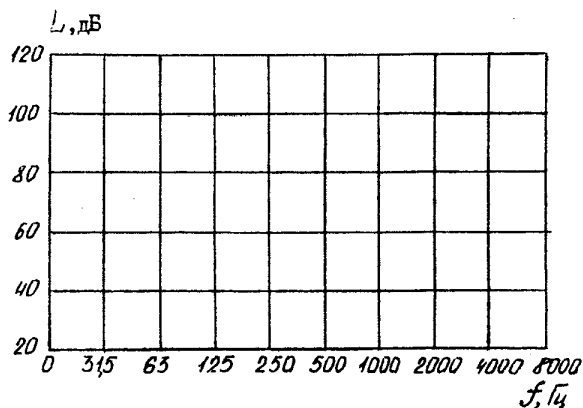


Рис. 3.6. График спектрального анализа уровней звукового давления на рабочем месте

Выводы по результатам измерения параметров шума:

- о превышении уровня звукового давления по частотам спектра в дБ;

- о превышении уровня звука в дБ.

## 2. Оценка звукоизолирующей способности перегородки

Графики экспериментальной и теоретической звукоизоляции необходимо представить в отчете о лабораторной работе. Для сравнения на одном рисунке изображаются графики звукоизоляции перегородки, полученной экспериментально и теоретически, делается вывод о степени расхождения теоретических и экспериментальных данных о звукоизоляции (рис. 3.7).

Форма табл. 2

**Измеренные значения уровня звукового давления**

Величина	Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L <sub>1</sub>									
L <sub>2</sub>									
R = L <sub>1</sub> -L <sub>2</sub>									

Из табл. 3.2 координаты точки В:

$R_B = \underline{\hspace{1cm}}$ ;  $f_B = \underline{\hspace{1cm}}$  Гц;

точки С:

$R_C = \underline{\hspace{1cm}}$ ;  $f_C = \underline{\hspace{1cm}}$  Гц.

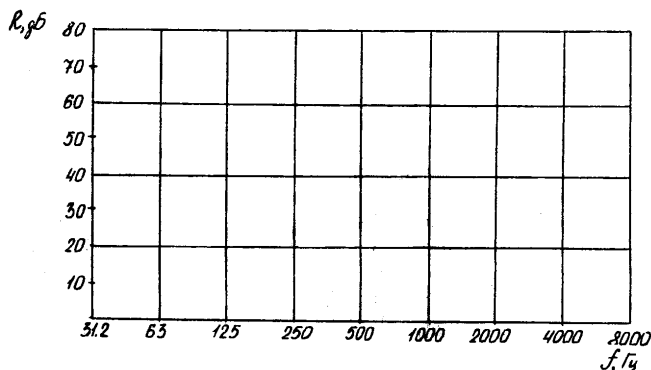


Рис. 3.7. График звукоизоляции перегородки

**Заключение** \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

**Подпись**

### *КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

1. Что понимается под уровнем звукового давления?
2. Чему равен порог чувствительности органа слуха человека?
3. Что такое октавные полосы частот?
4. Как определяется среднегеометрическая частота?
5. Как нормируется шум?
6. Как разделяются шумы по временным характеристикам?
7. Что такое корректирующие характеристики шумомера «А», Lin?
8. Что понимается под спектральным анализом шума?
9. Как приближенно можно рассчитать звукоизоляцию преграды?
10. Объясните методику построения кривой звукоизоляции плоской преграды из стали (или стекла) на стандартных частотах спектра звука.
11. Что понимается под уровнем звука, выраженного в дБА?

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах.

СНиП 23-03-2003. Защита от шума.

ГОСТ 12.1.080-86.ССБТ. Методы измерения шума на рабочих местах.

Пособие к МГСН 2.04-97. «Проектирование звукоизоляций ограждающих конструкций жилых и общественных зданий».

## Лабораторная работа 4

### ОЦЕНКА ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАБОЧИЕ МЕСТА

**Цель работы:** приобрести навыки измерения параметров вибрации, дать санитарно-гигиеническую оценку вибрации рабочего места, научиться производить расчет эффективности виброизоляции.

**Содержание работы:** измерение параметров вибрации на рабочих местах; оценка эффективности виброизоляции; расчет параметров стальной пружины.

#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ВИБРАЦИИ

Вибрационные колебания оказывают вредное воздействие на организм человека. Известно, что различные части тела и органы человека находятся в состоянии постоянного колебания с низкой частотой и незаметной для глаза амплитудой. Например, колебания внутренних органов имеют частоту 6-9 Гц, колебания головы относительно плеч 25-30 Гц. При внешнем вибрационном воздействии проявляется эффект резонанса, отражающийся на физиологическом и психическом состоянии человека, в первую очередь, на центральной нервной системе, а через нее и на других органах. Наибольшие изменения отмечаются в нервной и сердечно-сосудистой системах, что выражается головной болью, повышенной утомляемостью, раздражением, болями в суставах. При длительной работе с опасным оборудованием у человека может развиваться вибрационная болезнь, поражающая периферическую и центральную нервную систему и другие органы. На ранних стадиях лечение виброболезни возможно, при поздней диагностике в организме происходят необратимые изменения, приводящие к инвалидности и даже к летальным исходам.

Вибрация характеризуется следующими параметрами :

- частотой, Гц;
- виброскоростью, м/с;
- виброускорением, м/с<sup>2</sup>;
- уровнем виброскорости, дБ;
- уровнем виброускорения, дБ.

По способу воздействия на человека вибрация подразделяется на общую, передаваемую через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека; локальную, передаваемую через руки человека.

Для общей вибрации установлены направления действия  $Z$ ,  $X$ ,  $Y$ , где  $Z$  – вертикальная ось;  $X$ ,  $Y$  – горизонтальные оси; для локальной вибрации – направления действия  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , где ось  $X$  совпадает с осью мест охвата источника вибрации (рукоятка, рулевое колесо и т.п.), ось  $Z$  лежит в плоскости, образованной осью  $X$  и направлением подачи и приложения силы. Нормирование параметров вибрации осуществляется в зависимости от направления действия вибрации, ее вида, категории и частоты, а также от длительности ее действия на человека.

Общую вибрацию по источнику ее возникновения подразделяют на следующие категории:

- транспортную, воздействующую на операторов подвижных машин и транспортных средств при их движении по местности;
- транспортно-технологическую, воздействующую на операторов машин с ограниченным перемещением только по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок (бетоноукладчики, напольный транспорт);
- технологическую, воздействующую на операторов стационарных машин или передаваемую на рабочие места, не имеющие источников вибрации.

Для оценки неблагоприятного воздействия вибрационных колебаний установлены предельно допустимые значения, представленные в санитарных нормах СП 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий». Нормирование вибрации основано на оценке энергии колебаний на всех частотах. Технологическая вибрация нормируется на частотах 1... 90 Гц, на более высоких частотах вредность вибрации характеризуется уровнем шума, который возникает вследствие вибрации. Нормирование параметров вибрации принято производить по октавным полосам 2... 63 Гц.

Нормы вибрации установлены для каждой из указанных категорий вибрации. Технологическая вибрация (категория 3) норми-

руется по следующим стандартам среднегеометрическими частотами октавных полос: 2, 4, 8, 16, 31,5, 63 Гц.

Локальная вибрация нормируется по среднегеометрическим частотам октавных полос: 8, 16, 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000 Гц.

Любая полоса частот может характеризоваться значением среднегеометрической частоты

$$f_{\text{ср}} = \sqrt{f_{\text{н}} \cdot f_{\text{в}}} ,$$

где  $f_{\text{н}}$  - нижняя полоса частот, Гц;

$f_{\text{в}}$  – верхняя граничная полоса частот, Гц.

Если  $f_{\text{в}}/f_{\text{н}} = 2$ , то такая полоса частот называется октавной.

Нормируемыми параметрами вибрации по СН 2.2.4/2.1.8.566-96 являются виброускорение, виброскорость, логарифмические уровни виброускорения и виброскорости.

Логарифмический уровень виброскорости  $L_v$  определяется по формуле

$$L_v = 20 \lg V / V_0 \text{дБ} ,$$

где  $V$  – среднее квадратическое значение виброскорости, м/с;

$V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$  – пороговое значение виброскорости, м/с.

Логарифмический уровень виброускорения  $L_a$  определяется по формуле

$$L_a = 20 \lg a / a_0 \text{дБ} ,$$

где  $a$  – среднее квадратическое значение виброускорения, м/с<sup>2</sup>;

$a_0 = 3 \cdot 10^{-4}$  – пороговое значение виброускорения, м/с<sup>2</sup>.

Гигиенические нормы для технологической вибрации (категория 3) представлены в табл. 4.1. Гигиеническая норма установлена для длительности действия вибрации 480 мин (8 ч). Нормы локальной вибрации представлены в табл. 4.2.

При действии вибрации менее 480 мин значение допустимого нормируемого параметра определяется по формуле

$$u = u_{480} \cdot \sqrt{480/t} ,$$

где  $u_{480}$  – допустимое значение нормируемого параметра для длительности действия 480 мин;

$t$  – время фактического действия вибрации, мин.



Т а б л и ц а 4.1

**Гигиенические нормы технологической вибрации (категория 3)  
по СН 2.2.4/2.1.8.566-96**

Основные полосы частот, Гц	Допустимые параметры	
	по виброскорости, мм/с	по виброскорости, дБ
2	13	108
4	4,5	99
8	2,2	93
16	2,2	92
31,5	2,2	92
63	2,2	92

Т а б л и ц а 4.2

**Гигиенические нормы локальной (местной) вибрации  
по СН 2.2.4/2.1.8.566-96**

Основные полосы частот, Гц	Допустимые параметры	
	по виброскорости, мм/с	по виброскорости, дБ
8	28	115
16	14	109
31,5	14	109
63	14	109
125	14	109
250	14	109
500	14	109
1000	14	109

Наиболее эффективными методами защиты человека от вредного воздействия вибрации считаются технические решения, уменьшающие интенсивность колебаний в источнике его возникновения. Это достигается планово-предупредительным ремонтом и регламентным обслуживанием существующего оборудования и инструмента либо использованием новой техники с низкими вибрационными характеристиками. Кроме них на производстве ши-

роко распространены методы ослабления колебания на путях их распространения от источника с помощью виброизоляционных, вибропоглощающих или виброгасящих устройств. Преодолевая все эти барьеры, вибрационные колебания теряют существенную часть своей энергии и, соответственно, снижают свои параметры.

## КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ВИБРОИЗОЛЯЦИИ

Одним из основных мероприятий по защите человека от вибрации на практике является виброизоляция источника вибрации или рабочего места. Снижение вибрации достигается установкой упругих элементов (виброизоляторов) между источником вибрации и основанием или между вибрирующим основанием и рабочим местом. Виброизоляторы (амортизаторы) выполняются в виде стальных цилиндрических и конических пружин, упругих элементов из резины и пластмассы. Находят широкое применение комбинированные резинометаллические и пружинно-пластмассовые виброизоляторы, пневмовиброизоляторы, в которых используются упругие свойства воздуха, заключенного в резиновую оболочку.

Показателем, характеризующим качество виброизоляции источника вибрации массой  $m$ , установленного на виброизоляторах жесткостью  $K$ , является коэффициент передачи (виброизоляции)  $\mu$ . Коэффициент виброизоляции показывает, какая часть динамической силы  $F$ , возбужденной в источнике вибрации, передается через виброизоляторы к основанию  $F_{\text{осн}}$ :

$$\mu = \frac{F_{\text{осн}}}{F} = \frac{1}{\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 - 1}, \quad (4.1)$$

где  $f$  – частота вынужденных колебаний источника вибрации, Гц;  
 $f_0$  – частота собственных колебаний виброизолированной машины, Гц.

Собственные, или свободные, колебания – это колебания, которые совершает механическая система после выведения ее из состояния равновесия.

На рис. 4.1 представлена зависимость коэффициента передачи  $\mu$  от отношения частот  $f/f_0$ . Как видно из графика, виброизолято-

ры начинают выполнять виброизолирующую функцию при  $f/f_0 > \sqrt{2}$ . При  $f = f_0$  возникает явление резонанса, и в этом случае виброизоляция не снижает, а напротив, увеличивает динамические силы, передающиеся на основание.

Практика показала, что для достижения эффективной виброизоляции необходимо выполнение условия  $f/f_0 \geq 2$ . Правильно спроектированные и изготовленные пружинные виброизоляторы должны иметь коэффициент передачи  $1/40 \dots 1/60$ .

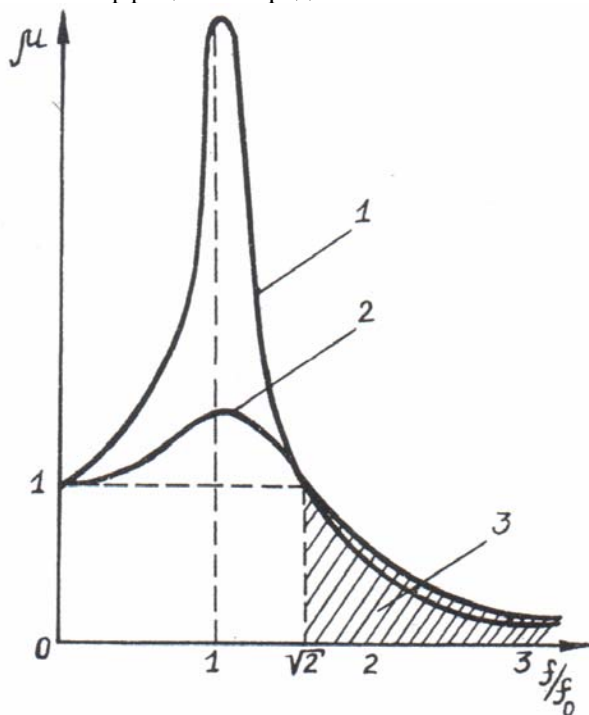


Рис. 4.1. Зависимость коэффициента передачи  $\mu$  от отношения  $f/f_0$ :

- 1 – без учета демпфирования; 2 – с учетом демпфирования;  
3 – зона виброизоляции

Частота собственных колебаний виброизолированной машины, установленной на стальных пружинных виброизоляторах (или других виброизоляторах, незначительно рассеивающих энергию колебаний), с ошибкой до 5 % определяется по формуле

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{K}{m}}, \text{ Гц,}$$

где  $K$  – жесткость виброизолятора, Н/м;

$m$  – масса виброизолированной машины, кг.

В технических расчетах частота собственных колебаний определяется по формуле

$$f_0 = \frac{5}{\sqrt{\lambda_{\text{ст}}}}, \text{ Гц,}$$

где  $\lambda_{\text{ст}}$  – статический прогиб виброизолятора под действием веса виброизолированной системы, см.

Таким образом, для расчета коэффициента виброизоляции необходимо знать лишь величину  $\lambda_{\text{ст}}$ , которая определяется путем измерения осадки виброизолятора под действием силы веса виброизолированной системы. Из формулы (4.1) видно, что для улучшения виброизоляции необходимо снизить собственную частоту колебаний виброизолированной машины. Существенное снижение  $f_0$  достигается посредством уменьшения жесткости виброизоляторов, а также увеличением массы машины.

## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка (рис. 4.2) состоит из электромотора переменного тока, на валу которого с одной стороны закреплен дебаланс (причина вибрации), а с другой – тахометр. При помощи червячной передачи, снабженной рукояткой, производится нагружение и освобождение пружинных виброизоляторов силой веса электромотора и платформы. Величина статического прогиба виброизоляторов определяется при помощи часового индикатора.

На лицевой панели лабораторной установки размещены следующие элементы: кнопки пуска и остановки электродвигателя; индикатор тахометра, об/мин (показания стрелки умножаются на 100).

Измерение параметров вибрации производится в двух точках: точке А – на источнике вибрации (кожух дебаланса); точке Б – на корпусе лабораторной установки.

Параметры вибрации определяются при помощи виброметра DDV-311. Прибор устроен по принципу преобразования механических колебаний в пропорциональные электрические сигналы. В качестве датчика используется преобразователь пьезоэлектрический виброизмерительный ДН-3-М1. Электрический сигнал, поступающий от датчика, пропорционален виброускорению.

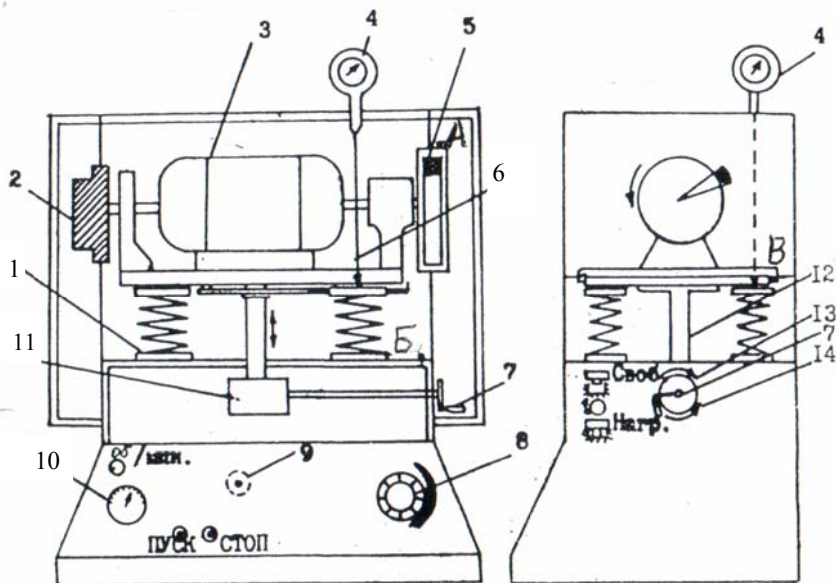


Рис. 4.2. Схема лабораторной установки:

- 1 – виброизоляторы; 2 – тахометр; 3 – электромотор; 4 – индикатор;
- 5 – дебаланс; 6 – щуп часового индикатора; 7 – рукоятка червячной передачи; 8 – регулятор реостата; 9 – индикаторная лампа; 10 – индикатор тахометра; 11 – червячная передача; 12 – подвижной шток;
- 13 – направление вращения для освобождения пружины;
- 14 – направление вращения для нагружения пружины





Для получения значений виброскорости и виброперемещения электрический сигнал интегрируется с помощью интегратора. Регистрация вибраций производится в виде среднееквadrатичных значений: виброускорения в  $\text{м/с}^2$ ; виброскорости в  $\text{мм/с}$ ; виброперемещения в  $\text{мкм}$ .

## КОНСТРУКЦИЯ ВИБРОМЕТРА ВВМ - 311

На передней панели виброметра (рис. 4.3) расположены:

- кнопки включения режима измерения виброускорения «а»; виброскорости «V»; виброперемещения «S» с соответствующими им индикаторами включенного состояния;
- кнопки включения фильтра низких частот «2/10 Hz» и верхних частот «1/10 Hz» с соответствующими им индикаторами включенного состояния;
- кнопки включения внешнего фильтра «ВФ»; контроля питания «-||-» и переключения постоянной интегрирования детектора CRP с соответствующими им индикаторами включенного состояния: «1S», «3S», «10S»;
- индикатор перегрузки «ПРГ»;
- кнопки переключения множителей и пределов измерения параметров виброизоляции: «x0,01»; «x1»; «10»... «1000».

На задней панели виброметра расположены:

- разъем «» для подключения вибропреобразователя ДН-3-М1;
- разъемы « ВФ» и «» для подключения внешнего фильтра;
- выключатель питания виброметра «-||-»;
- выключатель электрической калибровки «КЛБ»;
- выключатель подсветки индикатора ;
- с левой стороны корпуса находится потенциометр для электрической калибровки виброметра «>».

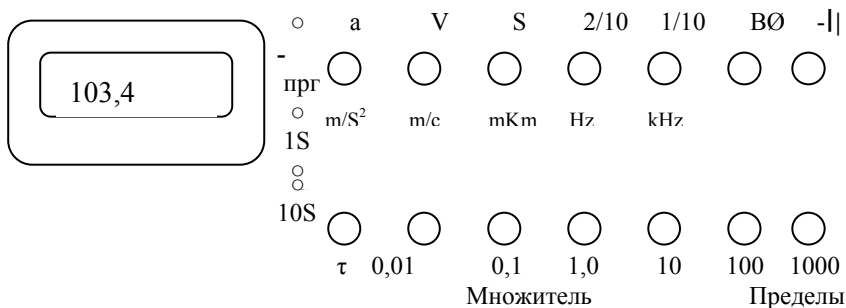



Рис. 4.3. Виброметр ВВМ-311. Передняя панель

## ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

1. Подключить элементы питания: 12 элементов типа А 332 по 1,5 В, суммарным напряжением 18 В.

2. Соединить вибропреобразователь ДН-3-М1 с разъемом Вход ;

3. Включить виброметр ВВМ-311. Включить контроль питания. По цифровому индикатору определить пригодность элементов питания. Показания индикатора должно быть в пределах 7,4÷9,0.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Измерение виброскорости:


1. Провести электрическую калибровку виброметра. Установить виброметр в следующее состояние:

- «а» - включить;

- «1S» - включить;

- предел измерения – «100»; «х1»;

- включить «КЛБ»;

- вращая ось потенциометра «», установить показания прибора:

$$K = \frac{970}{K_1} = \frac{970}{20} = 97,$$

где  $K_1$  – коэффициент вибропреобразователя;

ДН-3-М1 равный, по данным его паспорта,  $10 \text{ мВ} \cdot \text{с}^2/\text{м}$ .

2. Включить режим измерения виброскорости «V».

3. В зависимости от полосы частот измерения виброскорости установить граничные частоты фильтров низких или верхних частот.

4. Выбрать постоянную времени интегрирования: 1S; 3S; 10S.

5. Установить вибропреобразователь ДН-3-М1 на объект при помощи виброшупа.

6. Кнопками переключения множителя и предела измерения установить показания цифрового индикатора, соответствующие 3/4 значащим цифрам, но не допуская перегрузки цифрового индикатора, т.е. «загорания» индикатора перегрузки.

7. Зафиксировать показания виброметра.

8. Выполнение измерений:  $f$  – частоты вынужденных колебаний; виброскорости  $V$  в мм/с в точках А и Б (по три измерения в каждой точке);  $\lambda_{\text{ст}}$  – статической осадки виброизоляторов, в мм в точке В.

9. Порядок выполнения измерений:

а) повернуть ручку реостата 8 (см. рис. 4.2) до упора против часовой стрелки;

б) включить тумблер, расположенный на левом торце корпуса лабораторной установки. При этом должна загореться индикаторная лампа, свидетельствующая о подаче напряжения на лабораторную установку;

в) нажать кнопку «Пуск электродвигателя»;

г) медленно повернуть регулятор реостата по часовой стрелке, следя за ростом числа оборотов электродвигателя по индикатору тахометра.

ВНИМАНИЕ! Скорость вращения электродвигателя не должна превышать 2000 об/мин, т.е. стрелка индикатора не должна уходить далее отметки 20. Число оборотов электродвигателя определяется по показанию стрелки, умноженному на 100;

д) определить частоту вынужденных колебаний  $f$  в об/мин и герцах. Результат записать в протокол;

е) вращая ручку червячного механизма против часовой стрелки, произвести опирание электродвигателя на пружинные виброизоляторы;

ж) закрепить датчик ДН-3-М1 в точке А (см. рис. 4.2) и произвести 3 измерения виброскорости;

з) закрепить датчик ДН-3-М1 в точке Б и произвести 3 измерения виброскорости. Выключить электродвигатель, нажав кнопку «СТОП». Отключить от сети лабораторную установку тумблером, расположенным на левом торце, отключить виброметр DDV-311. Результаты измерения занести в отчет о лабораторной работе (табл. 4.3);

и) ввести в соприкосновение щуп часового индикатора с верхом нагруженного пружинного виброизолятора. Вращая наружное кольцо часового индикатора, установить стрелку индикатора на «0». Затем следует вращать ручку червячного механизма по часовой стрелке и одновременно считать обороты стрелки часового индикатора. Прекращение движения стрелки часового индикатора указывает на то, что платформа, на которой установлен электродвигатель, вышла из соприкосновения с виброизоляторами. Вращение стрелки часового индикатора продолжается до тех пор, пока пружина из нагруженного положения не перейдет в свободное



положение. Таким образом производится измерение статической осадки виброизолятора  $\lambda_{\text{ст}}$ . Зная, что один оборот стрелки часового индикатора соответствует перемещению на 1 мм, можно определить величину  $\lambda_{\text{ст}}$ . Значение  $\lambda_{\text{ст}}$  заносится в протокол измерений.

## ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВИБРАЦИИ

Дать гигиеническую оценку вибрации в точках А, Б путем сопоставления виброскорости в мм/с и дБ с допускаемыми по СН2.2.4/2.1.8.566-96. Сравнение с допустимыми величинами параметров вибрации производится с учетом поправок на продолжительность воздействия вибрации, которая задается преподавателем.

В отчете о лабораторной работе сделать вывод о соответствии вибрации в точках А, Б установленным нормам.

По результатам эксперимента получили значения частоты вынужденных колебаний  $f$ , Гц и величину статической осадки виброизоляторов  $\lambda_{\text{ст}}$  в мм.

Оценку качества виброизоляции произвести путем расчета коэффициента виброизоляции  $\mu$  по экспериментальным данным и сопоставления его с оптимальными значениями  $\mu$  для стальных пружинных виброизоляторов.

Зная  $\lambda_{\text{ст}}$ , определяем частоту  $f_0$  собственных колебаний виброизолированной системы

$$f_0 = \frac{5}{\sqrt{\lambda_{\text{ст}} (\text{всм})}}, \text{ Гц.}$$

По полученным значениям  $f$  и  $f_0$  рассчитывается коэффициент виброизоляции  $\mu$ :

$$\mu = \frac{1}{\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 - 1}.$$

Полученное значение  $\mu$  сопоставляется с оптимальными для стальных пружинных виброизоляторов значениями  $\mu_{\text{опт}} = \frac{1}{40} \dots \frac{1}{60}$ .

Если  $\mu > 1/40$ , то делается вывод о необходимости применения виброизоляторов с меньшей жесткостью, что приводит к уменьшению  $f_0$  и, следовательно, к уменьшению  $\mu$ .

# **ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ 4** **Оценка вибрационного воздействия на рабочие места**

Т а б л и ц а 4.3

## **Протокол измерения параметров вибрации на рабочем месте**

Точка измерения	Частота оборотов мотора n, об/мин	Частота вынужденных колебаний f, Гц	Измеренные значения		Допустимые значения		Превышение над допустимыми значениями	
			Виброскорость V, мм/с	Уровень виброскорости L <sub>v</sub> , дБ	Виброскорость V, мм/с	Уровень виброскорости L <sub>v</sub> , дБ	Виброскорость V, мм/с	Уровень виброскорости L <sub>v</sub> , дБ
А								
Б								

**Заключение** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Подпись**

**Протокол оценки эффективности виброизолятора**

Число оборотов мотора $n$ , об/мин	Частота вынужденных колебаний $f = n/60$ , Гц	Статический прогиб пружины $\lambda_{ст}$ , см	Частота собственных колебаний $f_0$ , Гц	Коэффициент виброизоляции $\mu$

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что понимается под уровнем виброскорости, виброускорения?
2. Как нормируется вибрация?
3. Что понимается под общей и локальной вибрацией?
4. Каким параметром оценивается эффективность виброизоляции?
5. Как определить частоту вынужденных и собственных колебаний?
6. Как зависит коэффициент передачи от отношения  $f/f_0$ ?
7. Как рассчитывается частота собственных колебаний?
8. Что понимается под статической осадкой виброизолятора, как она практически определяется?

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

Санитарные нормы СН2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

ГОСТ 12.1.12-90 «Вибрация. Общие требования безопасности».

Виноградов Д.В. Инженерные решения по защите от вибрации в строительстве. – М.: МИСИ, 1981.

## **Лабораторная работа 5**

### **ОЦЕНКА ОСВЕЩЕННОСТИ РАБОЧИХ МЕСТ В ПОМЕЩЕНИИ**

**Цель работы:** научиться оценивать вредность условий труда по освещенности рабочих мест в помещениях и выполнять простые светотехнические расчеты.

**Содержание работы:** информация о приборах искусственного освещения; изучение методов светотехнического расчета; измерение на лабораторном стенде параметров освещенности; гигиеническая оценка общего равномерного освещения; расчет высоты установки на рабочем месте светильника локального освещения; построение кривых одинаковой освещенности (изолукс) светильника.

### **КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОСВЕЩЕНИИ ПОМЕЩЕНИЙ ИСКУССТВЕННЫМ СВЕТОМ**

Для обеспечения нормальной производственной деятельности человека при отсутствии или недостаточности естественного света применяется искусственное освещение, которое может быть общим равномерным, локализованным и местным, а также комбинированным, представляющим собой сочетание равномерного и местного освещения. Искусственное освещение создается осветительной установкой, включающей источник света, светильник и опору. В качестве источников света известны следующие устройства: лампы накаливания (табл. 5.1), галогенные лампы накаливания и большая серия газоразрядных ламп: люминесцентные ЛЛ и дуговые ртутные лампы (ДРЛ), дуговые иридиевые ртутные лампы (ДРИ), дуговые ртутные ксеноновые (ДКсТ), дуговые ртутные натриевые лампы (ДРНт) и малогабаритные экономичные новые люминесцентные лампы (КЛЛ) (табл. 5.2).

Производственное освещение обуславливает видимость объектов труда, способствует улучшению качества и производительности труда. Недостаточность освещения отрицательно влияет на физиологические процессы, сердечно-сосудистую систему и общий тонус организма человека, вызывает быструю утомляемость зрения, а также может быть причиной несчастных случаев.

Т а б л и ц а 5.1

**Лампы накаливания (ГОСТ 2239-70)**

Мощность, Вт	Тип лампы	Световой поток ламп, лм, при напряжении, В		Размеры, мм	
		220	220...235	d	l
15	В	105	85	61	107
25	В	220	190	61	107
40	Б	400	300	61	114
40	БК	460	-	46	90
60	Б	715	550	61	114
60	БК	790	-	51	96
100	Б	1350	1090	66	129
100	БК	1450	-	61	105

*Примечание.* В – вакуумные; Б – биспиральные аргоновые; БК – биспиральные криптоновые.

Т а б л и ц а 5.2

**Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) напряжением 36 В, 127 В, 220 В для переменного тока, 12 В и 36 В для постоянного тока (изготовитель: ООО «Алекс-Свет»)**

Мощность потребления Р, Вт	7	12	15	18	20	23	26	35	45	55
Светоотдача, Вт	35	60	75	90	100	115	130	175	225	275
Световой ток Ф, лм	400	700	900	1080	1200	1380	1500	2100	2700	3300

Освещенность создается в соответствии с функциями зрения человека. К освещению рабочих мест установлены следующие требования: достаточность, постоянство, равномерность; отсутствие резких теней, блескости, а также экономичность. Неравномерность освещения принято оценивать отношением минимальной освещенности рабочей поверхности помещения к ее максимальной. Если равномерная освещенность помещения более 50 лк, то неравномерность должна быть менее 0,3, а если меньше 50 лк – 0,5.

Для создания освещения, отвечающего нормативному, необходимо правильно выбрать тип и вид освещения, достаточный и экономичный источник света и светильник. Эта задача решается при проектировании. Обычно полный объем проектирования включает решение трех задач: светотехнической, электрической и экономической. В настоящей работе решается первая задача.

## МЕТОДЫ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

В основном применяют три метода: коэффициента использования, «точечный» и относительной мощности. Рассмотрим метод *коэффициента использования*. Он позволяет при расчете учитывать прямой и отраженный свет, поэтому его применяют при расчете общего равномерного освещения, когда требуется учитывать отраженный свет.

Метод коэффициента использования позволяет рассчитать среднюю освещенность поверхности с учетом всех падающих на нее прямых и отраженных потоков света. Переход от средней освещенности к минимальной осуществляется приближенно, поэтому метод применяется для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей. Поскольку при расчете необходимо определить световой поток лампы, тогда расчетная формула получается из значения коэффициента использования:

$$\eta = \frac{\Phi_{\Gamma}}{\Phi_{\text{л}}}.$$

Известно, что  $\Phi_{\Gamma} = E_{\text{н}} \cdot S$ , а, следовательно,  $\Phi_{\text{л}} = E_{\text{н}} \cdot k \cdot z$ ,

где  $E_{\text{н}}$  – нормируемая освещенность, лк;

$\Phi_{\Gamma}$  – световой поток, падающий на горизонтальную поверхность, лм;

$\Phi_{\text{л}}$  – световой поток лампы, лм;

$k$  – коэффициент запаса (для ЛЛ равен 1,4, ЛН-1,3);

$z$  – коэффициент, учитывающий неравномерность освещения рассчитанной горизонтальной поверхности;

$S$  – освещаемая площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$\eta$  – коэффициент использования; определяют по индексу помещения, типу светильника и коэффициентам  $\rho_{\text{п}}$  – отражения потолка,  $\rho_{\text{с}}$  – стен и  $\rho_{\text{р}}$  – пола; определяется приближенно (табл. 5.3 и 5.4).

Таблица 5.3

**Приблизительные значения коэффициентов  
отражения стен и потолков  $R_n$  и  $R_c$**

Характер отражающей поверхности	Коэффициент отражения, %
Побеленный потолок, побеленные окна и стены, окна закрыты белыми шторами	70
Побеленные стены при незавешенных окнах, побеленный потолок в сырых помещениях, чистый бетонный и светлый деревянный потолок	50
Бетонный потолок в грязных помещениях, деревянный потолок, бетонные стены с окнами, стены оклеены светлыми обоями	30
Стены и потолок в помещениях с большим количеством темной пыли, сплошное остекление без штор, красный кирпич, стены с темными обоями	10

Таблица 5.4

**Коэффициент использования светового потока  $\eta$ , %, для светильников с люминесцентными лампами**

Индекс поме- щения i	Тип светильника									
	ЛСПО 2, ПД, ЛСПО 6							ЛП001 (двухламповый, встроен.)		
	Коэффициент отражения $\rho_n, \rho_c, \rho_p, \%$									
	70	70	50	30	0	70	70	50	50	0
	50	50	30	10	0	50	50	50	30	0
	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0
0,5	28	27	21	18	16	23	20	20	17	10
0,6	33	32	25	22	20	28	26	24	20	14
0,7	38	36	30	26	24	32	30	28	24	17
0,8	42	39	33	29	29	35	33	30	26	19
0,9	46	42	37	32	31	38	35	33	29	21
1,0	49	45	40	35	34	41	38	35	31	23
1,1	52	48	42	38	36	43	40	37	33	25
1,25	55	50	45	40	39	45	41	38	35	27
1,5	60	54	49	45	44	49	45	42	38	30
1,75	63	57	52	46	47	52	47	44	41	32
2,0	65	59	55	51	49	54	49	45	42	33
2,25	68	62	57	53	52	56	51	47	44	35
2,5	70	63	58	55	54	58	52	48	46	36
3,0	73	65	61	58	56	60	54	50	48	38
3,5	75	67	62	60	58	62	55	51	49	39
4,0	77	68	64	61	59	64	56	52	50	40
5,0	80	70	67	65	62	67	59	54	53	43

Индекс помещения определяют по следующей формуле:

$$i = \frac{a \cdot b}{h_p(a + b)},$$

где  $a$  и  $b$  – длина и ширина помещения, м;

$h_p$  – расчетная высота, м;  $h_p = H - h_c - h_r$ ;

$h_c$  – высота светильника до потолка, м;

$h_r$  – высота от освещаемой поверхности рабочего места до пола, м;

$H$  – общая высота размещения, м.

*Точечный метод* позволяет определять освещенность любой точки, освещаемой осветительной установкой рабочей поверхностью, если известны световой поток, светораспределение светильника и его расположение в помещении. Этот метод применяют обычно для расчета общего локализованного и местного освещения при любом положении освещаемой плоскости или наклонном положении светильника. Для общего случая световой поток лампы определяется по следующему выражению:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{1000 \cdot E_{\text{н}} \cdot k}{\mu \cdot \sum_1^n I_i \cdot \varphi}, \text{ лм} \quad (5.1)$$

где  $E_{\text{н}}$  – освещенность по норме, лм;

$k$  – коэффициент запаса;

$\mu$  – коэффициент дополнительной освещенности, создаваемой удаленными светильниками и отраженным светом, его принимают в пределах  $\mu = 1,0 \dots 1,2$  или  $\mu = \mu_c / \mu_{\text{н}}$ ;

$\sum_1^n I_i \cdot \varphi$  – условная освещенность контрольной точки от суммарного освещения ближайших светильников (в качестве контрольной точки принимают место с минимальной освещенностью);

$I_i$  – условная освещенность от  $i$ -го светильника, создаваемая стандартной лампой со световым потоком 1000 лм и определяемая по графику пространственных изолукс горизонтальной освещенности;

$\varphi_i$  – переходный коэффициент; для горизонтальной плоскости равен 1.

Ближайшими к расчетной точке считаются светильники с условной освещенностью меньше 5 лм, создаваемой ближним светильником.



## УСТРОЙСТВО ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Установка включает осветительную стойку, светильник и люксометр.

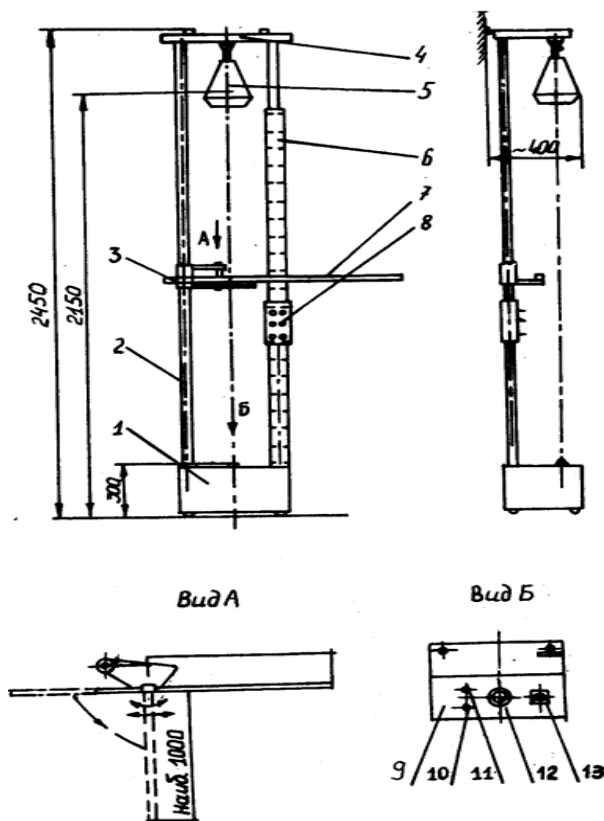


Рис. 5.1. Осветительная стойка: 1 – основание; 2 – вертикальная стойка; 3 – передвижной штатив; 4 – траверса для крепления светильников; 5 – светильник; 6 – вертикальная линейка; 7 – горизонтальная линейка; 8 – пульт управления включения светильников; 9 – пульт управления стойкой; 10 – тумблер «Сеть»; 11 – сигнальная лампа; 12 – ручка изменения напряжения питания; 13 – вольтметр

Стойка (рис. 5.1) имеет штатив для установки светильников на выбранное по высоте и горизонтали расстояние, передвижной горизонтальный штатив для люксометра и устройства для управ-

ления электрической сетью. Она состоит из основания, двух вертикальных стоек, вертикальной и горизонтальной линеек, пульта управления включения питания светильников. Включение питания производится тумблером «СЕТЬ», при этом загорается сигнальная лампа, величина напряжения контролируется по вольтметру.

В качестве измерительного прибора применяют люксметры типа Ю-16 или Ю-17. Каждый прибор состоит из измерителя и отдельного фотоэлемента с четырьмя насадками. Электрическая схема люксметра имеет магнитоэлектрическую систему П, селеновый выпрямитель и переключатель на шкалу 30 и 100 лк. На боковой стенке корпуса измерителя находится вилка для соединения шнура измерителя с розеткой. Селеновый выпрямитель при соединении с розеткой обеспечивает правильную полярность соединения.

Для уменьшения косинусной погрешности на фотоэлемент устанавливается насадка К. Она применяется совместно с насадками М, Р и Т, которые изменяют диапазон измерений прибора.

Т а б л и ц а 5.5

### Характеристики люксметров

Тип люкс-метра	Шкала прибора, дел.	Диапазон измерений, лк	Наличие насадок	Коэффициент ослабления	Погрешность, %
Ю-16	50	5...25; 20...100; 100...500.	Без насадки	-	$\pm 10$
		500...2500; 2000...10000; 10000...50000.	С насадкой	100	$\pm 5$
Ю-17	100	1;10;100.	-	-	$\pm 10$
Ю-416	30 и 100	50...300; 17...100;	Без насадки	1	$\pm 10$
		50...300; 170...1000.	К, М	10	$\pm 5$
		500...3000; 1700...10000;	К, Р	100	$\pm 5$
		5000...30000; 17000...100000.	К, Т	1000	$\pm 5$

В настоящее время создан новый люксметр «ТКА – ЛЮКС», имеющий существенные эксплуатационные преимущества с приведенными в табл. 5.5 люксметрами. Прибор имеет фотоприемное устройство, преобразующее излучение в электрический сигнал с последующей цифровой индикацией числовых значений освещенности лк. Конструктивно прибор состоит из фотометрической головки и блока обработки сигналов, связанных между собой многожильным гибким кабелем. Органы управления режимами работы и жидкокристаллический индикатор расположены на блоке обработки сигналов. Отчетным устройством прибора является жидкокристаллический индикатор, на табло которого при измерениях индицируются числа от 0 до 1999. Внешний вид прибора приведен на рис. 5.2.

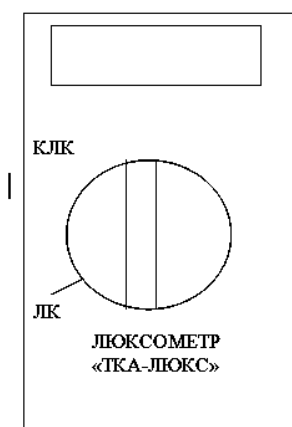


Рис. 5.2 Внешний вид люксметра

Основные технические характеристики прибора: диапазон измерений освещенности от 1 до 200000 лк; пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения  $+6\%$ . Время

непрерывной работы прибора не менее 8 ч; габаритные размеры прибора 155×77×40 мм и масса прибора 0,4 кг.

### **ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДОСТАТОЧНОСТИ ОБЩЕГО РАВНОМЕРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ РАБОЧИХ МЕСТ ПОМЕЩЕНИЯ ЛАБОРАТОРИИ**

Для выполнения работы выбирается помещение. Определяются следующие его характеристики: высота  $H$ , длина  $a$ , ширина  $b$ , назначение, количество рабочих мест и размещение светильников. Оценку освещения можно произвести одним из двух методов: экспериментальным или расчетным.

#### *а) Экспериментальный метод*

Сущность его состоит в проведении измерения освещенности на рабочих местах, имеющих относительно малую освещенность

по сравнению с другими. Для измерения обычно применяют люксометры. Характеристики некоторых из них приведены в табл. 5.5. При измерениях рекомендуется использовать следующие приемы:

- подготовить люксометр, достать из футляра прибор и фотоэлемент, установить их горизонтально на опоре. Включить с левой стороны вилку фотоэлемента в розетку. В случае необходимости с помощью корректора выставить стрелку прибора на нулевое деление шкалы. На фотоэлемент установить насадку К и М, если ожидаемая освещенность будет до 1000 лк и К и К и Р – при освещенности поверхности более 1000 лк;

- произвести измерения: установить фотоэлемент в выбранную точку, нажать правую кнопку выбора диапазона измерения. Если стрелка отклоняется на небольшую величину, около 17 делений, то включают левую кнопку. Если при насадках К, М и нажатой левой кнопке стрелка не отклоняется до деления 5 по шкале К, М, тогда измерения производят без этих насадок;

- при измерениях не допускается длительное воздействие на фотоэлемент света, создающего освещенность, превышающую установленный на люксометре предел измерения. Поэтому всегда поиск предела измерения надо начинать с большего диапазона, а далее переходить на более чувствительные пределы измерения, пока стрелка прибора не окажется в рабочей части шкалы;

- показания снятого по шкале отчета умножают на коэффициент выбранного диапазона шкалы (см. табл. 5.5). В зависимости от освещенности, создаваемой различными источниками света, показания люксометра следует умножать на поправочный коэффициент  $K_n$  (табл. 5.6);

- по окончании измерений фотоэлемент отключить от прибора, надеть на фотоэлемент насадку Т и уложить в крышку футляра прибора, а прибор – в футляр.

Т а б л и ц а 5.6

**Значение поправочного коэффициента,  $K_n$**

Вид источника света	Тип лампы	Поправочный коэффициент $K_n$
Лампа накаливания	Лн	1,0
Люминесцентные лампы	Лд	0,88
	Лдц	0,95
	Лб	1,15

Т а б л и ц а 5.7

**Классы условия труда в зависимости от параметров световой среды  
производственных помещений**

Показатель	Классы					
	Допус- тимый-2	Вредный-3				Опас- ный
		1 сте- пень 3.1	2 сте- пень 3.2	3 сте- пень 3.3	4 сте- пень 3.4	
Освещенность рабочей поверх- ности $E_n$ , лк	Норма	$> 0,5 E_n$	$< 0,5 E_n$	-	-	-

*Примечание.*  $E_n$  – нормированное значение освещенности, лк.

Порядок работы с люксометром «ТКА-Люкс»:

- Включить прибор, повернув переключатель диапазонов.
- Определить значение теневого сигнала  $E_{тс}$ , лк, при всех положениях переключателя, закрыв входное окно фотометрической головки плотным ворсистым черным материалом.

*Примечание:* Измерение темного тока актуально при работе в диапазонах «0 – 20 лк» и «0 – 200 лк».

- Расположить фотометрическую головку прибора параллельно плоскости измеряемого объекта.
- Считать с цифрового индикатора измеренное значение освещенности  $E_{изм}$ , лк.

- Определить истинную освещенность  $E$ , лк, по формуле

$$E = E_{изм} - E_{тс}.$$

- В случае появления на индикаторе символа «1», означающего перегрузку по входному сигналу, переключить прибор на следующий диапазон измерений.

Сделать заключение о соответствии результатов измерений норме и дать оценку класса условий труда по фактору производственное освещение в соответствии с табл. 5.7.

*б) Расчетный метод*

Этот метод применяется для расчета общей равномерной освещенности по коэффициенту использования в случае учета прямого и отраженного света от осветительных установок прямых отраженных потоков света. Расчетный метод предусматривает

определение и выбор количества источников света, светильников и размещение их в помещении.

Для расчета требуются следующие исходные данные: размеры помещения (длина  $a$ , ширина  $b$ , высота  $H$ ); выбираемый тип лампы, конструкция светильника (вид подвески, количество ламп в одном, кривая его силы света и коэффициент направленности); коэффициенты отражения  $P_{\text{п}}$  – потолка,  $P_{\text{с}}$  – стен и  $P_{\text{п}}$  – пола (по табл. 5.3).

По формуле (5.1) находят общую потребную величину светового поток, выбирают источник света по световому потоку  $\Phi_{\text{л}}$  и светильник типа «Алекс-Свет» (табл. 5.2). Тогда количество ламп равно  $\Phi_{\text{л.общ}} / \Phi_{\text{л}}$  и в соответствии с количеством ламп в выбранном светильнике определяют число светильников.

Далее решается задача размещения светильников в помещении. Для обеспечения равномерности освещения светильники устанавливают по углам квадратов или в шахматном порядке. Расстояния между рядами светильников принимают в зависимости от коэффициента эффективности:

$$\lambda_3 = L / h_p,$$

где  $L$  – расстояние между рядами светильников;

$$h_p = H - h_{\Gamma} - h_c, \text{ м.}$$

Расчетный метод применяют также для решения обратной задачи. Для этого расчетная формула (5.1) преобразуется относительно  $E_{\text{н}}$ , и по характеристикам существующего освещения находят фактическое. Результат расчета позволяет произвести оценку соответствия допустимой норме.

## **РАСЧЕТ ВЫСОТЫ УСТАНОВКИ СВЕТИЛЬНИКА НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ**

Местное освещение создается различными осветительными установками: настольными лампами, торшерами, бра и другими светильниками. Для обеспечения достаточности одной из его задач является правильный выбор расстояния до освещаемой поверхности, поэтому требуется всесторонне исследовать эту характеристику и выбрать оптимальный вариант. При исследовании целесообразно применить расчетный метод, а полученный результат проверить экспериментально.

Для расчета следует воспользоваться точечным методом, при этом требуются следующие исходные данные: вид освещения рабочего места – комплексное, где  $E_k = E_{об} + E_m$ ; тип светильника «Астра»; источник света ЛН, удаление контрольной точки  $d =$

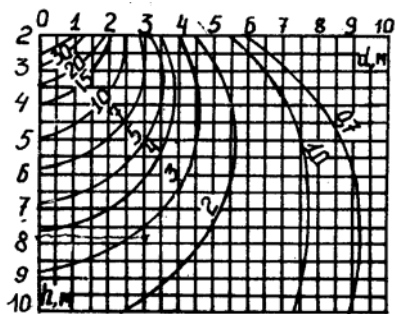


Рис. 5.3. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности (светильник типа «Астра»)

$=300$  мм;  $k$  – коэффициент, принимают равным 1,5. Эти данные позволяют найти условную освещенность горизонтальной плоскости по следующей формуле:

$$E_1 = \frac{1000 \cdot E_H^T \cdot k}{\mu \cdot \Phi_d}, \text{ лк.}$$

По графику пространственных изолюкс (рис.5.3) по  $d$  и  $E_1$  находят искомую высоту ордината  $h_1$ . На осветительной стойке по размерной шкале вертикальной стойки устанавливают передвижной штатив на высоту  $h_1$  от источника света и люксометром определяют фактическую освещенность горизонтальной поверхности. Затем сравнивают ее с нормативной  $E_{об}$ .

### ПОСТРОЕНИЕ ИЗОЛЮКСЫ – КРИВОЙ ОДИНАКОВОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

Для построения изолюксы выбирают вид светильника, в нашем случае «Астра» и ЛН, имеющий световой поток, близкий к 1000 лм (например, В 220 – 100 с  $\Phi_d = 1090$ ). На осветительной стойке установить передвижной штатив близко к лампе – по высоте нулевой отметки. На расстоянии, например, 30 см измерить освещенность, на графике нанести точку с координатой 0 – 30 см  $E_3$ . Переместив штатив вниз на 10 см и двигая по горизонтальной шкале до освещенности  $E_3$ , определяют расстояние  $d_1$ , на графике наносят координату ( $h_1$ ;  $d_1$ ). Далее, повторяя измерительные операции по вертикали с шагом 10 см и измеряя каждый раз расстояние по горизонтали до освещенности  $E_3$ , строят кривую одинаковой освещенности.

**ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ 5**  
**Оценка освещенности рабочих мест в помещении**

**1. Гигиеническая оценка достаточности общей равномерной освещенности рабочих мест помещения**

Номер контрольных точек	Плоскость измерения	Насадки, шкала прибора	Отсчет по прибору, лк	Коэффициент пересчета шкалы	Фактическая освещенность, лк	Нормативная освещенность, лк
1						
2						
3						
Ср						

**Заключение.** Класс условий труда световой среды на рабочем месте

---

---

---

---



Исходные данные:

Источник света \_\_\_\_\_;  $\Phi_{\text{л}} = \underline{\hspace{2cm}}$ , вид светильника \_\_\_\_\_ и  
о КСС \_\_\_\_\_.

Коэффициенты отражения: стен  $P_c =$  \_\_\_\_; потолка  $P_n =$  \_\_\_\_;  
пола  $P_p =$  \_\_\_\_.

Высота светильника от потолка  $h_c$  = \_\_\_\_\_ м; высота рабочего места от пола  $h_r$  = \_\_\_\_\_ м.

Число ламп, n	Коэффициент запаса k	Коэффициент миним. освещенности z	Постоянная помещения $i = \frac{a \cdot b}{h(a+b)}$	Коэффициент исполь- зования η	Расчетная освещенность $E_p = \frac{n \cdot \Phi_{\text{л}} \cdot \eta}{K \cdot S \cdot Z}$ , лк	Норма- тивная освещен- ность $E_n^0$ , лк

**Заключение** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие виды искусственного освещения применяются в производственных и общественных зданиях?
2. Из каких элементов состоит осветительная установка?
3. Какие источники света применяют для освещения?
4. Какое неблагоприятное действие на организм человека оказывает недостаточность или отсутствие освещения?

5. Назовите основные требования, предъявляемые к производственному освещению.
6. Какие методы расчетов искусственного освещения используются для светотехнических расчетов?
7. Сущность и область применения расчета по коэффициенту использования.
8. Как найти коэффициент использования?
9. По какой зависимости определяется требуемая величина светового потока для освещения помещения общим равномерным освещением?
10. Сущность и область применения «точечного» метода расчета освещения.
11. Как построить изолуксу с помощью осветительной стойки?
12. Каково назначение насадок для люксметра?
13. Назначение и устройство осветительной стойки.
14. Порядок экспериментального определения освещенности рабочих мест помещения.
15. Как можно рассчитать высоту установки светильника относительно рабочей поверхности?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
- Руководство Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификации условий труда».

## Лабораторная работа 6

### РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

**Цель работы** – научиться определять качество защитного заземления и рассчитывать его параметры.

**Содержание работы:** назначение и принцип действия защитного заземления; основные требования к конструкции защитного заземления; определение электрического сопротивления группового заземлителя электроустановки и удельного сопротивления грунта; расчет вертикального защитного заземления электроустановки; способы уменьшения электрического сопротивления защитного заземления.

#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАЩИТНОМ ЗАЗЕМЛЕНИИ

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землей или ее заменителем металлических нетоковедущих частей электрических установок (ЭУ), которые могут оказаться под напряжением из-за неисправности их изоляции или других причин (в качестве заменителя земли могут быть применены речная или морская вода, глубинное залегание пород и т.п.). Заземление принято считать одной из основных защитных мер, устраняющих опасность поражения людей электрическим током в случае прикосновения к нетоковедущим частям ЭУ (корпусам, металлическим шкафам, металлической изоляции проводов и т.п.). При наличии защитного заземления существенно уменьшается величина тока, который протекает через тело человека. Известно, что сопротивление человека меняется в диапазоне 400-50000 Ом, при наличии влажной, поврежденной и загрязненной кожи сопротивление тела человека понижается, при отсутствии этих признаков сопротивление возрастает. В расчетах сопротивление тела человека принимается в 1000 Ом.

Защитный эффект заземления достигается за счет уменьшения потенциалов заземленных установок, а также вследствие их выравнивания. Принцип защитного действия заземления показан на рис. 6.1.

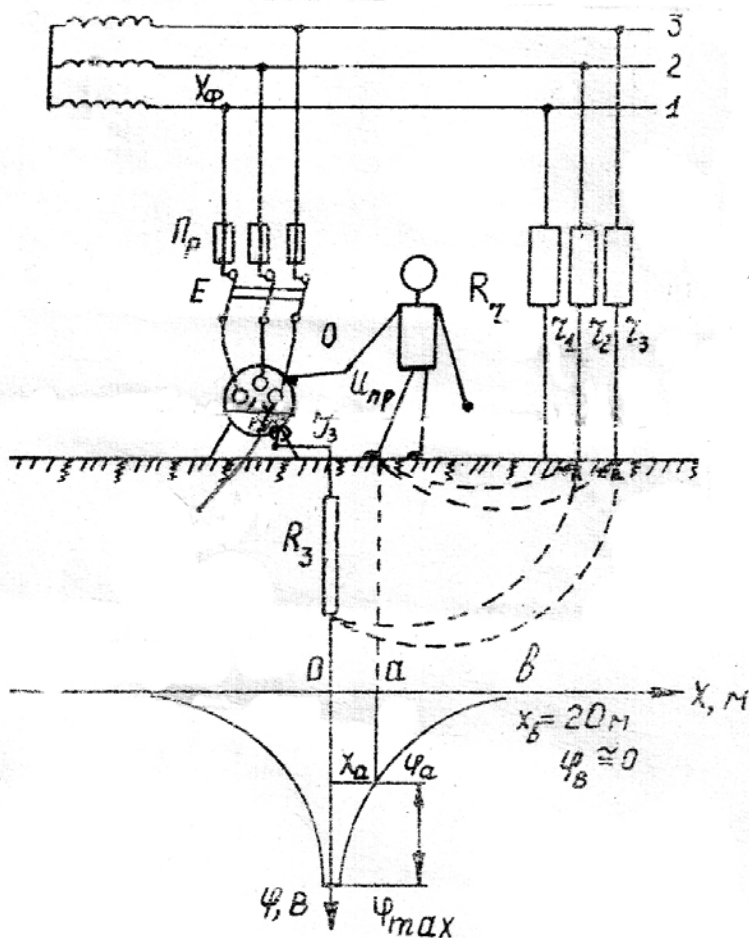


Рис. 6.1. Схема защитного действия заземления трехфазной трехпроводной электрической цепи с изолированной нейтралью:  $\varphi$  – напряжение пробоя изоляции;  $\Pi_p$  – предохранитель;  $R_\varphi$  – сопротивление тела человека;  $U_{пр}$  – напряжение прикосновения;  $J_3$  – величина растекания тока на землю;  $R_3$  – сопротивление заземлителя;  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  – соответственно сопротивление изоляции фаз 1, 2, 3;  $\varphi_{max}$  – потенциал земли у заземления;  $x_a$  – расстояние человека от заземления

В первом случае при однофазном включении человека в электрическую цепь через корпус ЭУ, в котором имеется пробой изоляции на корпус, образуются две параллельных цепи: корпус – заземлитель – земля и корпус – тело человека – сопротивление изоляции (изоляция обмоток трансформатора, сопротивление проводов подводящей электрической цепи, обувь человека) – земля. Чтобы через тело человека проходил неопасный для него ток, сопротивление заземляющего устройства должно быть во много раз меньше, чем расчетное сопротивление человека, установленное в 1000 Ом. Поэтому величина предельного сопротивления заземляющего устройства является основным нормативным требованием к заземлению, она зависит от мощности источника тока: чем выше мощность, тем меньше должно быть сопротивление заземления. Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) допустимое сопротивление заземлителя должно быть не более 10 Ом при суммарной мощности генераторов или трансформаторов, питающих заземляемую сеть, до 100 кВА и не более 4 Ом при мощности трансформатора более 200 кВА для установок с напряжением до 1000 В. Для установок высокого напряжения выше 1000 В допустимое сопротивление заземления рассчитывается по величине силы тока замыкания на землю. При величине силы тока  $I=500$  А допустимое сопротивление принимается 0,5 Ом.

Второй защитный эффект заземления обеспечивается за счет выравнивания потенциалов. На рис. 6.1 человек в точке О касается корпуса ЭУ, на него действует фазовое напряжение прикосновения  $U_{пр}$ , равное разности потенциалов между корпусом ЭУ и местом стояния его на земле точка в точке а ( $U_{пр} = \phi_{\phi} - \phi_a$ ). Если эта точка находится над заземлением, то в ней  $\phi_a = \phi_{\phi}$ , и, следовательно, напряжение  $U_{пр} = 0$ .

Область применения защитного заземления определяется режимом нейтрали трехфазной сети, величиной напряжения тока и состоянием внешней среды, в которой эксплуатируется ЭУ. В соответствии с ПУЭ заземление устраивается в ЭУ с напряжением до 1000 В в сетях с изолированной нейтралью: во всех случаях при номинальном напряжении 380 В и выше переменного тока и 440 В постоянного тока; при работах в условиях с повышенной опасностью и особо опасных; в ЭУ, применяемых во взрывоопасных зонах, при всех напряжениях.

Конструктивно заземление представляет собой устройство, состоящее из заземлителей и заземляющих проводников. Заземлители могут быть естественными и искусственными. В качестве естественных заземлителей применяются проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубы (за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих и взрывоопасных газов), обсадные трубы артезианских колодцев, скважин, шурфов и т.п.; металлические элементы и арматура железобетонных конструкций зданий и сооружений, имеющих соединение с землей; свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле; металлические шпунты гидротехнических сооружений и т.п.

Искусственные заземлители представляют собой электроды, погруженные вертикально или горизонтально в землю. В зависимости от расположения заземлителей относительно заземляемых объектов искусственные заземляющие устройства делятся на выносные и контурные (рис. 6.2). В последних также используются защитные свойства – выравнивание потенциалов. В качестве вертикальных электродов применяют обычно стальные трубы диаметром 50...60 мм и толщиной стенок не менее 3,5 мм или угловую сталь с толщиной полки не менее 4 мм, а также прутковую сталь диаметром не менее 10 мм. Длину вертикальных электродов рекомендуют применять равной 2,5...3 м при погружении в землю забивкой и 5 м и более ввертыванием. Для связи вертикальных электродов и в качестве самостоятельного горизонтального электрода обычно применяют полосовую сталь сечением не менее 4-12 мм и сталь круглого сечения диаметром не менее 6 мм.

Заземляющими проводниками называют проводники, соединяющие заземляемые элементы с заземлителями. Они изготавливаются, как правило, из стали прямоугольного или круглого сечения. В сетях с изолированной нейтралью заземляющие проводники должны обладать проводимостью не менее  $1/3$  проводимости фазных проводников. При прокладке заземляющей шины внутри зданий наименьшее сечение прямоугольной шины должно составлять  $24 \text{ мм}^2$ , для круглой – диаметром не менее 5 мм, а при прокладке ее вне здания для прямоугольного сечения  $48 \text{ мм}^2$  и для круглого – диаметром не менее 6 мм.

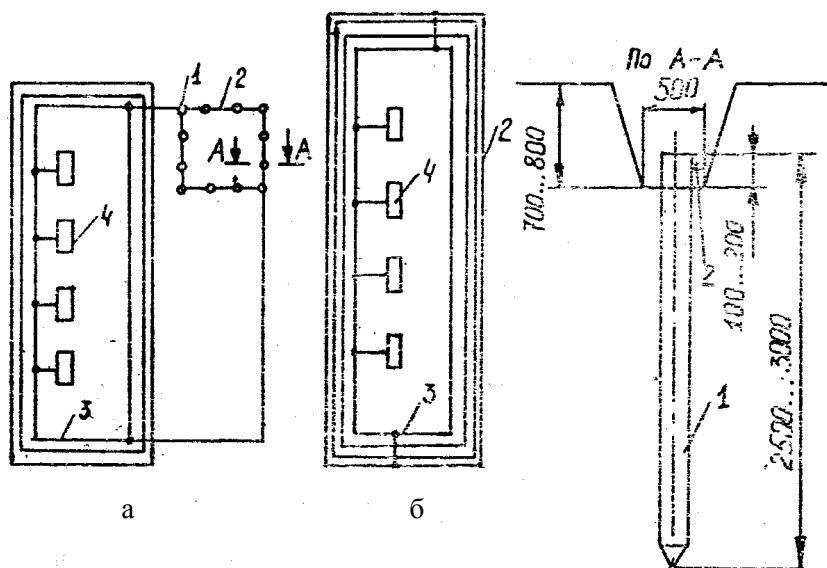


Рис. 6.2. Конструкции защитного заземления:

- а – выносные; б – контурные; 1 – вертикальный заземлитель;  
2 – горизонтальный заземлитель; 3 – заземляющие проводники;  
4 – электроустановки

Защитные свойства заземляющих устройств принято оценивать величиной сопротивления заземлителя и напряжением прикосновения.

В соответствии с Правилами технической эксплуатации электрических установок потребителей измерение сопротивления заземляющих устройств цеховых ЭУ должно проводиться не реже 1 раз в год.

## СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ

Для измерения сопротивления заземлителей принято применять два метода: ампервольтметра и компенсационный. Сущность метода ампервольтметра показана на рис. 6.3.

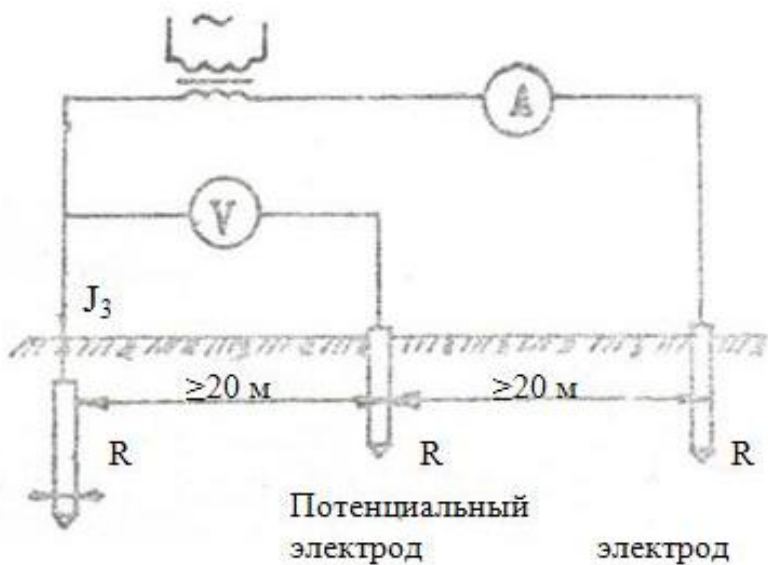


Рис. 6.3. Схема измерения сопротивления заземлителей по методу амперметра-вольтметра

В землю вбивают два вспомогательных электрода. Глубина погружения их должна быть не менее 0,5 м, длина 0,5 м и сопротивление не больше 500 Ом при диапазоне измерения 0,1...10 Ом, а при диапазоне 0,5...50 Ом – длина 1,0 м и сопротивление 1000 Ом. Образуют две цепи, напряжение на них подается от специального генератора. С помощью амперметра измеряют ток на одной цепи, называемой «токовой», проходящей через токовый электрод, землю и заземлитель, а вольтметром измеряют потенциал на другом электроде – потенциальном. Логическую операцию определения сопротивления по двум параметрам осуществляет прибор.

Чтобы исключить взаимное влияние токов, протекающих по электродам, рекомендуют соблюдать определенное расстояние между ними при установке в земле. На рис. 6.4 показано рекомендуемое взаимное расположение электродов и заземлителя.



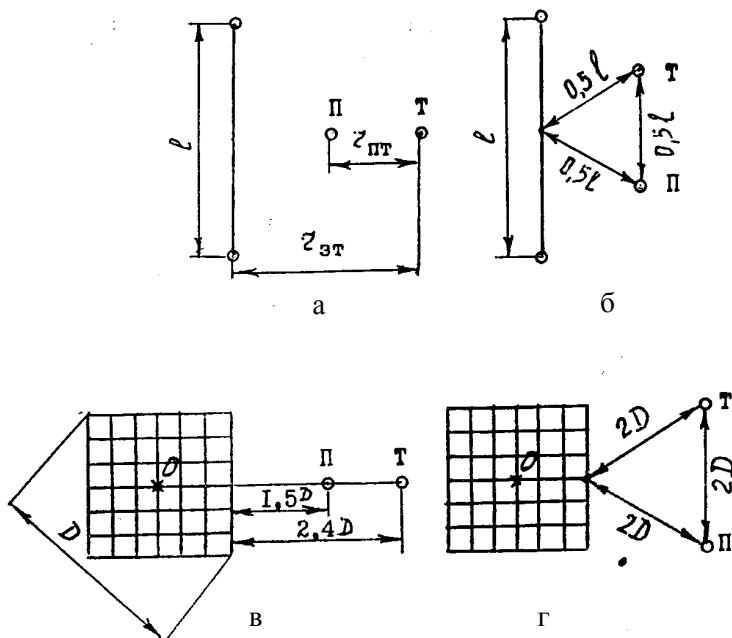


Рис. 6.4. Схемы расположения электродов П и Т при измерении сопротивления заземлителей:  
а – однолучевая (при  $l \leq 6$  м  $r_{ЗТ} = 40$  м,  $r_{ПТ} = 15$  м; при  $l > 6$  м  $r_{ЗТ} = 6$  м,  $r_{ПТ} = 0,5$  м);  
б – двухлучевая; в, г – соответственно однолучевая и двухлучевая для сложного заземления в виде контура

Способ измерения сопротивления заземлителя компенсационным способом показан на рис. 6.5. Он имеет принципиальное отличие от предыдущего. Заземлитель  $R_x$  и токовый электрод  $R_t$  соединяются между собой через первичную обмотку трансформатора  $Tr1$  и вторичную обмотку трансформатора генератора  $Tr2$ . Питание цепей осуществляется от батареи 4,5 В, постоянный ток которой преобразуется электронным генератором в переменный и подается на первичную обмотку трансформатора  $Tr2$ . Вторичная обмотка  $Tr1$  и специальный калиброванный резистор «Реохорд» образуют замкнутую цепь, в которой при включении схемы наводится ток  $J_k$ . Движок реохорда через индикатор  $ш1$  присоединяется к потенциальному электроду  $R_n$ .

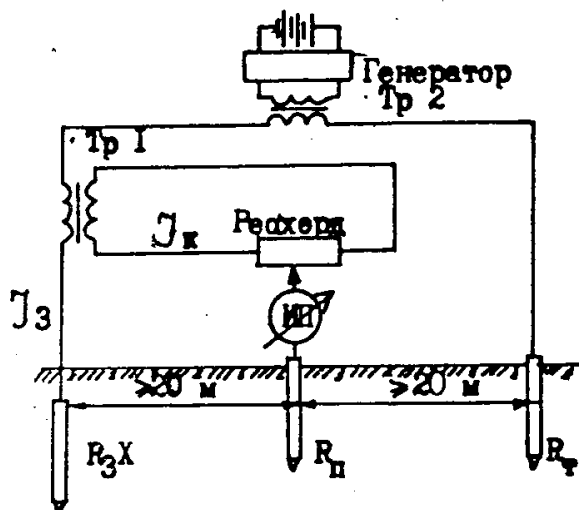


Рис. 6.5. Схема измерения сопротивления заземлителей компенсационным методом

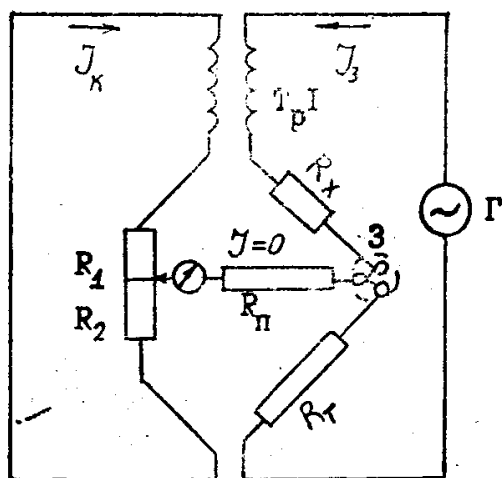


Рис. 6.6. Эквивалентная схема измерения сопротивления заземлителей компенсационным методом

Для пояснения сущности работы компенсационного способа рассмотрим эквивалентную схему (рис. 6.6). Она построена в виде измерительного мостика, имеющего четыре плеча:  $R_X$  и  $R_T$  – измеряемое сопротивление и сопротивление токового электрода,  $R_1$  и  $R_2$  – левая и правая часть сопротивления реохорда. Путем перемещения движка реохорда добиваются уравнивания сопротивлений плеч моста, которое наступает при равенстве нулю тока в измерительной диагонали. Из условия равновесия мостика следует равенство  $R_X \cdot P_2 = R_1 \cdot R_{II}$ , а, следовательно,  $R_X$  пропорционально  $R_1$ . Движок реохорда кинематически связан с оцифрованной шкалой, что позволяет производить измерение сопротивления в Ом. Данная измерительная схема используется в приборе М416.

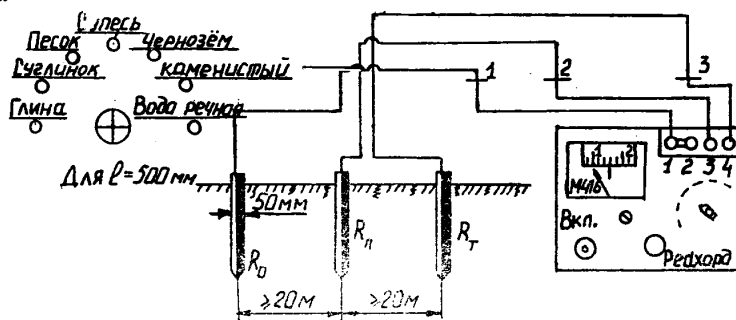
В последнее время создан новый прибор типа Ф4103, который имеет лучшие характеристики, позволяет производить измерения в ЭУ высокого напряжения.

## УСТРОЙСТВО ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Для выполнения работы используется специальный стенд, представляющий собой стол с вертикальной панелью и переносным измерительным прибором М 416. На панели изображена схема вариантов конструкций заземлений для проведения измерений. На рис. 6.7 имеются две части схемы для определения удельного сопротивления грунта методом контрольного электрода при его длине 500 мм и 1000 мм. Прибор М 416 с помощью проводов и зажимов на панели прибора (клеммы 1, 2, 3-4) соединяется с тремя контрольными электродами. В верхней левой части схемы указаны положения переключателей для выбора вида грунта.

Схема на рис. 6.8 служит для опытной оценки сопротивления группового заземлителя, номера вариантов позволяют выбрать определенную конструкцию заземлителя. Для измерения сопротивления выбранного варианта на схеме показано положение дополнительного потенциального и токового электродов, которые устанавливаются в грунте на расстоянии не менее 20 м друг от друга.

а



б

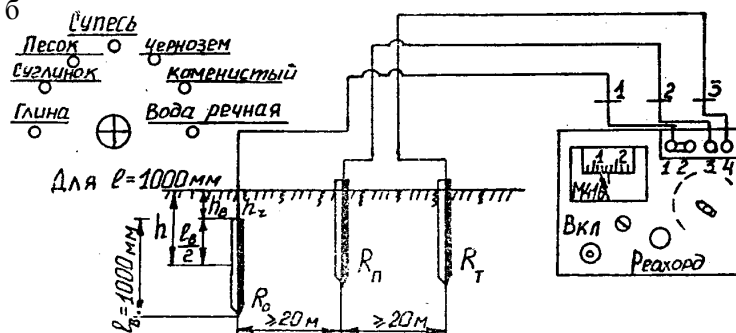


Рис. 6.7. Определение удельного сопротивления грунта методом контрольного электрода: а – длина электрода  $l = 500 \text{ мм}$ ; б –  $l = 1000 \text{ мм}$

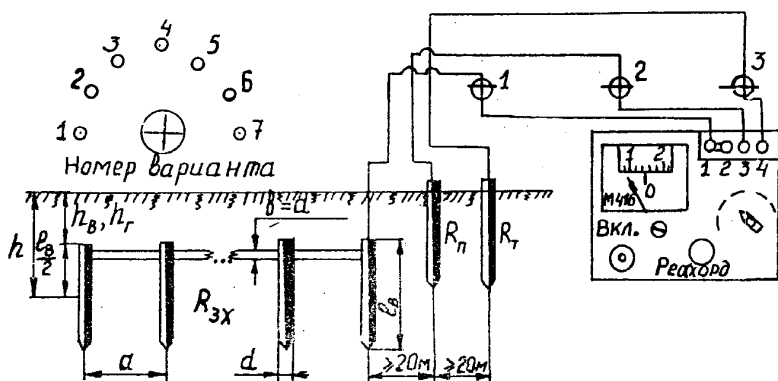


Рис. 6.8. Измерение сопротивления группового заземлителя

Перед началом работы проверяют исправность измерительного прибора М 416. Для этого устанавливают металлическую перемычку между клеммами 1-2 и зажимают все четыре клеммы. Далее переводят переключатель «Род работы» в положение «Контроль 50 м», на панели прибора нажимают и не отпускают кнопку красного цвета, и, вращая ручку «Реохорда», выводят стрелку индикатора прибора в положение «Ноль». На шкале прибора должно быть показание  $5 \pm 0,3$  Ом. Если это условие не выполняется, то прибор не готов к измерениям.

## **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ И РАСЧЕТОВ**

### *1. Измерение сопротивления заземлителя*

Перед измерениями студент получает от преподавателя исходные данные: конструкцию и габариты заземляющего устройства, мощность ЭУ, влажность грунта, на основании чего он определяет величину допустимого сопротивления заземления и значения коэффициентов сезонности для вертикальных стержней и соединительной полосы.

В расчетах используют два коэффициента, которые учитывают особенности работы заземлителя в разных условиях. Коэффициент сезонности отражает изменение влажности грунта, и, следовательно, его сопротивление за период эксплуатации заземлителя. Для грунтов с повышенной влажностью его сопротивление является низким, поэтому величина коэффициента сезонности высокая, и наоборот, в грунтах с повышенным электрическим сопротивлением, которое имеют сухие грунты, величина  $K_v$  и  $K_r$  наименьшая. Смысл коэффициента в том, чтобы с его помощью получить максимальное значение расчетного сопротивления грунта, которое возможно за весь период эксплуатации заземлителя (табл. 6.1).

Коэффициент использования электродов учитывает влияние на сопротивление заземлителя эффекта наложения друг на друга электрических полей, образующихся вокруг электродов при стекании с них тока в грунт. Чем более плотное расположение электродов в конструкции заземлителей, тем больше эффект экранирования или эффект мешающего влияния электрических полей токов стекания на сопротивление заземляющего устройства и тем меньше значение коэффициента использования электродов (рис. 6.9 и 6.10).

Т а б л и ц а 6.1

**Коэффициент сезонности для однородного грунта**

Форма электрода	Длина электрода, м	Коэффициент сезонности при влажности грунта во время измерений		
		повышенной	нормальной	малой
Вертикальный $l_v$	2	1,6	1,45	1,3
	3	1,7	1,5	1,3
	5	1,4	1,3	1,2
Горизонтальный $l_r$	10	5,9	3,5	2,6
	50	4,8	3,0	2,4

*Примечания:*

1. Землю считают повышенной влажности, если измерению ее сопротивления предшествовало выпадение большого количества (свыше нормы) осадков (дождей); нормальной влажности, если измерению предшествовало выпадение небольшого количества осадков; малой влажности, если земля сухая, количество осадков в предшествующий период было ниже нормы.

2. Заглубление электродов принято равным 0,7...0,8 м.

3. Приведены значения коэффициентов для климатической зоны 11 ( $T_{\text{ср.января}} = -14...-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{ср.июля}} = +18...+22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Сравнить полученное  $R_{3,x}$  с допустимым. Если  $R_{3,x} \leq R_{3,\text{доп}}$ , то сопротивление заземляющего устройства считается пригодным, обеспечивающим безопасность эксплуатации ЭУ.

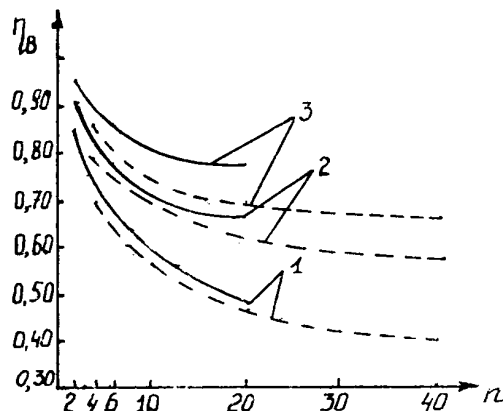


Рис. 6.9. Коэффициент использования  $\eta_b$  вертикальных электродов группового заземлителя (труб, уголков и т.д.) без учета влияния полосы связи:

----- - электроды размещены в ряд;  
 ----- по контуру; 1,2,3 -  $a/l = 1,2,3$

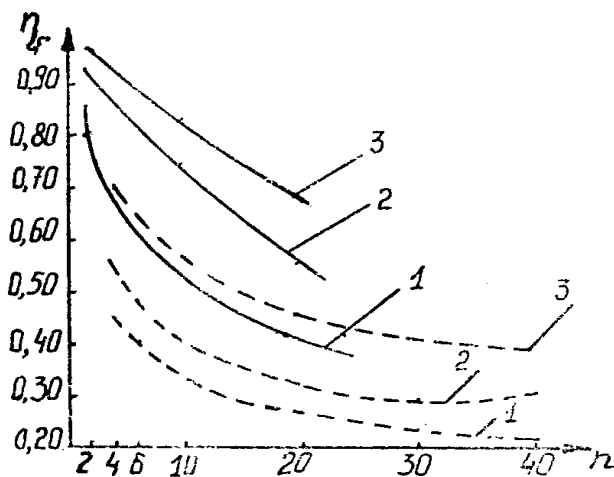


Рис. 6.10. Коэффициент использования  $\eta_r$  горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды (трубы, уголки и т.д.) группового заземлителя:

----- - вертикальные электроды в ряд;  
 ----- по контуру; 1,2,3 -  $a/l = 1,2,3$

После проверки исправности прибора М 416 переходят непосредственно к измерению сопротивления. С помощью соединительных проводов подключить заземляющее устройство и вспомогательные электроды (клеммы 1, 2 и 3 на панели) к прибору М 416 (клеммы 1, 2, 3-4). Установить переключатель «Номер варианта» в положение, указанное преподавателем. Переключатель «Род работы» перевести в положение 1, нажимая и удерживая красную кнопку прибора, вращением ручки «Реохорд» вывести стрелку индикатора в положение «Ноль». На шкале индикатора снять отсчет величины сопротивления. Если измеряемое сопротивление  $R_{zx} > 10 \text{ Ом}$ , то переключатель «Род работы» перевести в следующее положение и повторить процедуру измерения. В этом случае результат измерения равен показанию шкалы индикатора, увеличенному на множитель диапазона. Для получения максимально возможного сопротивления заземлителя за все время его эксплуатации измеренное сопротивление  $R_{zx}$  умножается на коэффициент сезонности, учитывающий влажность грунта на момент измерения.

Результаты измерений заносятся в табл. 1 отчета о лабораторной работе. В заключение дается вывод о нарушении или выполнении на данном заземлителе требований ПЭУ  $R_{\text{заз}} \leq R_{\text{доп}}$ .

## *2. Определение удельного сопротивления грунта*

При расчете заземления требуется знать удельное сопротивление грунта того места, в котором планируется его установить. В практике существуют два подхода: приближенно по существующим таблицам или практическим измерениям. В рассматриваемой работе предлагается способ измерения «контрольного электрода» на стенде (см. рис. 6.7,а). При измерениях в землю забиваются 3 (4) электрода на глубину 500 мм на расстоянии 20 м друг от друга, каждый электрод соединяется клеммами измерительного прибора с помощью проводов. Таким образом образуются электрические цепи компенсационного метода. С помощью соединительных проводов подключают прибор и электроды к клеммам 1, 3, 4, переводят переключатель номера грунта в заданное положение и производят измерения, нажимая и удерживая



красную кнопку. Вращением ручки «Реохорд» выводят стрелку индикатора в положение «ноль», после чего кнопку отпускают, со шкалы индикатора снимают отсчет. Если измеренная величина  $R_x > 10 \text{ Ом}$ , переключатель устанавливают на  $\times 5$  и, удерживая измерительные операции, повторяют до выбора нужного диапазона. По измеренному сопротивлению контрольного электрода определяют удельное сопротивление грунта расчетом по следующей формуле:

$$\rho_{\text{изм}} = 2,73 \cdot R_0 \cdot \frac{\ell_B}{\lg \frac{4\ell_B}{d}}, \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

где  $R_0$  – сопротивление контрольного электрода, измеренное прибором М 416 Ом;

$\ell_B$  – длина электрода, м;

$d$  – диаметр электрода, м.

Учитывая, что в течение года удельное сопротивление из-за колебаний увлажнения грунта подвержено постоянным изменениям, измеренное значение его умножается на коэффициент сезонности (см. табл. 6.1).

$$\rho_{\text{расч}} = \rho_{\text{изм}} \cdot K_B \quad \rho_{\text{расч}} = \rho_{\text{изм}} \cdot K_{\Gamma}.$$

Получаем расчетное удельное сопротивление грунта в Ом·м.

### 3. Расчет искусственного заземлителя

В зависимости от характера заземляемых электрических установок выбирают тип установки заземления – вертикальные стержни, соединенные горизонтальной полосой (рис. 6.11) и устанавливают исходные данные:

$P$  – мощность заземляемых электрических установок, кВА (киловольт-ампер);

$\rho_{\text{изм}}$  – измеренное удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$\ell_B$  – длина вертикальных стержней,  $2 \div 5$  м;

$a/\ell_B$  – отношение расстояния между стержнями к длине вертикального стержня (принимают отношение  $a/\ell_B = 1, 2, 3 \dots$ );

$d$  и  $b$  – диаметр стержня и сечения полосы, м;

$h_0$  – заглубление полосы и стержня в земле, 0,5 или 0,8 м.

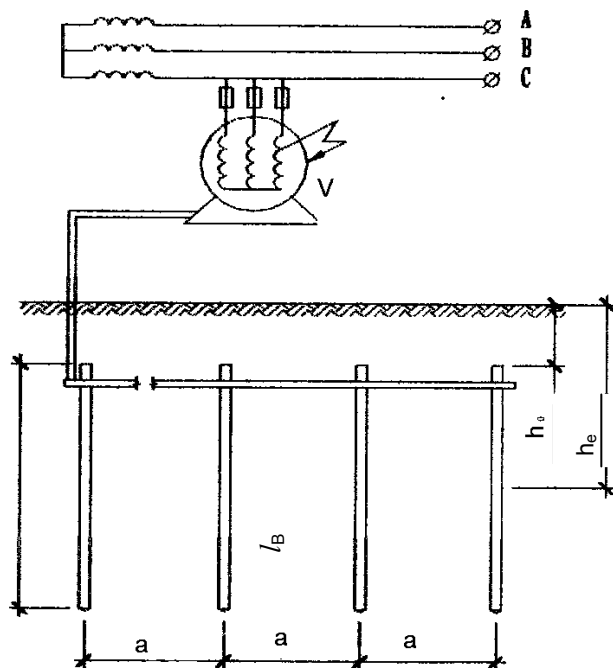


Рис. 6.11. Конструктивная схема группового вертикального заземлителя:  $l_B$  – длина стержня, м;  $h_0$  – глубина заложения, м;  $h_e$  – расстояние от уровня земли до середины стержня, м;  $a$  – расстояние между стержнями, м

Цель расчета заземления – определить размеры заземлителя и оценить сопротивление заземления, а также дать рекомендации по приведению его до рационального соответствия требованиям ПУЭ. Для расчета назначают допустимое сопротивление заземлителя, которое зависит от мощности трансформатора или генератора, питающего электрическую сеть. В соответствии с ПУЭ **при мощности трансформатора или генератора больше 100 кВ·А принимают  $R_{\text{доп}}=4$  Ом, при мощности, меньшей 100 кВ·А, –  $R_{\text{доп}}=10$  Ом. Это является главным требованием к заземляющему устройству.**

Для расчета применим метод коэффициента использования по допустимому сопротивлению. Конструктивная схема показана на рис. 6.11.

Порядок расчета следующий:

1. Определение сопротивления одиночного вертикального стержня:

$$R_0 = 0,367 \cdot \frac{\rho_{\text{рас}}}{\ell_B} \cdot \left( \lg \frac{2\ell_B}{d} + 0,5 \lg \frac{4h + \ell_B}{4h - \ell_B} \right), \text{ Ом},$$

где  $\ell_B$  – длина стержня, м;

$d$  – диаметр стержня, м;

$h$  – расстояние от уровня земли до середины стержня, м;

$h = h_0 + 0,5 \ell_B$ , м;

$h_0$  – глубина заложения заземлителя, принимают 0,5...0,8 м.

2. Определение требуемого количества стержней в заземлителе:

$$n = \frac{R_0}{R_{\text{доп}} \cdot \eta_B}, \text{ шт.}$$

Так как установлено, что при использовании отдельных элементов в земле существует взаимозависимое влияние, то этот эффект следует учитывать с помощью опытного коэффициента, который получил название «коэффициент использования». Аналитически он равен

$$\eta = \frac{G}{\frac{n}{\sum_i q_i}},$$

где  $G$  – общая проводимость заземлителя;  $G = \frac{1}{R_3}$ ;

$q_i$  – проводимость  $i$ -го элемента;  $q_i = \frac{1}{R_i}$ ;

$n$  – количество элементов.

Поскольку в формуле две неизвестных величины, коэффициент использования определяют приближенно или методом последовательных приближений. При приближенном определении первоначальное количество стержней считают при коэффициенте  $\eta=1$ , далее по графику (см. рис. 6.9 или 6.10) находят их количество по первому приближению. Сопротивления только вертикальных стержней тогда можно сосчитать по следующей зависимости:

$$R_B = \frac{R_0}{n_{\phi} \cdot \eta_{\text{вф}}} \text{ Ом},$$

где  $n_{\text{ф}}$  и  $\eta_{\text{вф}}$  – фактические значения количества и коэффициента использования для вертикальных стержней.

3. Определение сопротивления полосы, соединяющей одиночные заземлители

$$R_{\Gamma} = 0,367 \cdot \frac{\rho_{\text{расч}}}{\eta_{\Gamma} \cdot \ell_{\Gamma}} \cdot \lg \frac{\ell_{\Gamma}^2}{b \cdot h_0}, \text{ Ом},$$

где  $\ell_{\Gamma}$  – длина полосы, определяется  $\ell_{\Gamma} = 1,05(h_0 - 1)a$ , м;

$h_0$  – расстояние от полосы до поверхности земли;  $h_0 = 0,5 \div 0,8$  м;

$b$  – ширина полосы, м;

$\eta_{\Gamma}$  – коэффициент использования полосы.

4. Определение общего сопротивления заземлителя по формуле

$$R_{\text{ззз}} = \frac{R_{\text{в}} \cdot R_{\Gamma}}{R_{\text{в}} + R_{\Gamma}}, \text{ Ом}.$$

5. Проверить условие  $R_{\text{ззз}} \leq R_{\text{доп}}$ .

Если  $R_{\text{ззз}} \leq R_{\text{доп}}$ , то главное условие ПЭУ выполняется. Считается, что заземлитель рассчитан рационально, если  $R_{\text{ззз}} < R_{\text{доп}}$  не более, чем на 10%.

В случае если после расчетов  $R_{\text{ззз}}$  окажется больше, чем  $R_{\text{доп}}$ , следует вносить изменения в конструкцию заземляющего устройства:

- Увеличить количество стержней (наиболее радикальное техническое решение). Поскольку заземлитель состоит из параллельно соединенных вертикальных проводников, то он подчиняется закону Ома для такого рода электрического соединения. В соответствии с ним

$$\frac{1}{R_{\text{об}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots \frac{1}{R_n}.$$

Это означает, что с увеличением количества параллельно соединенных проводников их общее сопротивление уменьшается.

- Обеспечить более свободное расположение вертикальных заземлителей. Это можно выполнить при увеличении расстояния между стержнями либо перейти с конструкции заземлителя «размещенные по контуру» на «размещенные в ряд». И в том, и в другом случае величина коэффициента использования  $\eta$  повысится, а общее сопротивление заземлителя понизится.

## ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ 6

### Расчет защитного заземления электрических установок

#### 1. Оценка сопротивления группового заземлителя.

Т а б л и ц а 1

Исходные данные			$k_B$	$R_{\text{доп}}, \text{Ом}$	$R_{\text{зх}}, \text{Ом}$	$R_{\text{зз}} = R_{\text{зх}} \cdot k_B, \text{Ом}$
Тип заземлителя	Мощность ЭУ, $k_B \cdot A$	Влажность грунта				

#### Заключение

---



---



---



---

#### 2. Определение удельного сопротивления грунта.

Т а б л и ц а 2

Длина стержня $l_B, \text{м}$	Диаметр стержня $d, \text{м}$	Коэффициент сезонности		Сопротивление контрольного электрода $R_0, \text{Ом}$	$\rho_{\text{изм}}, \text{Ом} \cdot \text{м}$	$\rho_{\text{рас}}^B, \text{Ом} \cdot \text{м}$	$\rho_{\text{рас}}^\Gamma, \text{Ом} \cdot \text{м}$
		$k_B$	$k_\Gamma$				

$$\rho_{\text{изм}} = 2,73 \cdot R_0 \frac{\ell_B}{\lg \frac{4\ell_B}{d}}; \quad \rho_{\text{рас}}^B = \rho_{\text{изм}} \cdot k_B; \quad \rho_{\text{рас}}^\Gamma = \rho_{\text{изм}} \cdot k_\Gamma.$$

3. Расчет искусственного заземлителя  $a = \dots$  м;  $b = \dots$  м;  
 $h = h_0 + 0,5l_B$  м.

$R_0^{\text{рас}},$ Ом	$\eta_B$	$n,$ шт.	$n_\phi,$ шт.	$\eta_{\text{вф}}$	$R_B,$ Ом	$l_\Gamma,$ м	$R_\Gamma,$ Ом	$R_{\text{зз}},$ Ом

$$R_0^{\text{рас}} = 0,367 \cdot \frac{\rho_B}{\ell_B} \left( \lg \frac{2\ell_B}{d} + 0,5 \lg \frac{4h + \ell_B}{4h - \ell_B} \right);$$

$$h = \frac{R_0^{\text{рас}}}{R_{\text{доп}} \cdot \eta_B}; \quad R_B = \frac{R_0^{\text{рас}}}{n_\phi \cdot \eta_{\text{вф}}}; \quad \ell_\Gamma = 1,05(n_\phi - 1) \cdot a;$$

$$R_\Gamma = 0,36 + \frac{\rho_\Gamma}{\eta_\Gamma \cdot \ell_\Gamma} \cdot \lg \frac{\ell_\Gamma^2}{b \cdot h_0}; \quad R_{\text{зз}} = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B + R_\Gamma}.$$

## Заклучение

---



---



---



---



---

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимается под защитным заземлением?
2. За счет чего достигается защитное действие заземления?
3. В чем сущность защитного действия заземления путем выравнивания потенциалов?
4. В каких сетях и при каком напряжении тока применяется защитное заземление?

5. *Какие элементы зданий и сооружений можно использовать в качестве искусственных заземлителей?*
6. *Назовите типы искусственных заземлителей.*
7. *Какие требования предъявляют к конструкции электродов заземления?*
8. *Какие требования предъявляют к устройству заземляющих проводников?*
9. *В чем сущность измерения сопротивления заземлителя методом амперметра-вольтметра?*
10. *Как работает прибор при измерении сопротивления заземлителя компенсационным методом?*
11. *Как проверить исправность прибора М 416?*
12. *Почему при установке дополнительных электродов для измерения сопротивления заземлителей должны быть выдержаны определенные расстояния?*
13. *Каков порядок работы при измерении сопротивления прибором М 416?*
14. *В чем сущность измерения удельного сопротивления грунта методом контрольного электрода?*
15. *Как определяют коэффициент использования стержней и полосы?*
16. *По какой формуле рассчитывают требуемое количество вертикальных стержней?*
17. *Как определить сопротивление вертикальных стержней?*
18. *По каким соображениям выбирают расстояние между вертикальными стержнями?*
19. *При каком условии заземлитель считается запроектированным рационально?*
20. *Как можно снизить величину сопротивления заземлителя?*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Изд-е 7-е. – М.: Энергосервис, 2002.
- Охрана труда. Справочник / Сост. Э.А. Арустамов. – М.: Дашков и К, 2008.

## Лабораторная работа 7

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

**Цель работы:** исследовать процесс образования зарядов статического электричества при пневматическом транспортировании диэлектрического материала и опасность разрядов электричества как источника воспламенения газо-, паро- и пылевоздушных смесей.

**Содержание работы:** определение зависимости величины тока электризации от секундного объемного расхода; расчет энергии искрового разряда статического электричества и оценка его способности воспламенять газо-, паро- и пылевоздушные смеси; расчет количества легковоспламеняющейся жидкости (ЛВЖ) для создания стехиометрической паровоздушной горючей смеси во взрывной камере.

#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СТАТИЧЕСКОМ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ

Статическое электричество – совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией свободных электрических зарядов на поверхности и в объеме диэлектрических и полупроводниковых материалов и изделий или на изолированных проводниках [1].

Возникновение и сохранение зарядов статического электричества (СтЭ) называют электризацией тел. Заряд СтЭ образуется при деформации (изгибе, резании, дроблении и т.д.) твердых тел, разбрызгивании жидкости, при трении твердых тел, слоев сыпучих и жидких тел, при сублимации, конденсации и кристаллизации вещества, при облучении тел атомными частицами и квантами электромагнитной энергии.

В основе механизма образования зарядов СтЭ лежит перераспределение заряженных частиц (электронов, положительных ионов) путем их эмиссии (вылета за пределы тела). Чаще всего происходит и наблюдается эмиссия электронов. При трении тел разного химического состава возникают встречные потоки электронов разной интенсивности (рис. 7.1). Более мощный поток электронов



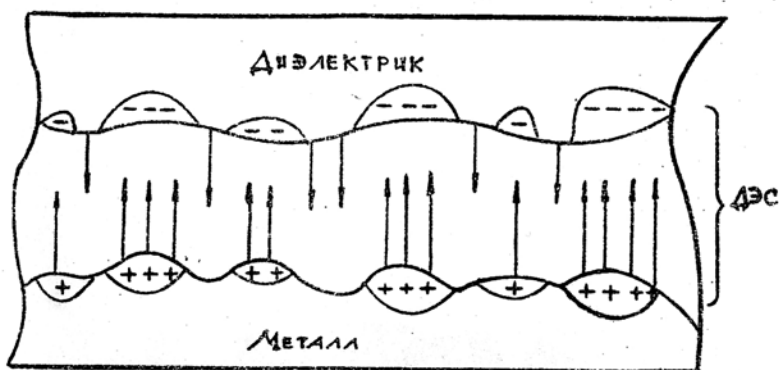


Рис. 7.1. Схема образования двойного электрического слоя (ДЭС) при трении двух разнородных тел

с одного из тел определяет направление преимущественного переноса отрицательных зарядов. Облачко электронов, осевших на поверхности другого тела (диэлектрика), образует отрицательный заряд СтЭ. Атомы тела, эмиссировавшего электроны, превращаются в положительные ионы, а их совокупность создает положительный заряд СтЭ. Распределение зарядов на поверхности тела носит очаговый характер, что объясняется точечным контактом тел трения. Конечным результатом трения разнородных тел является образование на соприкасающихся поверхностях двойного электрического слоя (ДЭС). ДЭС не образуется, если тела выполнены из одного материала, так как в этом случае встречные потоки электронов полностью компенсируются.

Интенсивность электризации тел зависит, в первую очередь, от скорости релаксации зарядов СтЭ, которая во многом определяется электрическим сопротивлением тел. Металлы имеют удельное сопротивление  $\rho \leq 10^6 \text{ Ом}\cdot\text{см}$  и время релаксации  $t_{\text{рел}} = 10^{-18} \dots 10^{-16} \text{ с}$ . Металлы практически не электризуются. Диэлектрики электризуются легче:  $\rho \geq 10^9 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ,  $t_{\text{рел}} = 10^{-8} \dots 10^8 \text{ с}$ .

Двойной электрический слой возникает в результате принудительного распределения заряженных частиц и в силу этого является неустойчивым образованием. Близкое расположение зарядов противоположного знака создает постоянную тенденцию к их взаимной нейтрализации.

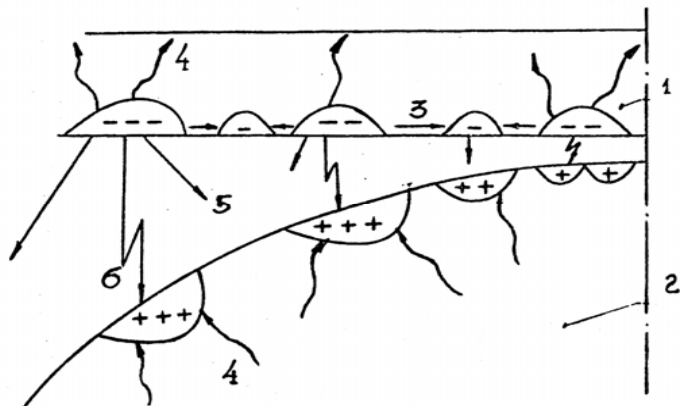


Рис. 7.2. Вид релаксации зарядов статического электричества: 1 – прорезиненная лента транспортера; 2 – металлический катод транспортера; 3 – растекание зарядов по поверхности тела; 4 – распределение зарядов в объеме тела; 5 – стримеры (лавина электронов); 6 – искровые заряды

Движущими силами релаксации зарядов являются кулоновские силы отталкивания между зарядами одного знака и силы притяжения между зарядами разного знака. Релаксация зарядов СтЭ происходит преимущественно за счет перемещения электронов и протекает в следующих формах (рис. 7.2):

- растекание зарядов на поверхности тела;
- распределение зарядов в объеме тела;
- образование стримеров – стекание зарядов в форме лавины электронов с поверхности тела в воздух, при этом в промежутке между телами происходит ионизация воздуха, создающая условия для искрового разряда;
- искровые разряды между отрицательными и положительными зарядами на поверхности тел. Эта форма релаксации зарядов наиболее эффективна, так как сопровождается массовой взаимной нейтрализацией заряженных частиц.

СтЭ является опасным производственным фактором. Искровые разряды между контактирующими телами могут стать причиной пожаров и взрывов. Взрыв горючих смесей часто приводит к человеческим жертвам и большим материальным потерям.

Зажигающая способность разрядов СтЭ [1] характеризуется двумя параметрами: минимальным зарядом зажигания и минимальной энергией зажигания.

Степень электризации тела характеризуется величиной его электрического потенциала  $\varphi$  (В) относительно земли. Потенциалы тел измеряются с помощью статического киловольтметра. Электрический заряд тела  $q$  (Кл) равен произведению электрической емкости тела  $C$  (Ф) относительно земли на электрический потенциал:

$$q = C \cdot \varphi.$$

Минимальный заряд зажигания есть наименьшее значение полного заряда, перенесенного единичным искровым разрядом, необходимое для зажигания горючей смеси при оптимальном соотношении горючего и окислителя.

Ток электризации  $I_3$  (А) равен произведению потенциала на среднее число электрических разрядов в секунду:

$$I_3 = q \cdot n_{\text{ср.}}$$

Энергия разряда  $W$  (Дж) вычисляется по формуле

$$W = 0,5C \cdot \varphi^2 = 0,5q \cdot \varphi.$$

Минимальная энергия зажигания представляет собой наименьшее значение энергии электрического разряда, способной воспламенить наиболее легко воспламеняемую смесь газа, пара или пыли с воздухом. Значения минимальной энергии зажигания смеси газов, паров или пыли некоторых веществ приведены в табл. 7.1.

Тело человека легко электризуется, его потенциал может достигать 15 кВ. Но токи разряда весьма малы, они составляют доли микроампера. Разряды СтЭ не представляют собой прямой опасности для человека, но могут вызвать временную судорогу, непроизвольное резкое движение и, следовательно, привести к травме.

В соответствии с Правилами защиты от статического электричества [2] мероприятия по защите проводятся во взрывоопасных помещениях и зонах открытых установок классов В-1, В-1а, В-1б, В-1г, В-11, В-11а (ПУЭ-2002, гл.7.3 и 7.4). Это такие помещения и зоны, в которых возможно образование взрывоопасных смесей как при нормальном режиме работы на производстве, так и в результате аварии или неисправностей производственного оборудования.

Т а б л и ц а 7.1

**Минимальная энергия воспламенения некоторых веществ**

Вещество	$W_{\text{мин}}$ , мДж	Вещество	$W_{\text{мин}}$ , мДж
Алюминий	20	Окись углерода	8
Аммиак	680	Полистирол (пыль)	15
Ацетилен	0,011	Пропан	0,26
Ацетон	1,21	Сера (пыль)	9
Бензол	0,21	Сероводород	0,077
Бензин Б-70	0,16	Сероуглерод	0,009
Бутилен	0,24	Уголь (пыль)	40
Водород	0,013	Циклопропан	0,23
Древесная мука	20	Цинк (пыль)	650
Диэтиловый эфир	0,19	Цирконий (пыль)	5
Каучук (пыль)	30	Этан	0,24
Керосин	0,48	Этилен	0,29
Магний (пыль)	15	Этиловый спирт	0,14
Метан	0,28		

Мероприятиями, уменьшающими интенсивность образования зарядов СтЭ, являются: уменьшение силового воздействия между контактирующими телами, сокращение относительных скоростей перемещения твердых, сыпучих и жидких тел; изготовление контактирующих тел из одного материала или из металлов с близким по величине электросопротивлением; добавление в объем диэлектрических материалов токопроводящих примесей (алюминевой пудры, графитного порошка), нанесение на поверхность тел токопроводящих лакокрасочных покрытий или пленок; добавление в электризующиеся жидкости антистатических добавок (слабых электролитов); обработка пленочных материалов антистатиками и др.

Для ускорения релаксации зарядов СтЭ применяют следующие методы:

- заземление металлического и электропроводного неметаллического производственного оборудования на заземлитель с  $R_3 \leq 100$  Ом;

- увеличение относительной влажности воздуха в производственном помещении до 70%;

- ионизация воздуха вблизи мест образования зарядов СтЭ (с помощью индукционных или радиоизотопных нейтрализаторов зарядов).

Для защиты человека используются антистатическая одежда и обувь. С этой же целью выполняются токопроводящие полы ( $\rho_p \leq 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ), токопроводящая обивка стульев и легкоосъемные токопроводящие браслеты: обивка стульев и браслеты должны быть постоянно заземлены.

### УСТРОЙСТВО ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка представляет собой стойку, в центральной части которой размещены системы транспортирования диэлектрического полимерного материала, справа от нее расположены органы управления, слева – приборы контроля (рис. 7.3).

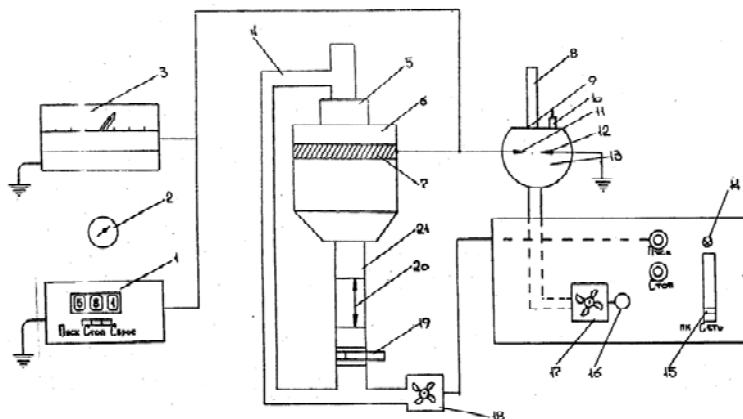


Рис. 7.3. Схема лабораторной установки: 1 - пересчетный прибор; 2 - секундомер; 3 - статический киловольтметр; 4 - транспортная труба; 5 - циклон; 6 - бункер; 7 - металлическая футеровка бункера; 8 - труба сброса давления; 9 - герметизирующая мембрана из кальки; 10 - устройство для заливки дозы ацетона в камеру; 11 - высоковольтный электрод; 12 - заземленный электрод разряда; 13 - взрывная камера; 14 - сигнальная лампочка «Сеть»; 15 - переключатель «Сеть»; 16 - кнопка включения продувки взрывной камеры; 17 - вентилятор продувки взрывной камеры; 18 - вентилятор транспортировки полимерного материала; 19 - шибер; 20 - мерный участок переточной трубы; 21 - переточная труба

Транспортная труба, циклон, бункер и переточная труба образуют замкнутую систему транспортирования дисперсного полимерного материала. Дисперсный материал находится в бункере. При открывании шиберов материал поступает в горизонтальный

участок транспортной трубы. Транспортирование дисперсного материала происходит под действием струи воздуха, создаваемого вентилятором после нажатия кнопки «Пуск».

Частицы полимерного материала при ударе о стенки трубы, циклона, бункера и друг о друга приобретают электрический заряд, который передают медной футеровке бункера. Футеровка соединена с высоковольтным электродом, статическим киловольтметром и пересчетным прибором. При транспортировании материала потенциал высоковольтного электрода непрерывно возрастает, что хорошо заметно по движению стрелки статического киловольтметра вправо. По достижении потенциала определенной величины происходит электрический разряд между высоковольтным и заземленным электродами. При этом стрелка киловольтметра быстро возвращается в нулевое положение, а показание пересчетного прибора увеличивается на единицу. При продолжении транспортирования материала стрелка киловольтметра начинает снова двигаться вправо, регистрируя нарастающую величину потенциала на медной футеровке бункера.

Количество произошедших разрядов определяется по показанию пересчетного прибора, а также по количеству возвратов стрелки киловольтметра в нулевое положение или непосредственным подсчетом числа разрядов через смотровое окно взрывной камеры.

Для прекращения транспортирования полимерного материала необходимо выключить вентилятор нажатием кнопки «Стоп» и полностью закрыть шибер.

Лабораторная установка позволяет определять воспламеняющую способность искровых разрядов статического электричества как источника зажигания горючих смесей. Для создания горючей смеси во взрывную камеру через устройство 10, утопив предварительно шток устройства, заливается расчетное количество горючей жидкости. Перед этим взрывную камеру герметизируют установкой мембраны из кальки на отверстие сброса давления; мембрана фиксируется прижимным устройством. При включении системы транспортирования полимерного материала между электродами происходят электрические разряды, являющиеся источником зажигания смеси. Избыточное давление при взрывообразном горении смеси разрывает мембрану, образовавшиеся газы

удаляются через трубу сбросов. Для полной очистки взрывной камеры от продуктов горения необходимо нажать кнопку «Продувка» (включается вентилятор продувки); через 3...5 с кнопку отпустить.

## **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

### *1. Определение зависимости тока электризации от секундного расхода полимерного материала*

1. Подать напряжение на лабораторную установку, для чего переключатель «Сеть» на пульте управления перевести в верхнее положение «Вкл.»; над переключателем загорается сигнальная лампочка (см. рис. 7.3).

2. Включить вентилятор транспортировки материала нажатием кнопки «Пуск». Установить шибер в положение минимального расхода (25%) материала. Происходит транспортирование полимерного материала по замкнутой системе.

3. Определить продолжительность перемещения материала  $\tau_v$  через мерный участок переточной трубы. Для этого выбрать частицу полимерного материала, отличающуюся по цвету или форме, над верхней риской мерного участка. В момент прохождения выбранной частицы верхней риски мерного участка включить секундомер, а в момент прохождения нижней риски - выключить его. Снять  $\tau_v$  отсчет с секундомера и записать его в отчет (см. отчет о лабораторной работе 7).

4. Определить количество  $\eta_r$  электрических разрядов между электродами во взрывной камере за время  $\tau_p \approx 2$  мин (120 с). На пересчетном приборе нажать кнопку (правую) «Сброс», на индикаторных лампах прибора высвечиваются нули. Включить одновременно секундомер и кнопку «Пуск» (левую) на пересчетном приборе. Примерно через 120 с выключить секундомер и нажать кнопку (среднюю) «Стоп» на пересчетном приборе, выключить вентилятор транспортировки нажатием кнопки «Стоп». Показания секундомера  $\tau_p$  и пересчетного прибора  $\eta_r$  записать в отчет.

В течение 2 мин один студент считывает величину потенциала  $\phi_p$  каждого разряда по шкале статического киловольтметра, а второй записывает в рабочей тетради их значения, а затем рассчитывает среднеарифметическое значение

$$\varphi_p^{cp} = \frac{1}{\eta} \sum_{i=1}^{\eta} \varphi_{pi}.$$

Значение  $\varphi_p^{cp}$  записать в отчет.

5. Последовательно установить шибер в положение 50-, 75- и 100%-го расхода материала и в каждом положении шибера включить вентилятор транспортировки и измерить величины  $\tau_v$ ,  $\tau_p$ ,  $\eta$ ,  $\varphi_p^{cp}$  согласно пп. 3, 4.

6. Для каждого из четырех положений шибера рассчитать секундный объемный расход полимерного материала  $v_m$ , число  $\eta_p$  электрических разрядов в секунду, величину электрического заряда  $q$ , ток электризации  $I_\Sigma$  и энергию электрического разряда  $W_\Sigma$  статического электричества.

7. Построить график зависимости тока электризации от секундного объемного расхода полимерного материала:  $I_\Sigma = f(v_m)$ .

## *2. Определение воспламеняющей способности иксовых разрядов статического электричества*

1. Определить весовое и объемное количество горючей жидкости для создания стехиометрической концентрации паров ацетона во взрывной камере.

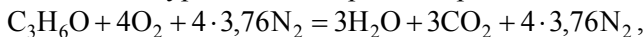
Объем  $v_o$  одной грамм-молекулы воздуха составляет 22,4 л.

Этот объем приводим к стандартным условиям:

$$v_t = v_o \frac{273^\circ + t^\circ\text{C}}{273^\circ} \cdot \frac{101,65}{B}, \text{ л,}$$

где  $B$  – атмосферное давление, Па.

В соответствии с уравнением горения паров ацетона:



на один моль паров ацетона требуется четыре моля кислорода. Они содержатся в объеме воздуха  $v_b$ , определяемом (с учетом значительного преобладания в воздухе азота) выражением

$$v_b = (4 + 4 \cdot 3,76)v_t.$$

Количество ацетона, необходимого для создания стехиометрической концентрации во взрывной камере, пропорционально объему камеры  $v_k$ :



$$G = M \cdot \frac{V_k}{V_b},$$

где  $M$  – масса одной грамм-молекулы паров ацетона;  $M = 58,06$  г.

Объем ацетона, необходимого для создания стехиометрической концентрации его паров во взрывной камере, определяется с учетом плотности жидкости:

$$V_{ж} = \frac{G}{\rho}.$$

Плотность ацетона  $\rho = 0,79$  г·см<sup>-3</sup>.

2. Включить вентилятор транспортировки, установить шибер в положение среднего расхода материала.

3. Наблюдать через окно за появлением разрядов во взрывной камере.

После зажигания горючей смеси (слышен звук разрыва бумажной мембраны) выключить вентилятор транспортировки.

4. Удалить остатки продуктов горения из взрывной камеры, нажав кнопку «Продувка».

5. По величине энергии разряда и в соответствии с данными таблицы определить и записать в отчет названия вещества, газо-, паро-, пылевоздушные смеси которых способны воспламениться от искровых разрядов статического электричества данной экспериментальной установки.

## **ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

Заряды СтЭ могут образоваться на наружной поверхности замкнутой системы транспортирования дисперсного материала, поэтому нельзя касаться этих поверхностей.

Весьма ответственной операцией является отмеривание расчетного количества ацетона, заливаемого во взрывную камеру. Величина отмеренного количества жидкости предъявляется для контроля преподавателю или лаборанту. При наборе дозы нужно быть очень аккуратным: нельзя опрокидывать емкость с ацетоном и проливать ацетон. Отмеривание расчетного количества ацетона производится на отдельном столе с бортиками и в вытяжном шкафу.

# **ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ 7** **Исследование опасных факторов статического электричества**

---

(шифр, группа, ф., и., о. студента)

## **Исходные данные:**

Объем мерного участка переточной трубы  $v_{m,y} = 500 \text{ см}^3$ .

Интервал времени для подсчета числа разрядов  $\tau_p = 120 \text{ с}$ .

Электрическая емкость разрядной цепи  $C_p = 50 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$ .

Форма табл. 1

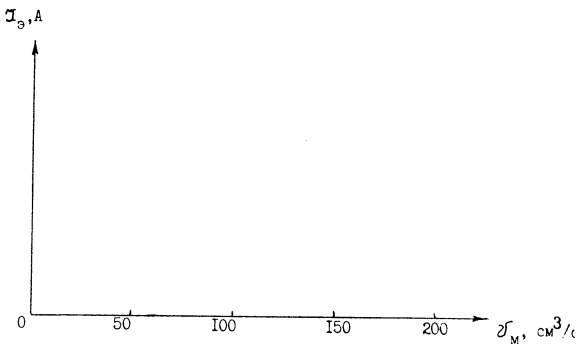
## **Расчет тока электризации**

Положение прибора	$\tau_v, \text{ с}$	$v_M = \frac{v_{My}}{\tau_v}, \text{ см}^3/\text{с}$	$n_{\tau}, \text{ разр.}$	$n_p = \frac{n_{\tau}}{\tau_p}, \text{ разр.}/\text{с}$	$q = \varphi_p^{cp} \cdot C_p, \text{ Кл}$	$I_{\Sigma} = q \cdot n_p, \text{ А}$	$w = 0,5q\varphi_p^{cp}, \text{ Дж}$
1							
2							
3							
4							

Определение потенциала искровых разрядов  $\varphi_{pi}$   
статического электричества

Отсчет	Положение шибера			
	1	2	3	4
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
$\varphi_p^{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varphi_{pi}$				

График зависимости тока электризации  
от секундного объемного расхода материала



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОСПЛАМЕНЯЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИСКРОВЫХ РАЗРЯДОВ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Расчет массового объемного количества ЛВЖ (ацетона) для создания стехиометрической паровоздушной смеси во взрывной камере.

### Исходные данные:

ЛВЖ-ацетон.

Объем одной грамм-молекулы воздуха при  $0^{\circ}\text{C}$  и давлении  $B=101,65$  кПа;  $v_0=22,4$  дм<sup>3</sup>.

Температура воздуха  $t^{\circ}=\dots$   $^{\circ}\text{C}$ .

Атмосферное давление  $B=\dots$  кПа.

Грамм-молекула ацетона  $M=58$  г.

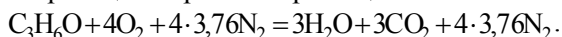
Объем взрывной камеры  $v_k=1$  дм<sup>3</sup>.

Плотность ацетона  $\rho=0,79$  г·см<sup>-3</sup>.

Расчетные формулы:

---

Уравнение реакции горения паров ацетона:



Объем воздуха, необходимого для полного сгорания одного моля паров ацетона:

$$v_B = 4(1 + 3,76)v_t.$$

Объем одного моля воздуха в условиях опыта:

$$v_t = v_0 \frac{273^{\circ} + t^{\circ}\text{C}}{273^{\circ}} \cdot \frac{101,65}{B}.$$

Масса дозы ацетона:

$$G = M \cdot \frac{v_k}{v_B}.$$

Объем дозы ацетона:

$$v_{\text{ж}} = \frac{G}{\rho}.$$

Перечень веществ, газо-, паро-, пылевоздушные смеси которых могут воспламеняться искровыми разрядами с энергией  $W=\dots$  мДж.

**Восстанавливающая способность веществ**

№	Вещество	W <sub>мин</sub> , мДж	№	Вещество	W <sub>мин</sub> , мДж
1			6		
2			7		
3			8		
4			9		
5			10		

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Каковы причины возникновения зарядов СтЭ?
2. От каких факторов зависит накопление зарядов СтЭ?
3. От каких факторов зависит релаксация зарядов?
4. Как обеспечивается транспортировка полимерного дисперсного материала в замкнутой системе?
5. Каково назначение взрывной камеры?
6. Каким методом фиксируется прохождение разряда статического электричества в лабораторной установке?
7. Как определить интенсивность процесса электризации при заданном секундном расходе материала?
8. Как определить величину тока электризации?
9. Проанализировать график зависимости тока электризации от секундного расхода материала.
10. Как будет выглядеть график зависимости тока электризации от скорости транспортирования при постоянном секундном расходе материала?

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. ГОСТ 12.1.018-93. ССБТ. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования.
2. Правила защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. – М.: Химия, 1973.

## Лабораторная работа 8

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

**Цель работы:** научиться определять температуру вспышки легковоспламеняющихся и горючих жидкостей и устанавливать категорию взрывопожароопасности помещения, где данные жидкости применяются.

**Содержание работы:** определение температуры вспышки; установление категории взрывопожароопасности производственного помещения, где данная жидкость применяется.

#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕМПЕРАТУРЕ ВСПЫШКИ

Известно, что при положительной температуре и давлении над жидкостью в закрытом сосуде образуется пар, концентрация которого не может превышать определенного максимального значения, которое зависит от природы жидкости и ее температуры. Этот пар называется насыщенным. В состоянии насыщения число испаряющихся молекул равно числу конденсирующихся, и концентрация пара остается постоянной.

Концентрация насыщенного пара в воздухе определяется по его парциальному давлению. Парциальным давлением называется та часть общего давления, производимого смесью газов или паров, которая приходится на долю данного газа или пара. Так, если концентрация насыщенного пара в воздухе составляет 15 %, то парциальное давление насыщенного пара будет равно 0,15  $P_0$ , где  $P_0$  общее, т.е. атмосферное давление.

Если известно парциальное давление насыщенного пара при данной температуре, то концентрация его в воздухе будет равна:

$$C_H = \frac{P_H}{P_0} 100 \%, \quad (8.1)$$

где  $C_H$  – концентрация насыщенного пара в воздухе при данной температуре, %;

$P_H$  – давление насыщенного пара, Па;

$P_0$  – атмосферное давление, Па.

Давление насыщенного пара при заданной температуре для многих жидкостей приводится в справочниках или может быть рассчитано по уравнению Антуана.

Горение паров в воздухе, так же как и горючих газов, возможно только в определенном диапазоне концентраций. Так как максимально возможное содержание пара в воздухе не может быть больше, чем в состоянии насыщения, то концентрационные пределы воспламенения могут быть однозначно выражены через температуру (при атмосферном давлении). Значения температуры жидкости, при которых концентрация насыщенных паров в воздухе над жидкостью равна концентрационным пределам воспламенения, называются температурными пределами воспламенения (нижним и верхним соответственно).

Таким образом, процесс воспламенения и горения жидкостей можно представить так: для воспламенения необходимо, чтобы жидкость была нагрета до определенной температуры (не меньшей, чем нижний температурный предел воспламенения). После воспламенения скорость испарения должна быть достаточной для поддержания постоянного горения. Эти особенности горения жидкостей характеризуются температурами вспышки и воспламенения.

*Температурой вспышки называется минимальная температура жидкости, при которой её пары с воздухом образуют горючую смесь, способную воспламеняться при поднесении внешнего источника зажигания. Устойчивого горения при этом не происходит.*

Температура вспышки и нижний температурный предел воспламенения сходны, различие состоит лишь в методике их определения.

По температуре вспышки определяют пожарную опасность жидкости. В зависимости от величины температуры вспышки жидкости подразделяются на легковоспламеняющиеся (ЛВЖ) и горючие (ГЖ) [1].

К легковоспламеняющимся относятся жидкости с температурой вспышки, не превышающей  $61^{\circ}\text{C}$ , к горючим – жидкости с температурой вспышки выше  $61^{\circ}\text{C}$ . Особо опасными называют легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более  $28^{\circ}\text{C}$ .

Значение температуры вспышки важно по той причине, что оно показывает, начиная с какой минимальной температуры нагрева жидкости может возникнуть развитие пожара.

Температурой воспламенения называется наименьшее значение температуры жидкости, при которой интенсивность её испарения такова, что после зажигания внешним источником возникает самостоятельное пламенное горение.

Для легковоспламеняющихся жидкостей температура воспламенения обычно на 1-5°C выше температуры вспышки, а для горючих жидкостей эта разница может достигать 30-35°C.

В соответствии с нормами пожарной безопасности НПБ 105-03 [2] значение температуры вспышки является одним из основных показателей, определяющих категорию взрывопожароопасности производственных помещений, связанных с применением ЛВЖ и ГЖ.

Правильное определение категории взрывопожароопасности помещений имеет большое значение, поскольку позволяет установить оптимальное соотношение между реально существующей опасностью и затратами на профилактические мероприятия. В случае необоснованного занижения опасности под угрозой может оказаться сохранность зданий и производственного оборудования, не говоря уже о жизни и здоровье людей. При неоправданном завышении опасности нерационально расходуются средства, поскольку удорожание строительства объектов, связанное с обеспечением защитных мер против взрыва может составлять до 30 % стоимости зданий и сооружений.

Помещения, в которых применяются жидкости, имеющие температуру вспышки до 28°C включительно, относятся к взрывопожароопасной категории «А». Если температура вспышки превышает 28°C, то помещения относятся к взрывопожароопасной категории «Б».

Однако следует иметь в виду, что значение температуры вспышки не является единственным критерием для отнесения производственного помещения к взрывопожароопасной категории «А» или «Б». Вторым таким критерием является избыточное давление, развиваемое в помещении при взрыве смеси паров легковоспламеняющейся или горючей жидкости с воздухом.



Только в случае, если это давление превышает 5 кПа, помещение может быть отнесено к категориям «А» или «Б». Если же избыточное давление не превышает 5 кПа, то помещение относится к одной из пожароопасных категорий В1-В4. Считается, что в этом случае взрыв паров жидкости в помещении не опасен для несущих строительных конструкций здания.

Величина же избыточного давления в соответствии с [2] определяется по формуле

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{100mz}{V\rho_{\text{СК}}}, \text{ кПа}, \quad (8.2)$$

где  $P_{\max}$  – максимальное давление взрыва стехиометрической паровоздушной смеси в замкнутом объёме, определяемое по справочным данным (при отсутствии последних допускается принимать  $P_{\max}$  равным 900 кПа);

$P_0$  – давление в помещении до взрыва (допускается принимать равным 101 кПа);

$m$  – масса поступивших в помещение паров ЛВЖ или ГЖ, вычисляемая по формулам (8.6-8.9), кг;

$V$  – свободный объём помещения, т.е. объём помещения за вычетом объёма, занимаемого оборудованием,  $\text{м}^3$ ;

$z$  – коэффициент участия горючего во взрыве, обычно принимаемый равным 0,3;

$C$  – стехиометрическая концентрация паров ЛВЖ или ГЖ (%), вычисляемая по формуле

$$C = \frac{100}{1 + 4,84\beta}, \quad (8.3)$$

где  $\beta$  – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения:

$$\beta = n_c + \frac{n_H - n_X}{4} - \frac{n_O}{2}, \quad (8.4)$$

где  $n_C$ ,  $n_H$ ,  $n_O$ ,  $n_X$  – соответственно число атомов углерода, водорода, кислорода и галлоидов в молекуле.

Плотность пара  $\rho$ ,  $\text{кгм}^{-3}$ , определяется по формуле

$$\rho = \rho_B \frac{M}{M_B}, \quad (8.5)$$

где  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воздуха, может быть принята равной  $1,29 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ;  
 $M$  – молекулярная масса жидкости,  $\text{кг}\cdot\text{кгмоль}^{-1}$  (см. табл. 8.1);  
 $M_{\text{в}}$  – условная молекулярная масса воздуха, равная  $29 \text{ кг}\cdot\text{кгмоль}^{-1}$ .

Масса поступивших в помещение паров ЛВЖ и ГЖ определяется по формуле

$$m = WSt, \text{ кг}, \quad (8.6)$$

где  $W$  – интенсивность испарения жидкости,  $\text{кг}\cdot\text{с}^{-1} \text{ м}^{-2}$ ;

$S$  – площадь испарения жидкости; определяется в зависимости от массы жидкости, поступившей в помещение,  $\text{м}^2$ . Согласно [2] площадь испарения определяется исходя из того, что  $1 \text{ л}$  жидкости разливается на площади, занимающей  $1 \text{ м}^2$  пола помещения;

$\tau$  – продолжительность испарения жидкости, с; принимается равной времени её полного испарения, но не более  $3600 \text{ с}$ .

Интенсивность испарения  $W$  определяется по формуле

$$W = 10^{-6} \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}}, \quad (8.7)$$

где  $M$  – молекулярная масса жидкости,  $\text{кг}\cdot\text{кгмоль}^{-1}$  (см. табл. 8.1);

$P_{\text{н}}$  – давление насыщенного пара при температуре жидкости, находящейся в помещении,  $\text{кПа}$ . Это давление может быть определено по уравнению Антуана

$$\ln P_{\text{н}} = A - \frac{B}{T + D}, \quad (8.8)$$

где  $T$  – абсолютная температура жидкости,  $^{\circ}\text{К}$ ;

$A, B, D$  – коэффициенты (см. табл. 8.1)

В соответствии с формулой (8.8) давление насыщенного пара жидкости,  $\text{кПа}$ :

$$P_{\text{н}} = e^{\frac{A - \frac{B}{T + D}}{1}}. \quad (8.9)$$

При определении массы находящихся в помещении паров жидкости  $m$  по формуле (8.6) и продолжительности испарения, равной  $3600 \text{ с}$ , может оказаться, что масса паров превышает количество жидкости, поступившей в помещение. Такой результат означает, что вся жидкость испарится в объём помещения за время, меньшее  $3600 \text{ с}$ . В этом случае за массу паров жидкости  $m$  должна быть принята масса жидкости, поступившей в помещение.

Т а б л и ц а 8.1

**Характеристики горючих жидкостей**

№ пп	Жидкость	Химическая формула	Молеку- лярная масса кг/кгмоль	Коэффициенты в уравнении Антуана (8.8)		
				A	B	D
1	Анилин	$C_6H_7$	93	16,6748	3857,52	-73,15
2	Бензальдегид	$C_7H_6O$	106	16,3501	3748,62	-66,12
3	Бутилбензоит	$C_{11}H_{14}O_2$	178	16,3363	4158,47	-94,15
4	Бутиленгли- коль	$C_4H_{10}O_2$	90	16,0241	2869,79	-53,15
5	Н-бутанол	$C_4H_{10}O$	74	17,2160	3137,02	-94,13
6	Н-гексанол	$C_6H_{14}O$	102	18,0994	4055,45	-76,49
7	Н-декан	$C_{10}H_{22}$	132	16,0114	3456,80	-78,67
8	Н-масляная кислота	$C_4H_8O_2$	88	17,9240	4130,93	-70,55
9	Пропиленгли- коль	$C_3H_8O_2$	76	20,5324	6091,95	-22,46 I
10	Тетрадекан	$C_{14}H_{30}$	198	16,1480	4008,52	-105,4
11	Н-ундекан	$C_{11}H_{24}$	156	16,0541	3614,07	-85,45 I
12	Этиленгли- коль	$C_2H_6O_2$	62	20,2501	6022,18	-28,25

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ**

Определение температуры вспышки производится в соответствии с [1] следующим образом: осуществляется постепенный нагрев жидкости, по мере которого возрастает скорость парообразования и увеличивается концентрация паров над поверхностью жидкости. Начиная с некоторого значения температуры жидкости, близкого к предполагаемой температуре вспышки, в паровоздушную зону над жидкостью периодически вносится источник зажигания. Если концентрация пара недостаточна для воспламенения, то вспышки не наблюдается и фиксируется «отказ». Как только эта концентрация достигнет необходимого значения, произойдёт вспышка паров жидкости, которая наблюдается визуально по по-

явлению небольшого синего пламени над тиглем прибора для испытания жидкости на вспышку. Температура жидкости, которая будет при этом фиксироваться, и есть температура вспышки.

### УСТРОЙСТВО ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка, собранная в вытяжном шкафу, представляет собой тигель (рис. 8.1), выполненный из коррозионно-стойкого металла, в котором размещается исследуемая жидкость.

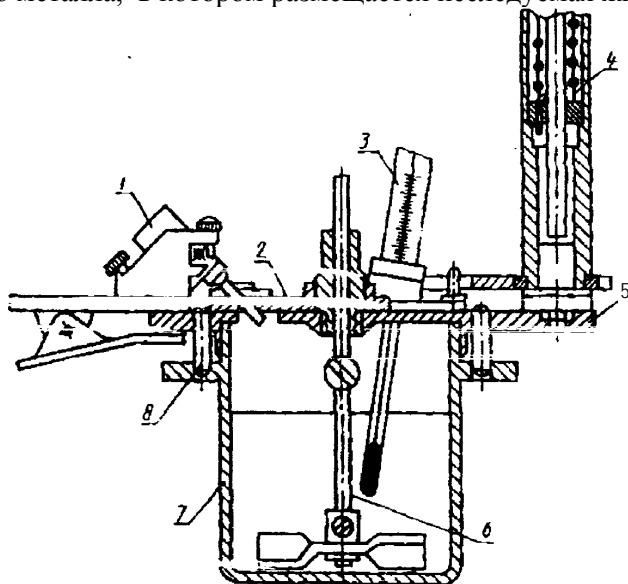


Рис. 8.1. Закрытый тигель для определения температуры вспышки: 1 – зажигающая горелка; 2 – заслонка; 3 – термометр; 4 – пружинный механизм; 5 – крышка; 6 – мешалка; 7 – тигель; 8 – штифт-фиксатор крышки

Тигель снабжён хорошо пригнанной крышкой с мешалкой, открываемой заслонкой и зажигающей горелкой. В него вставлен термометр для определения температуры жидкости, имеется также секундомер для контроля скорости нагревания жидкости.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В начале предполагаемая температура вспышки исследуемой жидкости определяется приблизительно по эмпирической формуле

$$T_{\text{всп}} = T_{\text{кип}} - 18\sqrt{K}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (8.10)$$

где  $T_{\text{всп}}$  – температура вспышки, °C;

$K$  – коэффициент горючести;

$T_{\text{кип}}$  – температура кипения исследуемой жидкости, °C;

$$K = 4m_C + m_H + 4m_S + m_N - 2m_O - 2m_{CL} - 3m_F - 5m_{Br}, \quad (8.11)$$

здесь  $m_C$ ,  $m_H$ ,  $m_S$ ,  $m_N$ ,  $m_O$ ,  $m_{CL}$ ,  $m_F$ ,  $m_{Br}$  – число атомов соответственно углерода, водорода, серы, азота, фтора и брома в молекуле исследуемой жидкости.

Следует иметь в виду, что значение предполагаемой температуры вспышки, полученное расчётом, может на 10-15°C отличаться от истинного её значения, определяемого экспериментальным путём.

После выполнения расчёта следует приступить к проведению испытаний с помощью аппарата для определения температуры вспышки в закрытом тигле ТВ-1. Для этого необходимо включить на аппарате перемешивающее устройство, обогреть тигля и нагревать исследуемую жидкость со скоростью 5-6 °C/мин.

Испытание на вспышку необходимо начать проводить при достижении температуры жидкости на 17 °C ниже предполагаемой температуры вспышки и повторять через каждый 1 °C повышения температуры для жидкостей с температурой вспышки до 104 °C и через каждые 2 °C для жидкостей с температурой вспышки более 104 °C.

В момент испытания на вспышку перемешивание прекратить. Поворотом пружинного механизма открыть заслонку на крышке, при этом пламя горелки автоматически опустится внутрь тигля, оставить пламя горелки в нижнем положении 1 с и быстро вернуть в исходное положение. Следить за пламенем при открывании и закрывании заслонки.

За температуру вспышки следует принять показания термометра в момент появления первого пламени над поверхностью жидкости.

Результаты испытаний занести в табл. 1 отчета о лабораторной работе 8.

В полученное значение следует ввести поправку ( $\Delta t$ ) в °C на атмосферное давление, которую вычислить по следующей формуле:

$$\Delta t = 0,27(101,3 - P_0), \quad ^\circ\text{C}, \quad (8.12)$$

где  $P_0$  – атмосферное давление, кПа, определяется по барометру.

## **ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ**

Установка для проведения лабораторной работы должна размещаться только под тягой. Категорически запрещается перегрев жидкости, который может привести к внезапному выбросу жидкости из тигля и её воспламенению. В случае если температура жидкости более, чем на 20 °С превышает ожидаемую, а вспышки не наступает, необходимо немедленно прекратить нагрев и проконсультироваться с преподавателем.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИИ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ**

После установления температуры вспышки жидкости выполняется расчётная часть работы по определению категории взрывопожароопасности производственного помещения.

Вначале заполняется форма табл. 2 отчёта о лабораторной работе. При этом температура жидкости  $T$  может быть принята равной температуре в помещении лаборатории или же задается преподавателем. Молекулярная масса жидкости  $m$  и коэффициенты в уравнении Антуана  $A$ ,  $B$ ,  $E$  берутся из табл. 8.1, где имеются характеристики горючих жидкостей. Остальная часть формы табл. 1 отчета заполняется значениями, полученными расчётным путём в соответствии с формулами, приведенными в заголовках соответствующих граф.

В результате заполнения формы табл. 2 отчёта определяется масса  $m$  паров жидкости, поступивших в помещение в результате испарения.

Затем заполняется форма табл. 3 отчета. Максимальное давление взрыва  $P_0$  задается преподавателем на основании справочных данных или принимается равным 900 кПа. Свободный объём помещения  $V$  также задаётся преподавателем. Атмосферное давление определяется по барометру или принимается равным 760 мм рт.ст.

В результате заполнения формы табл. 3 отчёта определяется избыточное давление взрыва, способное развиваться в заданном помещении, где применяется исследуемая жидкость.

По окончании расчетов на основании определенной экспериментально температуры вспышки и полученного расчетным путем избыточного давления взрыва делается заключение о том, к какой категории взрывопожароопасности относится помещение, где данная жидкость применяется.

## ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ 8

### Определение температуры вспышки горючих жидкостей

---

(шифр, группа, ф., и., о. студента )

---

Жидкость .....

Химическая формула.....

Температура жидкости, при которой происходит испарение..... °С

Атмосферное давление .....

Свободный объем помещения, где применяется исследуемая жидкость.....

Максимальное давление взрыва паров исследуемой жидкости.....

Форма табл. 1

#### Определение температуры жидкости

Порядковый номер испытания	Температура нагреваемой жидкости, °С	Результат испытания на вспышку

Значение температуры вспышки с учетом поправки на атмосферное давление (согласно формуле (8.12)).

Форма табл. 2

#### Определение массы паров исследуемой жидкости, поступивших в помещение при испарении

Коэффициенты в уравнении Антуана (8.7)			Т, °С	$P_H = e^{A - \frac{B}{T+D}}$ , кПа	М, кг·моль <sup>-1</sup>	$W = 10^{-6} \sqrt{M} \cdot P_H$ , кг·с <sup>-1</sup> ·м <sup>-2</sup>	S, м <sup>2</sup>	m, кг
A	B	C						

**Определение избыточного давления взрыва, способного развиться в заданном помещении, где применяется исследуемая жидкость**

$P_{\max},$ кПа	$P_0,$ кПа	$z$	$V,$ $\text{м}^3$	$\rho = \rho_B \frac{M}{M_B},$ $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$	$\beta = n_c + \frac{n_H - n_X}{4} - \frac{n_0}{2}$	$C = \frac{100}{1 + 4,84\beta},$ %	$k$	$\Delta P,$ кПа

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Какие параметры характеризуют пожарную опасность жидкостей?
2. Что такое давление насыщенного пара над поверхностью жидкости?
3. Что такое температура вспышки жидкостей?
4. Что такое температура воспламенения жидкостей?
5. Как классифицируются жидкости в зависимости от температуры вспышки?
6. Как учитывается значение температуры вспышки жидкостей при проектировании промышленных зданий для производств, где используются данные жидкости?
7. Какие помещения, в которых используются ЛВЖ и ГЖ, относятся к категориям А, Б, В1-В4?
8. Почему при проведении испытания на вспышку крышку тигля не следует оставлять открытой более, чем на 1 с?
9. Каким нормативным документом руководствуются при определении категории взрывопожароопасности производственных помещений?

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы определения. – М.: Стандарты, 1989.

НПБ 105-03. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: ВНИИПО МЧС РФ, 2003.



## Лабораторная работа 9

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ИСПАРЕНИЯ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ С МАЛЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

**Цель работы:** научиться определять скорость испарения легковоспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих (ГЖ) жидкостей, разлитых в аварийных условиях; использовать полученные данные для определения количества испаряющихся ЛВЖ и ГЖ при категорировании взрывопожароопасности помещений и зданий.

**Содержание работы:** краткие сведения о скорости испарения легковоспламеняющихся жидкостей; экспериментальное определение скорости испарения ЛВЖ со свободной поверхности; оценка взрывопожароопасности производственного помещения.

#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СКОРОСТИ ИСПАРЕНИЯ РАЗЛИТЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛВЖ

При различных производственных процессах в большом количестве применяются легковоспламеняющиеся и горючие жидкости (ЛВЖ и ГЖ). Каждое производственное помещение и здание в соответствии с НПБ-105-03 [1] должно быть отнесено к одной из пяти категорий. Более опасными с точки зрения воздействия взрывоопасных смесей при взрывном горении на строительные конструкции зданий являются легковоспламеняющиеся жидкости, температура вспышки которых не превышает +61°C. Для ГЖ температура вспышки более +61°C. В связи с этим, помещения, где применяются или обращаются горючие жидкости, не могут быть отнесены к категориям А и Б. Для ЛВЖ характерно, что в зависимости от количества поступления их в помещение в результате аварийных ситуаций, эти помещения могут быть отнесены практически к любой из 5 категорий в зависимости от присущих им свойств (температуры вспышки и возможности возникновения избыточного давления при взрывном горении, превышающего 5 кПа). Избыточное давление при взрывном горении, в соответствии с [1], определяется по формуле

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_{CB} \cdot \rho_B \cdot C_p \cdot T_0 \cdot K_H}, \text{ кПа}$$

(расшифровка параметров и размерности по НПБ-105-03).

Одним из наиболее значимых параметров в формуле является масса горючего вещества, определяемая по формуле

$$m = W \cdot F_{\text{и}} \cdot T, \text{ кг},$$

где  $W$  – интенсивность испарения,  $\text{кг/с}^{-1} \cdot \text{м}^2$ ;

$F_{\text{и}}$  – площадь испарения,  $\text{м}^2$ ;

$T$  – время испарения, с (не более 3600 с).

В то же время масса вещества  $m$  в наибольшей степени зависит от скорости испарения жидкости.

Как правило, для производственных помещений характерны аварии с проливом на поверхность пола большого количества жидкости. В этом случае определить скорость испарения (интенсивность) не представляет больших затруднений. Для этой цели в [1] рекомендована формула

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}},$$

где  $\eta$  – коэффициент, зависящий от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;

$M$  – молекулярная масса вещества, г/г моль;

$P_{\text{н}}$  – давление насыщенных паров, кПа.

Указанная формула предназначена для определения интенсивности испарения при площадях испарения более  $1 \text{ м}^2$  (при равенстве сторон от минимального 1 п.м.), также имеются данные по скорости испарения с площади  $0,25 \text{ м}^2$  с равновеликими сторонами  $0,5 \times 0,5 \text{ м}$ . В этом случае наблюдалось почти двукратное, в сравнении с испарением с поверхности, равной  $1 \text{ м}^2$  ( $1,0 \times 1,0 \text{ м}$ ), увеличение скорости испарения. В то же время имеется большое количество зданий и помещений, где применяются незначительные количества ЛВЖ в небольших помещениях. В этих случаях имеются сложности в определении скорости испарения при разливе жидкости, особенно при большой разобшенности рабочих мест.

## **УСТРОЙСТВО ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ И МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ИСПАРЕНИЯ ЛВЖ**

На рис. 9.1 изображена установка для реализации предполагаемого способа определения скорости испарения индивидуальных растворителей (не включающих в себя масла и наполнители [2]).

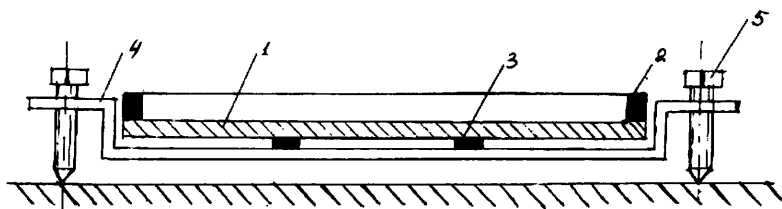


Рис. 9.1. Схема установки для определения удельной скорости испарения жидкостей:

1 – стекло с матовой поверхностью, служащее для фиксации начала и окончания испарения исследуемой жидкости; 2 – бортики, препятствующие вытеканию жидкости в случае негоризонтальности; 3 – вкладыши, исключающие прогиб стекла (применяются при площадях испарения начиная с  $0,05 \text{ м}^2$ ); 4 – коромысла для фиксации матового стекла; 5 – микрометрические винты для точного регулирования положения горизонтальной поверхности матового стекла

Сущность применяемого метода состоит в том, что на установленный строго горизонтально по уровню в двух направлениях по диагонали поддон определенной площади, изготовленный из матового стекла и ограниченный бортиками по периферии высотой 2 мм (для фиксации площади испарения и исключения перелива при сбое горизонтальности), наливают жидкость. При этом матовое стекло, залитое жидкостью, становится прозрачным. Окончание испарения фиксируется по изменению цвета матового стекла на первоначальный (матовый). За время испарения принимают время от начала опыта (заливка жидкости).

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучение цели работы и сведений о необходимости получения данных о скоростях испарения ЛВЖ.

2. Ознакомление с лабораторной установкой и методикой проведения опытов.

3. Подготовка исходных данных и таблицы испытаний, которая должна включать основные параметры исходных данных и результатов, полученных в опыте (табл. 9.1).

Жидкость, принятая для опыта - \_\_\_\_\_

Площадь матового стекла \_\_\_\_\_

4. Подготовка поверхности стекла, на которое должна разливаться испытываемая жидкость (обезжиривание, протирка сухой тканью, выдержка 1-2 мин для просушивания).

**Таблица испытаний по определению скорости испарения ЛВЖ  
со свободной поверхности**

Параметры, фиксируемые при определении скорости испарения ЛВЖ	Номера опытов	
	1	2
Кол-во жидкости, разливаемой на поверхность матового стекла		
Площадь, занимаемая растекшейся жидкостью		
Время от начала испарения до окончания, Тс		

5. Проверка горизонтальности плоскости матового стекла.

6. Получение у руководителя работы испытуемой жидкости в небьющейся таре и заливка ее из мерной емкости на стекло с размерами 10×10 см ( $S=0,01 \text{ м}^2$ ), 15×15 см ( $S=0,0225 \text{ м}^2$ ), 17,3×17,3 см ( $S=0,03 \text{ м}^2$ ) (опыт проводится на одной из выбранных площадей).

7. Фиксация начала и окончания опыта.

### **ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ**

1. Перед выполнением работы (или комплекса работ) должен быть проведен инструктаж-обучение на рабочем месте и оформление его проведения в специальной ведомости или журнале инструктажей.

2. Каждый опыт проводится под контролем руководителя работ.

3. Количество ЛВЖ или ГЖ в опыте не должно превышать 30 мл.

4. Лабораторная установка для определения скорости испарения ЛВЖ должна иметь бортовые отсосы на 5-10 см ниже поверхности испарения.

5. В случае возникновения в процессе опыта нестандартной ситуации, ее ликвидация осуществляется руководителем работ, первым из этапов которой является удаление студентов из помещения, где проводятся опыты.

# ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ 9

## Определение скорости испарения горючих жидкостей с малых поверхностей

---

(шифр, группа, ф., и., о. студента)

Испытуемая жидкость \_\_\_\_\_

Удельный вес \_\_\_\_\_

Площадь испарения \_\_\_\_\_

Форма табл.

Время нача- ла опыта	Время окончания опыта	Продолжи- тельность испарения	Площадь поверхно- сти испарения	Кол-во залитой жидко- сти, л	Толщина слоя залитой жидко- сти, мм	Удельная скорость испаре- ния
1	2	3	4	5	6	7

Удельная скорость испарения при заданной площади опреде-  
ляется из выражения

$$W_{уд}^F = \frac{V \cdot j}{F \cdot \tau}, \text{ кг/с м}^2,$$

где  $V$  – количество залитой жидкости, л;

$j$  – удельный вес жидкости, кг/л;

$F$  – площадь испарения, м<sup>2</sup>;

$\tau$  – время испарения, с.

Масса вещества, поступившего при аварийном разливе

$$m = W_{уд}^F \cdot F \cdot \tau.$$

**Заключение**

---



---

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для какой цели необходимо определение удельной скорости испарения ЛВЖ и ГЖ с малых поверхностей?
2. В каких случаях помещения, в которых обращаются ЛВЖ и ГЖ, относятся к категории А, Б или В?
3. Для какой цели необходимо наличие данных о температуре вспышки жидкостей?
4. Как учитывается скорость испарения ЛВЖ или ГЖ при определении количества вещества, поступающего в помещение при аварии?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. НПБ 105-03. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
2. Никитин А.Г. и др. Авторское свидетельство № 577445 с приоритетом от 2 марта 1976 г. на изобретение «Способ определения удельной скорости испарения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей». Зарегистрировано в Госреестре изобретений СССР 28.06.77 г.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ»

Раздел «ОХРАНА ТРУДА»

Редактор *Н.А. Котова*  
Технический редактор *С.М. Сивоконева*  
Корректор *В.К. Чупрова*  
Компьютерная правка и верстка *О.В. Суховой*

Лицензия ЛР № 020675 от 09.12.1997 г.

---

Подписано в печать 23.03.2010 г.	Формат 60×84 1/16	Печать офсетная
И-337	Объем 8 п.л.	Т. 200
		Заказ 145

---

Московский государственный строительный университет.  
Типография МГСУ. 129337, Москва, Ярославское ш., 26

ДЛЯ ЗАМЕТОК

---