

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ОХРАНА ТРУДА.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов учреждений
высшего образования для группы специальностей
«Агроинженерия» и по специальности «Проектирование
и производство сельскохозяйственной техники»*

Минск
БГАТУ
2020

УДК 658.345(07)
ББК 65.246я7
О-92

Составители:

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой управления охраной труда *В. Г. Андруш*,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры *Л. Т. Ткачева*,
старший преподаватель *М. В. Бренч*,
старший преподаватель *Н. Н. Жаркова*,
старший преподаватель *С. А. Корчик*,
старший преподаватель *О. В. Абметко*

Рецензенты:

кафедра «Охрана труда» БНТУ
(доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой *А. М. Лазаренков*);
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
заведующий кафедрой безопасности
жизнедеятельности БГСХА *В. Н. Босак*

Охрана труда. Лабораторный практикум : учебное пособие /
О-92 сост.: В. Г. Андруш [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2020. – 176 с.
ISBN 978-985-25-0024-1.

Учебное пособие, содержащее краткие теоретические сведения, описание лабораторного оборудования, методику измерения параметров производственной среды, позволяет закрепить знания, полученные на теоретических занятиях по дисциплине «Охрана труда».

Для студентов группы специальностей 74 06 «Агроинженерия» и специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники», а также специальности 1-74 06 07 «Управление охраной труда»; для студентов технических, экономических и других специальностей и для специалистов по практической организации работ по охране труда.

УДК 658.345(07)
ББК 65.246я7

ISBN 978-985-25-0024-1

© БГАТУ, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Лабораторное занятие № 1 Исследование параметров микроклимата в производственных помещениях	5
Лабораторное занятие № 2 Определение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны	25
Лабораторное занятие № 3 Исследование запыленности воздуха в рабочей зоне производственных помещений.....	42
Лабораторное занятие № 4 Исследование эффективности местной вентиляции.....	55
Лабораторное занятие № 5 Исследование естественного и искусственного освещения производственных помещений.....	61
Лабораторное занятие № 6 Исследование светотехнических параметров электрических источников света.....	73
Лабораторное занятие № 7 Оценка шума и исследование эффективности средств по его уменьшению	89
Лабораторное занятие № 8 Исследование основных характеристик производственной вибрации и методов защиты.....	108
Лабораторное занятие № 9 Исследование опасности поражения электрическим током в трехфазных сетях напряжением 1000 В.....	124
Лабораторное занятие № 10 Определение параметров пожарной опасности жидкостей	149
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	160
ПРИЛОЖЕНИЯ	164

ВВЕДЕНИЕ

При изучении курсов «Охрана труда» и «Производственная санитария и гигиена труда в сельском хозяйстве» на технических факультетах, несмотря на всю важность социальных, юридических и организационных сторон этих курсов, на первый план выходит техническая сторона – изучение принципов действия, конструкции, методов использования различных технических средств и способов обеспечения безопасности и безвредности труда в сельскохозяйственном производстве, а также правил и санитарно-гигиенических норм, касающихся безопасности и безвредности труда.

Для лучшего усвоения указанных курсов действующими типовыми учебными программами предусмотрено выполнение лабораторных работ с целью приобретения студентами умений и практических навыков по выявлению и идентификации опасностей и оценке риска деятельности, проведению анализа и оценки влияния условий труда на травматизм и заболеваемость для принятия правильного решения в соответствии с обязанностями руководителя и специалиста.

В лабораторном практикуме изучаются экспериментальные методы оценки производственной обстановки (загрязнение воздушной среды, метеорологические условия, качество освещения, уровень шума и вибрации, безопасная эксплуатация оборудования, пожаровзрывоопасность веществ и материалов). Полученные экспериментальные данные используются для определения показателей защиты и других параметров, обеспечивающих производственную безопасность в соответствии с нормативными документами по охране труда.

Лабораторный практикум служит методическим руководством для проведения занятий в лаборатории кафедры. Описание каждого занятия построено таким образом, что вначале студент знакомится с целью и задачами занятия, основными теоретическими положениями, а затем с устройством и принципом действия экспериментальных установок и приборов, порядком выполнения экспериментов и методами нормирования и оценки полученных экспериментальных данных.

Лабораторное занятие № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Цель занятия: ознакомиться с приборами и методикой измерения параметров микроклимата на рабочих местах в производственных помещениях и провести оценку их соответствия гигиеническим нормативам.

Приборы и оборудование: ртутный термометр; комбинированный измеритель влажности и температуры ТКА-ПКМ; прибор ТКА-ПКМ/20; прибор АТТ-5015; аспирационный психрометр Ассмана; крыльчатый и чашечный анемометры; комбинированный прибор АТТ-1002; прибор ТКА-ПКМ (50).

Задачи занятия:

1. Ознакомиться с методическими указаниями.
2. Изучить устройство и принцип действия приборов для измерения параметров микроклимата.
3. Измерить параметры микроклимата в учебной аудитории по указанию преподавателя.
4. Проанализировать результаты измерений, сделать выводы о соответствии значений санитарно-гигиеническим нормам.
5. Подготовить отчет по работе и защитить его у преподавателя.

1. Общие положения

Показателями, характеризующими микроклимат в производственных и офисных помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения;
- тепловая нагрузка среды.

Метеорологические факторы, как каждый в отдельности, так и в различных сочетаниях, оказывают существенное влияние на функциональную деятельность организма человека, его самочувствие и здоровье.

Температура воздуха – параметр, отражающий его тепловое состояние. Температура воздуха характеризуется кинетической энергией движения молекул газов воздуха и измеряется в градусах Цельсия (°C).

Влажность воздуха – параметр, отражающий содержание в воздухе водяных паров. *Абсолютной влажностью* называется плотность водяного пара в воздухе ($\text{г}/\text{м}^3$); *максимальной влажностью* – максимально возможная плотность водяных паров при данной температуре; *относительной влажностью* ϕ (%) – отношение абсолютной влажности к максимальной при одинаковых температуре и давлении.

Движение воздуха в рабочей зоне может быть вызвано неравномерным нагревом воздушных масс, действием вентиляционных систем или технологического оборудования. Единица измерения скорости перемещения воздуха в рабочей зоне – м/с.

Атмосферное давление характеризуется интенсивностью силы тяжести вышестоящего столба воздуха на единицу поверхности (Па или мм рт. ст.).

Тепловое (инфракрасное) излучение ($\text{Вт}/\text{м}^2$) возникает в диапазоне волн 1–780 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$). Его источники – солнце, нагретые поверхности оборудования, открытое пламя, электрическая дуга и др.

Для оценки сочетанного действия параметров микроклимата (температура, влажность, скорость движения воздуха, тепловое облучение) в целях осуществления мероприятий по защите работников от возможного перегревания допускается использовать значения интегрального показателя тепловой нагрузки среды (ТНС-индекса), выраженного одночисловым показателем (°C), измерение и оценка которого аналогичны методам измерения и контроля температуры воздуха.

ТНС-индекс следует использовать для интегральной оценки тепловой нагрузки среды на рабочих местах, где скорость движения воздуха не превышает 0,6 м/с, а интенсивность теплового облучения менее $1200 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Нормирование параметров воздуха в рабочей зоне определяется ГОСТ 12.1.005–88 «Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», Санитарными нормами и правилами «Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях», Гигиеническим нормативом «Показатели микроклимата производственных и офисных помещений». Данные нормативные документы

устанавливают оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности, скорости движения воздуха с учетом тяжести выполняемой работы и периодов года.

Допустимые значения параметров микроклимата – минимальные или максимальные значения микроклиматических показателей, установленных по критериям теплового состояния человека на период 8-часовой рабочей смены и не вызывающих повреждений или нарушений состояния здоровья, но способных привести к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности к концу смены.

Оптимальные значения параметров микроклимата – значения микроклиматических показателей, установленные по критериям оптимального теплового состояния человека, обеспечивающие общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывающие отклонений в состоянии здоровья, создающие предпосылки для высокого уровня работоспособности и являющиеся предпочтительными на рабочих местах.

Теплый период года – промежуток времени, характеризующийся среднесуточной температурой наружного воздуха выше +10 °С, а **холодный период года** – среднесуточной температурой наружного воздуха +10 °С и ниже.

Категории работ разграничиваются на основе интенсивности общих энергозатрат организма (Вт):

– **категория Ia** – работы интенсивностью энергозатрат до 139 Вт, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением;

– **категория Ib** – работы интенсивностью энергозатрат 140–174 Вт, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением;

– **категория IIa** – работы интенсивностью энергозатрат 175–232 Вт, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения;

– **категория IIб** – работы интенсивностью энергозатрат 223–290 Вт, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением;

– категория III – работы интенсивностью энергозатрат более 290 Вт, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие значительных физических усилий.

2. Нормирование параметров микроклимата

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в табл. 1.1, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

Таблица 1.1

Оптимальные значения параметров микроклимата на рабочих местах производственных и офисных помещений (при относительной влажности воздуха 40–60 %)

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iа	22–24	21–25	0,1
	Iб	21–23	20–24	0,1
	IIа	19–21	18–22	0,2
	IIб	17–19	16–20	0,2
	III	16–18	15–19	0,3
Теплый	Iа	23–25	22–26	0,1
	Iб	22–24	21–25	0,1
	IIа	20–22	19–23	0,2
	IIб	19–21	18–22	0,2
	III	18–20	17–21	0,3

Оптимальные значения параметров микроклимата в холодный и теплый периоды года необходимо соблюдать на рабочих местах производственных и офисных помещений, на которых выполняются работы, связанные с нервно-эмоциональным напряжением работника.

Перепады температуры воздуха по вертикали и по горизонтали, а также изменение температуры воздуха в течение смены при обеспе-

чении оптимальных величин параметров микроклимата на рабочих местах не должны превышать 2 °С и выходить за пределы величин для отдельных категорий работ, указанных в табл. 1.1 Гигиенического норматива.

Допустимые значения параметров микроклимата, воздействующие на работника непрерывно или суммарно за рабочую смену, в холодный и теплый периоды года устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные значения параметров микроклимата.

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 1.2, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

Таблица 1.2

Допустимые значения параметров микроклимата
на рабочих местах производственных и офисных помещений
(при относительной влажности воздуха 15–75 %)

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхности, °С	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин		для диапазона температуры воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температуры воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Ia	20,0–21,9	24,1–25,0	19,0–26,0	0,1	0,1
	Iб	19,0–20,9	23,1–24,0	18,0–25,0	0,1	0,2
	IIa	17,0–18,9	21,1–23,0	16,0–24,0	0,1	0,4
	IIб	15,0–16,9	19,1–22,0	14,0–23,0	0,2	0,3
	III	13,0–15,9	18,1–21,0	12,0–22,0	0,2	0,4
Теплый	Ia	21,0–22,9	25,1–28,0	20,0–29,0	0,1	0,2
	Iб	20,0–21,9	24,1–28,0	19,0–28,0	0,1	0,3
	IIa	18,0–19,9	22,1–27,0	17,0–28,0	0,1	0,4
	IIб	16,0–17,9	21,1–27,0	15,0–28,0	0,2	0,5
	III	15,0–16,9	20,1–26,0	14,0–27,0	0,2	0,5

Показатели скорости движения воздуха и относительной влажности при температуре воздуха, превышающей допустимые (см. табл. 1.2), должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 1.3 и 1.4.

Таблица 1.3

Допустимые значения перепада температуры воздуха в течение смены по горизонтали в зависимости от категории энергозатрат работы

Категория работы	Перепад температуры, °С, не более
Ia и Ib	4
IIa и IIб	5
III	6

Таблица 1.4

Допустимые значения диапазона скорости движения воздуха в зависимости от категории энергозатрат работы (при температуре воздуха на рабочих местах в пределах от 26 до 28 °С)

Категория работы	Скорость движения воздуха, м/с
Ia	0,1–0,2
Iб	0,1–0,3
IIa	0,2–0,4
IIб и III	0,2–0,5

Максимально допустимые величины относительной влажности воздуха не должны выходить за пределы: 70 % при температуре воздуха 25 °С; 65 % – при 26 °С; 60 % – при 27 °С; 55 % – при 28 °С.

Температура наружных поверхностей технологического оборудования, ограждающих устройств, с которыми соприкасается работник, не должна превышать 45 °С.

Допустимые значения интенсивности теплового облучения работников от производственных источников должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела от производственных источников

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

При облучении не более 25 % поверхности тела работающих от источников излучения, нагретых до красного и белого свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.), допустимые величины интенсивности теплового облучения не должны превышать 140 Вт/м²; использование средств индивидуальной защиты, в т. ч. средств защиты лица и глаз, является обязательным.

3. Требования к организации работы при температуре воздуха выше или ниже допустимых величин

При температуре воздуха выше или ниже допустимых величин наниматель должен принимать не только меры защиты от воздействия температуры воздуха, но и меры организационного характера по регулированию времени пребывания работников в этих условиях в соответствии с табл. 1.6 и 1.7.

При температуре воздуха выше или ниже допустимых значений относительная влажность, скорость движения воздуха, интенсивность теплового облучения на рабочих местах должны соответствовать допустимым значениям, приведенным в табл. 1.2 и 1.5, в зависимости от категории работ.

Таблица 1.6

Предельное время пребывания работника на рабочем месте, ч,
при температуре воздуха выше допустимых величин

Температура воздуха на рабочем месте, °С	Категории работ		
	Ia–Iб	IIa–IIб	III
32,5	1	–	–
32,0	2	–	–
31,5	2,5	1	–
31,0	3	2	–
30,5	4	2,5	1
30,0	5	3	2
29,5	5,5	4	2,5
29,0	6	5	3
28,5	7	5,5	4
28,0	8	6	5
27,5	–	7	5,5
27,0	–	8	6
26,5	–	–	7
26,0	–	–	8

Таблица 1.7

Предельное время пребывания работника на рабочем месте, ч,
при температуре воздуха ниже допустимых величин

Температура воздуха на рабочем месте, °С	Категории работ				
	Ia	Iб	IIa	IIб	III
6	–	–	–	–	1
7	–	–	–	–	2
8	–	–	–	1	3
9	–	–	–	2	4
10	–	–	1	3	5
11	–	–	2	4	6
12	–	1	3	5	7
13	1	2	4	6	8
14	2	3	5	7	–
15	3	4	6	8	–
16	4	5	7	–	–
17	5	6	8	–	–
18	6	7	–	–	–
19	7	8	–	–	–
20	8	–	–	–	–

Значения температуры воздуха для санитарно-бытовых помещений в холодный период года должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 1.8.

Таблица 1.8

Допустимая температура воздуха в санитарно-бытовых помещениях
производственных и офисных помещений в холодный период года

Тип помещения	Температура, °С
Помещения для отдыха, обогрева	22
Помещения для личной гигиены женщин	23

4. Требования к организации контроля и методам измерения значений показателей микроклимата в производственных и офисных помещениях

Контроль состояния показателей микроклимата рабочих мест в производственных помещениях должен быть организован в соответствии с Санитарными нормами и правилами «Требования к условиям

труда работающих и содержанию производственных объектов» (постановление Министерства здравоохранения от 08.07.2016 г. № 85), а также Санитарными нормами и правилами «Требования к организациям, осуществляющим сельскохозяйственную деятельность» (постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 08.02.2016 г. № 16).

Измерения показателей микроклимата в целях контроля их соответствия требованиям должны проводиться 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 и функционированием технологического и санитарно-технического оборудования.

Измерения показателей микроклимата следует проводить не менее 3 раз в смену (в начале, середине и конце). При колебаниях показателей микроклимата, связанных с технологическими и другими причинами, необходимо проводить дополнительные измерения при наибольших и наименьших величинах термических нагрузок на работающих.

Измерения следует проводить на рабочем месте. Если рабочим местом являются несколько участков (зон) производственного или офисного помещения, то измерения проводятся на каждом из них.

При работах, выполняемых сидя, температуру и скорость движения воздуха следует измерять на высоте 0,1 и 1,0 м, а относительную влажность воздуха – на высоте 1,0 м от пола или рабочей площадки. При работах, выполняемых стоя, температуру и скорость движения воздуха следует измерять на высоте 0,1 и 1,5 м, а относительную влажность воздуха – на высоте 1,5 м.

При наличии источников лучистого тепла тепловое облучение на рабочем месте необходимо измерять от каждого источника, располагая приемник прибора перпендикулярно падающему потоку. Измерения следует проводить на высоте 0,5; 1,0; 1,5 м от пола или рабочей площадки.

Скорость движения воздуха может измеряться анемометрами механического типа действия (крыльчатые, чашечные). Малые величины

скорости движения воздуха, особенно при наличии разнонаправленных воздушных потоков в точке замера, следует измерять термоанемометрами (начиная с 0,1 м/с). Допускается использование также цилиндрических или шаровых кататермометров при защите их от прямого теплового излучения.

Температура поверхностей должна измеряться контактными (электротермометры) или дистанционными (пирометры) приборами.

Интенсивность теплового облучения следует измерять приборами, обеспечивающими угол видимости датчика, близкий к полусфере (не менее 160°), и чувствительными в инфракрасной и видимой области спектра (актинометры, радиометры).

Все оборудование, используемое для измерения показателей микроклимата, должно проходить метрологическую поверку в соответствии с законодательством Республики Беларусь.

По результатам исследования составляется протокол измерений показателей микроклимата.

В помещениях с большой плотностью рабочих мест при отсутствии источников локального тепловыделения, охлаждения или влаговыведения температуру, относительную влажность и скорость движения воздуха измеряют равномерно по всему помещению.

5. Приборы и оборудование

Измерение температуры воздуха

Наиболее распространенными приборами для измерения температуры воздуха являются обычные ртутные и спиртовые термометры, термографы (самопишущие) и электронные термометры.

При измерении температуры выше 0 °С следует пользоваться *ртутными* термометрами, т. к. ртуть при нагревании расширяется равномерно, а спирт – неравномерно. Для измерения низких температур необходимо пользоваться *спиртовыми* термометрами, т. к. при температуре ниже –39 °С ртуть замерзает.

При измерении температуры в каждой точке следует произвести два одинаковых отсчета через 5–7 мин. Термометр при этом необходимо держать за верхнюю часть на максимальном удалении от себя.

Для установления наибольшей или наименьшей температуры воздуха в тот или иной период времени пользуются *максимальными* (ТМ-1) или *минимальными* (ТМ-2) термометрами.

Измерение относительной влажности воздуха

Для измерения влажности воздуха используются психрометры, электронные измерители влажности и температуры ТКА-ПКМ (модель 20) и АТТ-5015, гигрометры и гигрографы.

Принцип действия *аспирационного психрометра Ассмана МВ-4ЛА* основан на нахождении разности показаний сухого и смоченного термометров в зависимости от температуры окружающего воздуха (рис. 1.1).

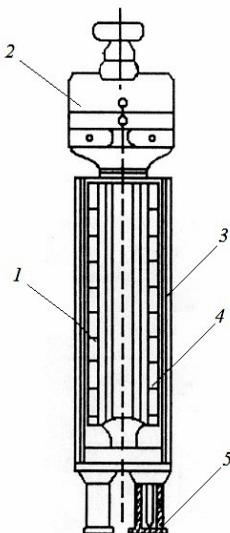


Рис. 1.1. Устройство аспирационного психрометра Ассмана:
1 – сухой термометр; 2 – вентиляторная головка; 3 – воздушный канал;
4 – влажный термометр; 5 – увлажненная ткань

Прибор состоит из двух одинаковых ртутных термометров с ценой деления $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Резервуары термометров имеют двойную трубчатую защиту от тепловых излучений. В рубашке резервуаров термометров вентилятором прибора обеспечивается постоянная скорость воздушного потока, равная $0,2\text{ м/с}$. При измерении резервуар правого термометра обертывается батистом (в один слой) и смачивается чистой дистиллированной или снеговой водой при помощи резиновой груши с пипеткой. Вентилятор прибора нужно заводить почти до отказа, но осторожно, чтобы не сорвать пружину. Отсчет по термометрам производят на четвертой минуте после пуска вентилятора.

В практике относительную влажность определяют с помощью психрометрических таблиц, номограмм или психрометрического графика (рис. 1.2).

На психрометрическом графике по вертикальным линиям откладывают значения сухого термометра, а по наклонным – влажного. Значение относительной влажности воздуха находят в точке пересечения этих линий.

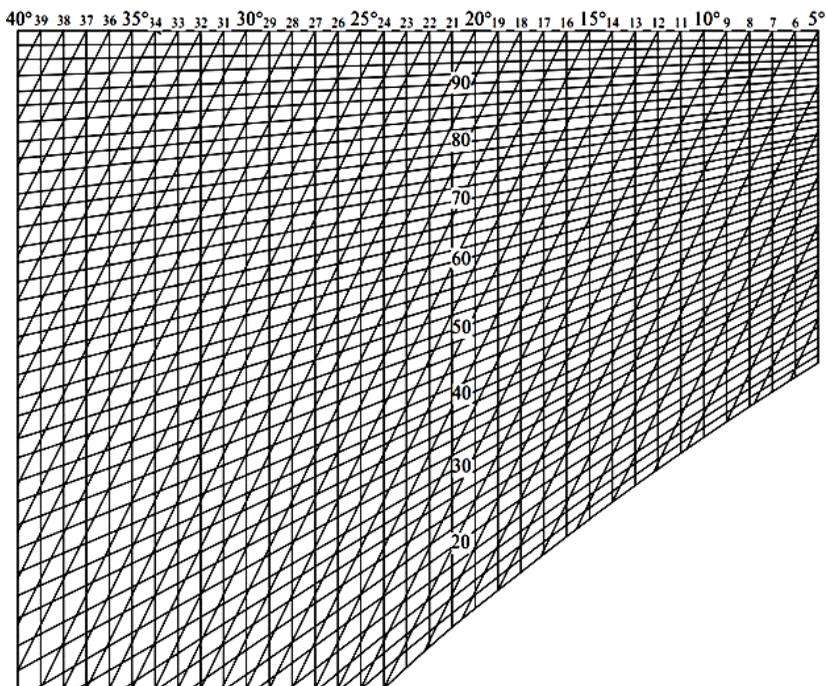


Рис. 1.2. Психрометрический график

Комбинированный измеритель влажности и температуры ТКА-ПКМ (модель 20) конструктивно выполнен в виде двух функциональных блоков: блока обработки сигналов 1 (рис. 1.3) и измерительной головки 3, соединенных между собой кабелем связи 2.

На лицевой стороне корпуса прибора расположены жидкокристаллический индикатор и переключатель каналов измерений. Зонд с датчиками относительной влажности и температуры воздуха установлен на верхней торцевой крышке корпуса измерительной головки.



Рис. 1.3. Общий вид прибора ТКА-ПКМ/20:
1 – блок обработки сигналов; 2 – кабель связи;
3 – измерительная головка; 4 – защитный колпачок

Порядок работы с прибором:

1. Снять защитный колпачок с зонда 4, поместить прибор в зону измерений.
2. Поворотом переключателя выбрать нужный параметр, считать с дисплея измеренное значение.
3. По окончании измерений выключить прибор и надеть на зонд защитный колпачок.

Измеритель влажности и температуры АТТ-5015 конструктивно выполнен в виде двух функциональных блоков: прибора и датчика для измерения влажности и температуры, соединенных кабелем связи (рис. 1.4).

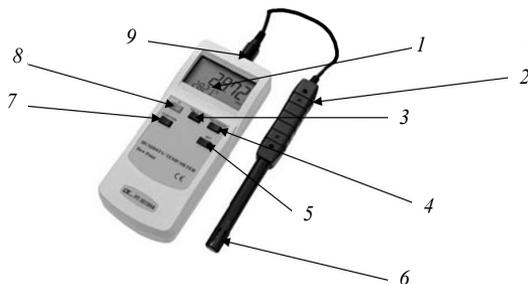


Рис. 1.4. Общий вид прибора АТТ-5015:
1 – дисплей; 2 – ручка датчика; 3 – кнопка включения режима удержания текущего показания «HOLD»/кнопка выхода «ESC»; 4 – кнопка включения режима записи максимального или минимального значений «REC»/кнопка ввода «ENTER»; 5 – кнопка установки «SET»; 6 – сенсор датчика; 7 – кнопка выбора функции «FUNCTION»; 8 – кнопка включения/выключения питания «POWER»; 9 – входной разъем для подключения датчика измерителя влажности и температуры

Порядок работы с прибором:

1. Подсоединить датчик для измерения влажности и температуры к соответствующему разъему прибора 2.

2. Включить прибор, нажав на кнопку «POWER» 8. На экране прибора появятся символы «% RH» и «°C» и результат измерения (в верхней части – влажность, в нижней – значение температуры). Согласно настройкам по умолчанию прибор отображает значения температуры в градусах Цельсия, а относительной влажности – в процентах.

Измерение скорости движения воздуха

Для измерения скорости движения воздуха применяют крыльчатые и чашечные анемометры, комбинированный портативный прибор АТТ-1002 и термоанемометр ТКА-ПК (модель 50).

При замерах скоростей движения воздуха в диапазоне 0,5–10 м/с применяют *крыльчатые анемометры* (рис. 1.5, а). Приемная часть анемометра представляет собой легкую крыльчатку, посаженную на полочервячную ось, внутри которой натянута стальная струна, служащая осью крыльчатки. Вращение крыльчатки посредством зубчатой передачи редуктора передается на стрелки прибора. Включение и выключение механизма производится арретиром.

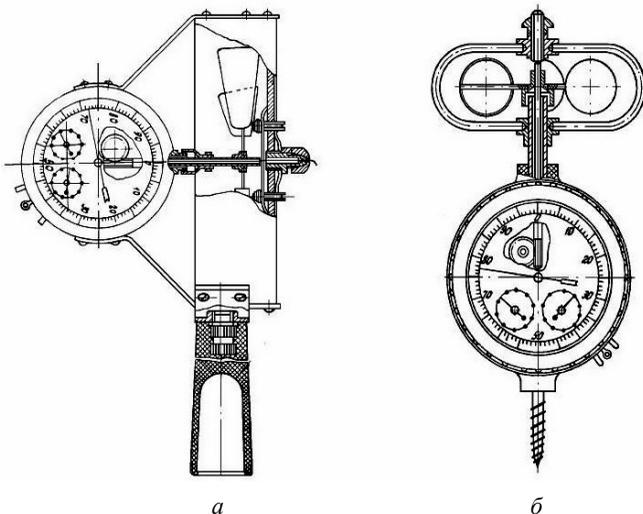


Рис. 1.5. Крыльчатый (а) и чашечный (б) анемометры

Чашечные анемометры (рис. 1.5, б) применяют при замерах больших скоростей (до 20 м/с) и в условиях часто меняющихся направлений или турбулентных движений воздуха.

При проведении измерений записывают первоначальные показания стрелок по всем шкалам. Через 10–20 с после начала вращения крыльчатки с постоянной скоростью включаются одновременно счетчик прибора и секундомер. По секундомеру отмечается начало пуска и время измерения. Для удобства расчетов продолжительность каждого измерения составляет 100 или 150 с. После этого счетчик и секундомер выключают и записывают их конечные показания. Измерения повторяют 3–4 раза, т. к. их точность зависит от точности совпадения времени включения анемометра и секундомера.

Скорость движения воздуха, м/с, определяется по горизонтальной оси калибровочных графиков приборов (рис. 1.6), где вертикальная ось – число делений в 1 с.

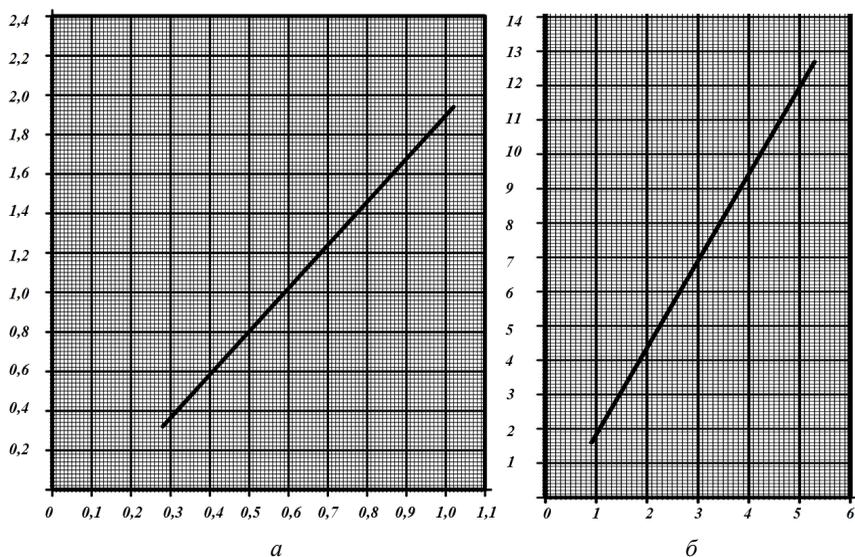


Рис. 1.6. Графики перевода показаний счетчика крыльчатого (а) и чашечного (б) анемометров в показания скорости движения воздуха

Комбинированный прибор АТТ-1002 конструктивно выполнен в виде двух функциональных блоков – основного блока и выносного зонда, соединенных кабелем связи.

Порядок работы с прибором при измерении скорости воздушного потока:

1. Установить переключатель «OFF/ON/HOLD» 3 (рис. 1.7) в положение «ON».
2. Установить переключатель режимов измерений 5 в положение «ANEMOMETER».
3. Установить переключатель 2 в положение, соответствующее требуемой единице измерения скорости воздушного потока: «m/s», «km/h», «f/min» или «knots/temp».
4. Взять рукоятку выносного зонда 1 и направить его головку навстречу измеряемому воздушному потоку. На дисплее отобразится измеренное значение скорости воздушного потока.
5. Для сохранения на дисплее измеренного значения установить переключатель «OFF/ON/HOLD» 3 в положение «HOLD».



Рис. 1.7. Общий вид прибора АТТ-1002:

- 1 – выносной зонд; 2 – переключатель единиц измерения («m/s», «km/h», «f/min», «knots/temp»); 3 – переключатель «OF/ON/HOLD»; 4 – жидкокристаллический дисплей; 5 – переключатель режимов измерений («ANEMOMETER/°C/°F»); 6 – крышка отсека батареи питания; 7 – рукоятка выносного зонда

Порядок работы с прибором при измерении температуры:

1. Установить переключатель «OFF/ON/HOLD» 3 в положение «ON».
2. Установить переключатель режимов измерений 5 в положение «°C» или «°F». Установить переключатель единиц измерений 2 в положение «knots/temp».

3. Датчик температуры установлен в центре головки выносного зонда 1. Для измерения температуры необходимо направить головку выносного зонда навстречу воздушному потоку. Измеренное значение температуры воздуха будет отображаться на дисплее.

4. Для сохранения на дисплее измеренного значения установить переключатель «OFF/ON/HOLD» 3 в положение «HOLD».

Термоанемометр ТКА-ПКМ (модель 50) конструктивно выполнен в виде двух функциональных блоков: блока обработки сигналов 8 (рис. 1.8) и измерительной головки 2, соединенных кабелем связи.

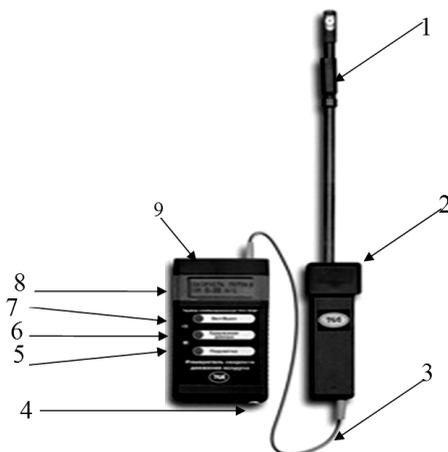


Рис. 1.8. Общий вид прибора ТКА-ПКМ (50):

- 1 – защитный колпачок; 2 – измерительная головка;
3 – кабель связи; 4 – разъем зарядного устройства; 5 – подсветка;
6 – переключатель режимов измерения «РЕЖИМ»; 7 – переключатель «ВКЛ./ВЫКЛ.»; 8 – блок обработки сигналов; 9 – разъем RS232

Порядок работы с прибором:

1. Включить прибор. На дисплее появится значение напряжения питания и обратный отчет (30 с), по окончании которого прибор готов к работе.

2. Сдвинуть вниз защитный колпачок, поместить зонд с датчиками в зону измерения и считать с дисплея измеренное значение. Немного изменяя положение измерительной головки поворотом вокруг осей, добиться максимальных показаний.

3. При нажатии на кнопку «РЕЖИМ» на экране фиксируются текущие показания (режим «HOLD») и запускается таймер, отсчитывающий 100 с. При этом прибор не перестает измерять скорость движения воздуха, регистрируя значения скоростей без вывода на экран.

По окончании отсчета на экране отображается усредненная величина измеренной за этот период скорости движения воздуха v_{cp} , м/с.

Отсчет можно прервать повторным нажатием на кнопку «РЕЖИМ» – прибор перейдет в режим обычных измерений.

4. По окончании измерений выключить прибор и надвинуть на головку с датчиками защитный колпачок.

6. Порядок выполнения работы

В учебной аудитории количество участков для измерения параметров микроклимата (в соответствии с требованиями к организации контроля микроклимата) принимается равным 4. Работы выполняются студентами как сидя, так и стоя, поэтому температура, относительная влажность и скорость движения воздуха измеряются на высоте 0,1 и 1,5 м от пола.

1. Определить температуру воздуха на рабочем месте, результаты измерений записать в табл. 1.9.

Таблица 1.9

Температура воздуха на рабочем месте

Высота замера, м	Точка замера				Среднее значение температуры на различных высотах, °С	Общее среднее значение температуры, °С
	1	2	3	4		
1,5						
0,1						

2. Определить относительную влажность воздуха с помощью психрометра Ассмана, электронного комбинированного прибора ТКА-ПКМ (модель 20) и измерителя влажности и температуры АТТ-5015. Результаты измерений записать в табл. 1.10.

3. Определить скорость движения воздуха чашечным и крыльчатим анемометрами, анемометром АТТ-1002 и термоанемометром ТКА-ПК (модель 50). Условия для проведения замеров (сквозняк) создать искусственно – открытием окна и двери в учебную аудиторию. Данные записать в табл. 1.11 и сравнить показания по всем приборам.

Таблица 1.10

Относительная влажность воздуха рабочей зоны

Номер замера	Показания термометров психрометра Ассмана, °С		Относительная влажность воздуха, %		
	влажного	сухого	по психрометру Ассмана	по прибору ТКА-ПКМ	по прибору АТТ-5015
1					
2					
3					

Таблица 1.11

Значения скорости движения воздуха по анемометрам

Приборы	Показания анемометра		Разность отсчетов	Время экспозиции, с	Число делений счетчика в 1 с	Скорость движения воздуха, м/с	Среднее значение скорости движения воздуха на рабочем месте, м/с
	до замера	после замера					
Чашечный анемометр							
Крыльчатый анемометр							
Анемометр АТТ-1002	—	—	—	—	—		
Термоанемометр ТКА-ПК	—	—	—	—	—		

4. Внести в табл. 1.12 фактические значения параметров микроклимата, а также оптимальные и допустимые их параметры по ГОСТ 12.1.005–88 (табл. 1.1 и 1.2).

Таблица 1.12

Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Категория выполняемой работы _____ Период года _____

Параметры микроклимата	Замеренное значение	Значения по СанПиН	
		оптимальное	допустимое
Температура, °С			
Относительная влажность, %			
Скорость движения воздуха, м/с			

Контрольные вопросы по теме занятия

1. Какие факторы определяют микроклимат? Как они влияют на организм человека?
2. При каких условиях работы организм человека выделяет тепло? В каком количестве?
3. Какими нормативными документами регламентируются оптимальные и допустимые параметры микроклимата? Какие факторы влияют на их изменение?
4. В чем разница между абсолютной и относительной влажностью воздуха?
5. Какие приборы используются для измерения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха?
6. Показания какого термометра больше: сухого или влажного? Могут ли их показания быть равными?
7. В чем состоит принцип действия чашечного и крыльчатого анемометров?
8. Что такое оптимальные микроклиматические условия? Чем они отличаются от допустимых?

Лабораторное занятие № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Цель занятия: ознакомиться с требованиями, предъявляемыми к качеству воздуха рабочей зоны, методами и приборами газового анализа; выполнить практические замеры концентрации газов и паров в воздухе рабочей зоны и сравнить их с санитарными нормами.

Приборы и оборудование: газоанализатор УГ-2, аспиратор насос-пробоотборник НП-3М.

Задачи занятия:

1. Изучить методические указания по выполнению работы.
2. Ознакомиться с методикой контроля концентрации газов в воздухе, устройством приборов.
3. Изучить индивидуальные средства защиты органов дыхания работающих от вредных газов.
4. Определить концентрацию вредных веществ (по выбору преподавателя) универсальным газоанализатором УГ-2, аспиратором насосом-пробоотборником НП-3М.
5. Подготовить отчет по работе и защитить его у преподавателя.

1. Общие положения

Многие технологические процессы в сельскохозяйственном производстве связаны с применением или выделением токсичных газов или паров, загрязняющих воздух рабочей зоны.

Пары и газы, возникающие в производственном процессе и при хранении химических веществ, могут проникать в организм человека через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, неповрежденную кожу и воздействовать на его ткани и биохимические системы, вызывая нарушения процессов нормальной жизнедеятельности. В связи с этим своевременное обнаружение вредных веществ в воздухе и защита от них имеют большое значение для обеспечения безопасной и безвредной работы.

Степень поражения зависит от концентрации веществ, их свойств и степени защиты работающих. Различают общетоксическое, раздражающее, сенсibiliзирующее, канцерогенное и мутагенное действие

вредных веществ. Многие вещества оказывают влияние на репродуктивную функцию мужчин и женщин.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) токсичных веществ приведена в Санитарных нормах и правилах «Требования к контролю воздуха рабочей зоны», Гигиенических нормативах «Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны», «Ориентировочные безопасные уровни воздействия вредных веществ в воздухе рабочей зоны», «Предельно допустимые уровни загрязнения кожных покровов вредными веществами» (постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 11.10.2017 г. № 92).

К числу мероприятий по снижению концентрации газов и паров в воздухе рабочей зоны относятся:

- механизация, автоматизация и герметизация технологических процессов;
- устройство местной вентиляции;
- устройство общей вентиляции.

Одна из наиболее эффективных и доступных мер защиты человека от воздействия вредных веществ – устройство механической вентиляции производственных помещений. Ее основное назначение – полное удаление вредных веществ из рабочей зоны или разбавление их концентрации до безопасной величины, т. е. до уровня, не превышающего ПДК.

ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны – концентрация вредного вещества, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч и не более 40 ч в неделю в течение всего рабочего стажа не должна вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать ПДК и подлежит систематическому контролю для предупреждения возможности их превышения.

Ориентировочный безопасный уровень воздействия (ОБУВ) – временный гигиенический норматив содержания вредного вещества в воздухе рабочей зоны, устанавливаемый по экспериментальным данным путем расчета по параметрам токсикометрии и физико-химическим свойствам, использующийся для количественной оценки содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны

на этапе опытных и полужаводских установок (производств), которая может быть пересмотрена, заменена предельно допустимой концентрацией либо отменена в зависимости от перспективы применения вредного вещества и его токсических свойств.

По степени воздействия на организм вредные вещества подразделяются на четыре класса опасности:

- 1-й – чрезвычайно опасные;
- 2-й – высокоопасные;
- 3-й – умеренно опасные;
- 4-й – малоопасные.

Класс опасности веществ устанавливают в зависимости от норм и показателей: ПДК в воздухе рабочей зоны; средняя смертельная доза при введении в желудок, при нанесении на кожу (мг/кг); средняя смертельная концентрация в воздухе (мг/м³) и др.

Предельно допустимое содержание некоторых вредных веществ в воздухе рабочей зоны представлено в табл. 2.1.

Таблица 2.1

ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Вещество	Величина ПДК, мг/м ³	Класс опасности
1. Ангидрид сернистый (SO ₂)	10	3
2. Ацетон (CH ₃ COCH ₃)	200	4
3. Аммиак (NH ₃)	20	4
4. Бензин (растворитель топливный) (СН)	100	4
5. Бензол (С ₆ Н ₆)	15/5	2
6. Оксид углерода	20	4
7. Хлор	1	2
8. Керосин (С _n Н _n)	300	4
9. Кислота соляная (HCl)	5	2
10. Кислота серная (H ₂ SO ₄)	1	2
11. Сероводород (H ₂ S)	10	2
12. Сероуглерод (CS ₂)	1	3
13. Металлическая ртуть (Hg)	0,01/0,0015	1
14. Азота оксиды (в пересчете на NO ₂)	5	3

Периодичность контроля содержания вредных веществ (кроме вредных веществ с однонаправленным механизмом действия) устанавливается в зависимости от класса опасности вредного вещества.

Периодичность контроля воздуха рабочей зоны определяется в зависимости от класса опасности вредного вещества, характера технологического процесса, результатов производственного контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны и устанавливается в следующем порядке:

– один раз в год в случаях, когда интенсивность выделения в воздушную среду вредных веществ III и IV классов опасности сохраняется на протяжении двух последних лет (по данным лабораторных исследований) на уровне и ниже ПДК или ОБУВ;

– один раз в полугодие в случаях имеющихся превышений ПДК или ОБУВ вредных веществ III и IV классов опасности в предшествующем году, а также в первые два года проведения в организации производственного контроля;

– один раз в полугодие при стабильной регистрации в воздухе рабочей зоны содержания вредных веществ I и II классов опасности на уровне и ниже ПДК или ОБУВ за два последних года;

– один раз в квартал в случаях имеющихся превышений ПДК или ОБУВ в воздухе рабочей зоны вредных веществ I и II классов опасности в предшествующем году, а также в первые два года проведения в организации производственного контроля.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ разнонаправленного действия ПДК остаются такими же, как и при изолированном воздействии.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия сумма отношений фактической концентрации каждого из них ($K_1, K_2 \dots K_n$) не должна превышать единицы:

$$\frac{K_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{K_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{K_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1.$$

Значения ПДК распространяются на воздух рабочей зоны всех рабочих мест независимо от их расположения (в производственных помещениях, на открытых площадках, транспортных средствах и т. д.).

Наличие и концентрацию вредных паров и газов в воздухе рабочей зоны определяют лабораторным, экспрессным и автоматическим методами.

Лабораторный метод основан на отборе и исследовании проб воздуха с помощью лабораторных приборов (хроматографов, спектрографов и др). Метод дает точный и комплексный результат, но является трудоемким.

Наиболее простой и быстрый метод – *экспрессный*. Он основан на быстропротекающих химических реакциях с изменением цвета реактивов.

Для *автоматического* непрерывного контроля содержания вредных веществ однонаправленного действия используются быстродействующие и малоинерционные газоанализаторы с сигнализацией о превышении ПДК.

Для определения содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны отбор проб должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях с учетом основных технологических процессов, источников выделения вредных веществ и функционирования технологического оборудования.

При полной гигиенической оценке воздушной среды определяется фактическое содержание пыли, вредных газов и паров.

2. Средства индивидуальной защиты органов дыхания работающих от вредных газов

При интенсивном поступлении вредных газов и паров в воздух рабочей зоны в количествах, превышающих ПДК, следует применять средства индивидуальной защиты (СИЗ): противогазы, респираторы, фильтрующие самоспасатели.

Промышленные фильтрующие противогазы предназначены для защиты органов дыхания, глаз и лица человека от вредных газов и парообразных веществ и аэрозолей, присутствующих в воздухе рабочей зоны.

В комплект фильтрующего промышленного противогаза (ПП) входят лицевая часть (шлем-маска), фильтрующая клапанная коробка и, в некоторых конструкциях, гофрированная трубка. Поглощающие и фильтрующе-поглощающие коробки выпускаются различных марок в зависимости от веществ, для защиты от которых они предназначены.

В зависимости от класса и степени защиты противогазы комплектуют различными видами лицевых масок, а фильтрующие – также фильтрующими коробками. Существует множество разновидностей лицевых масок противогазов (МАГ, ППМ-88, ШМП, МГП и др.).

Фильтрующие коробки противогаза отличаются по типу фильтра (ему соответствует определенная марка) и классу защиты.

Существуют следующие типы фильтров:

А – для защиты от органических газов и паров с температурой кипения свыше 65 °С;

В – от неорганических газов и паров, за исключением окиси углерода;

Е – от диоксида серы и других кислых газов;

К – от аммиака и его органических производных;

АХ – от органических газов и паров с температурой кипения не более 65 °С;

СХ – от определенных газов и паров, установленных изготовителем, в т. ч. от монооксида углерода (СО).

Противогазовые фильтры, входящие в состав комбинированных фильтров специальной марки NOP3, защищают от оксидов азота, а входящие в состав комбинированных фильтров марки HgP3 – от паров ртути. Указанные фильтры должны включать противоаэрозольный фильтр P3 и могут входить в сочетание противогазовых фильтров различных марок.

В зависимости от эффективности фильтрации газов и паров противогазовые фильтры марок А, В, Е, К подразделяют на следующие классы:

1-й – имеют низкий защитный эффект, т. к. защищают только от крупной пыли;

2-й – средняя степень защиты; применяются в первую очередь при пожарах, но не всегда надежно защищают от некоторых особо токсичных продуктов горения;

3-й – высокая степень защиты; отфильтровывают мелкодисперсные взвеси, туман, пыль, бактерии и вирусы.

Противогазовые и комбинированные фильтры более высокого класса включают уровень защиты, обеспечиваемый противогазовыми и комбинированным фильтрами более низкого класса.

Противогазовые фильтры марок АХ и СХ и специальных марок не классифицируют по эффективности фильтрации.

Маркировка фильтрующих коробок должна содержать марку, класс и цветовую маркировку фильтра в соответствии с табл. 2.2.

Маркировка противогазовых фильтров

Марка фильтра	Класс фильтра	Цветовой код
A	1, 2 или 3	Коричневый
B	1, 2 или 3	Серый
E	1, 2 или 3	Желтый
K	1, 2 или 3	Зеленый
AX	–	Коричневый
SX	–	Фиолетовый
P	1, 2 или 3	Белый
NOR3	–	Сине-белый
HgP3	–	Красно-белый

В настоящее время получили распространение и другие конструкции фильтрующих противогазов:

– противогаз малого габарита ПФМГ-96 (рис. 2.1): лицевая часть (маска МАГ, маска ППМ-88 или шлем-маска ШМП), фильтр, сумка для ношения и хранения;

– противогаз среднего габарита ПФСГ-98 Супер (рис. 2.2): лицевая часть (маска МАГ, маска ППМ-88 или шлем-маска ШМП), фильтр, соединительная трубка, сумка для ношения и хранения;

– противогаз промышленный фильтрующий модульный ППФМ-92 (рис. 2.3): лицевая часть (маска МАГ, маска ППМ-88 или шлем-маска ШМП), фильтр (определенные соединения заданных марок фильтров ДОТ 320 и ДОТ Р3), соединительная трубка (для соответствующих фильтров), сумка для хранения и ношения.

Марка и назначение противогаса определяются маркой и назначением фильтра.



Рис. 2.1. Противогаз малого габарита ПФМГ-96



Рис. 2.2. Противогаз среднего габарита ПФСГ-98 Супер



Рис. 2.3. Противогаз промышленный фильтрующий модульный ППФМ-92

Кроме промышленных фильтрующих противогазов широко используются облегченные средства защиты органов дыхания – респираторы.

Противогазовые и универсальные (газоылезащитные) респираторы предназначены для защиты от вредных паров, газов и аэрозолей при одновременном их присутствии в воздухе. Они позволяют защищать органы дыхания при ПДК вредных веществ не более $10\text{--}15 \text{ мг/м}^3$.

Респираторы РПГ-67 (противогазовый) и РУ-60М (универсальный) состоят из резиновой полумаски, фильтрующе-поглощающих патронов, пластмассовых манжет с клапаном вдоха, клапана выдоха с предохранительным экраном, трикотажного обтюлятора и наголовника для крепления респиратора на голове (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Противогазовые респираторы РПГ-67 (а) и РУ-60М (б)

3. Приборы и оборудование

Устройство и принцип действия универсального переносного газоанализатора УГ-2

Для проведения контроля экспресс-методами применяются газоанализаторы марки УГ, химический газоопределитель ГХ и др.

Универсальный переносной газоанализатор типа УГ-2 (рис. 2.5) предназначен для определения в воздухе производственных помещений концентрации вредных газов (паров).

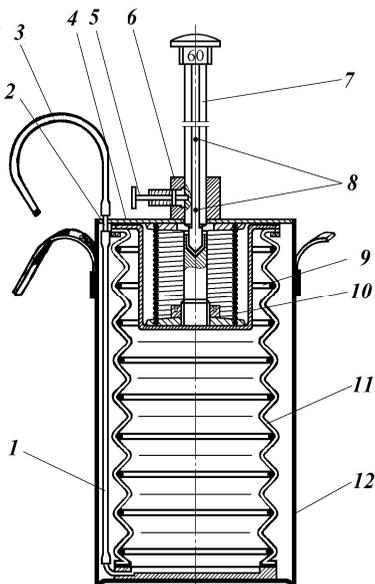


Рис. 2.5. Устройство газоанализатора

Газоанализатор обеспечивает определение концентрации вредных газов (паров) в воздухе производственных помещений, характеризуемых следующими данными: содержание пыли – не более 40 мг/м^3 ; давление – $740\text{--}780 \text{ мм рт. ст.}$; относительная влажность – не более 90% ; температура – $10\text{--}30 \text{ }^\circ\text{C}$; погрешность – $\pm 10 \%$.

В состав комплекта газоанализатора входят: воздухозаборное устройство с 3 штоками; коробки со спецкомплект (ЗИП) для определения одного из газов (паров) – до 14 шт.; паспорт.

Сроки годности порошков и приготовленных индикаторных трубок указаны в паспорте.

Принцип работы газоанализатора основан на просасывании воздуха с вредными газами через индикаторную трубку воздухозаборным устройством и образовании окрашенного в другой цвет столбика в индикаторной трубке. Длина окрашенного столбика индикаторного порошка в трубке пропорциональна концентрации

анализируемого газа в воздухе и измеряется по шкале, градуированной в мг/м^3 .

В закрытую часть корпуса 12 помещен резиновый сильфон 11 с двумя фланцами и стаканом, в котором находится пружина 10. Во внутренних гофрах сильфона установлены распорные кольца 9 для придания сильфону жесткости и сохранения постоянства объема. На верхней плате 4 имеется неподвижная втулка 6 для направления штока 7 при сжатии сильфона. На штуцер 2 с внутренней стороны надета резиновая трубка 1, которая вторым концом через нижний фланец соединяется с внутренней полостью сильфона. К свободному концу трубки 3 при анализе присоединяется индикаторная трубка и, при необходимости, фильтрующий патрон. Просасывание исследуемого воздуха через индикаторную трубку производится после предварительного сжатия сильфона штоком. На гранях (под головкой штока) обозначены объемы просасываемого при анализе воздуха. На цилиндрической поверхности штока имеются четыре продольные канавки, каждая с двумя углублениями 8, служащими для определения фиксатором 5 объема просасываемого воздуха. Расстояние между углублениями на канавках подобрано таким образом, чтобы при проходе воздуха от одного углубления до другого сильфон забирал необходимое его количество для анализа.

Подготовка прибора к измерению состоит в следующем: из гнезда прибора вынимают шток 7 (шток подбирают с необходимым объемом просасывания, указанным на головке штока цифрами; объем просасывания определяемого газа приведен на шкале в коробке и в таблице (в паспорте)) и вставляют его в отверстие в центре прибора. Просасывание исследуемого воздуха через индикаторную трубку производится после предварительного сжатия сильфона штоком.

Выбранное значение объема просасываемого воздуха устанавливают в сторону фиксатора. Далее, оттягивая левой рукой фиксатор, нажимают на головку штока, топя его, – сильфон сжимается. Топят шток до тех пор, пока верхнее углубление не дойдет до фиксатора. Шток фиксируют им и оставляют в этом положении. Затем индикаторную трубку вставляют в резиновую трубку 3. Перед просасыванием воздуха через трубку слегка надавливают на головку штока, отводят фиксатор и сразу же отпускают. Освобожденный шток под действием пружины 10 начинает двигаться вверх. Когда

нижнее углубление на канавке штока совпадает с фиксатором, последний со щелчком входит в него и останавливает шток.

Просасывание воздуха через индикаторную трубку необходимо проводить в течение времени, указанного на соответствующей шкале (общее время просасывания). Затем индикаторную трубку отсоединяют и накладывают на специальную шкалу для определения концентрации примеси, размещая так, чтобы границы порошка в трубке со стороны просасывания воздуха совпадали с нулевым делением шкалы. Деление на шкале напротив участка с изменившимся цветом порошка в индикаторной трубке укажет содержание исследуемой примеси в воздухе, мг/м^3 .

Устройство и принцип действия аспиратора насоса-пробоотборника НП-3М

Насос-пробоотборник НП-3М представляет собой поршневой аспиратор ручного действия, предназначенный для отбора разовых проб газовоздушных смесей с целью последующего определения их химического состава с использованием индикаторных трубок (рис. 2.6).

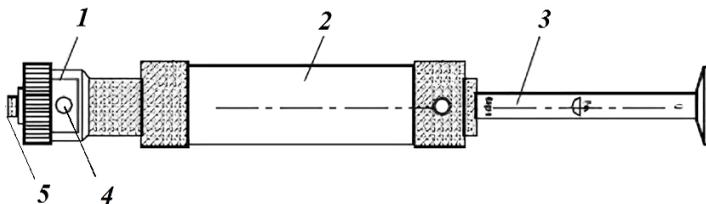


Рис. 2.6. Насос-пробоотборник НП-3М:

1 – насадка; 2 – цилиндр; 3 – шток;
4 – сигнальное устройство; 5 – уплотнительная втулка

Работа насоса-пробоотборника основана на создании разрежения в цилиндре 2 при перемещении штока 3 и заполнении цилиндра газовой средой, поступающей через индикаторную трубку, установленную в уплотнительную втулку 5 насадки 1. При приведении насоса в исходное положение воздух из цилиндра выходит через обратный клапан. Насос снабжен сигнальным устройством 4 – индикатором завершения прососа для контроля окончания просасывания пробы, представляющим собой контрольную мембрану,

закрепленную под смотровым окошком. При создании разрежения в цилиндре 2 контрольная мембрана прогибается и из смотрового окошка пропадает изображение черной точки (рис. 2.7).

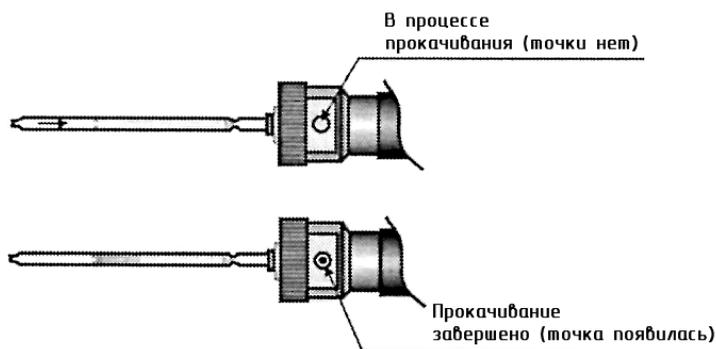


Рис. 2.7. Сигнальное устройство насоса-пробоотборника НП-3М

При уравнивании давления внутри цилиндра 2 с атмосферным давлением мембрана возвращается в исходное положение. В смотровом окошке появляется изображение черной точки, свидетельствующее об окончании просасывания пробы через индикаторную трубку. Агрессивные вещества, которые могут поступать в насос из воздуха через индикаторную трубку, адсорбируются наполнителем защитного патрона, помещенного в насадке.

Индикаторные трубки к аспиратору НП-3М

Индикаторные трубки к аспиратору НП-3М предназначены для экспресс-определения содержания газовых компонентов в воздухе и применяются для контроля состава газовой среды при ведении различных работ для обеспечения безопасных условий труда. Принцип действия экспресс-метода основан на изменении окраски индикаторного слоя при прокачивании через индикаторную трубку анализируемого воздуха. Концентрация определяемого компонента устанавливается по длине прореагировавшего слоя или по интенсивности окраски.

Индикаторные трубки (рис. 2.8) представляют собой герметично запаиваемые стеклянные трубки, внутри которых находятся индикаторные массы – хемосорбент, изменяющий окраску при прохождении через него определяемого вещества.

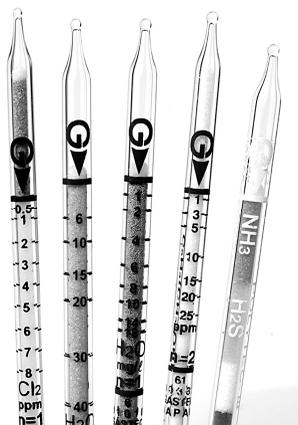


Рис. 2.8. Индикаторные трубки к аспиратору

Характеристики отдельных типов индикаторных трубок приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Индикаторные трубки для газового анализа к аспираторам

Определяемое вещество	Диапазон измеряемых концентраций, % об.	Количество в упаковке, шт.	Срок годности, месяцев
Оксид углерода CO	0,0005–0,0250	24	36
	0,005–0,250		
Оксид углерода CO	0,25–5,0	24	36
Диоксид углерода CO ₂	0,25–2,0	24	24
	1,0–15,0	24	24
	5,0–50,0	12	24
Формальдегид CH ₂ O	0,00002–0,00020	18	24
	0,00004–0,00040		
Диоксид серы SO ₂	0,0002–0,0070	24	12
Оксиды азота NO + NO ₂	0,0001–0,0050	24	12
Сероводород H ₂ S	0,00033–0,00660	24	36
Кислород O ₂	1,0–21,0	10	24

Примечание: наружный диаметр трубки – (6,9 ± 0,10) мм.

**Последовательность действий
при применении индикаторных трубок
совместно с насосом-пробоотборником НП-3М**

Извлечь из футляра индикаторную трубку (при измерении концентрации ацетона – и фильтрующую трубку) и вскрыть запаянные концы с помощью приспособления на насадке насоса-пробоотборника НП-3М (рис. 2.9)

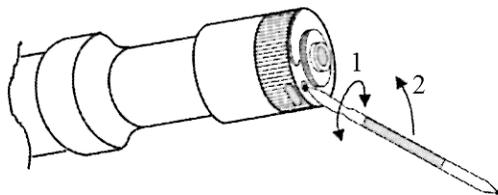


Рис. 2.9. Вскрытие индикаторных трубок при помощи насадки насоса-пробоотборника НП-3М:
1 – отверстие для вскрытия запаянных концов индикаторных трубок; 2 – индикаторная трубка

Вскрытую индикаторную трубку вставить свободным концом в уплотнительную втулку насоса, соблюдая направление просасывания воздуха (указано стрелкой на поверхности индикаторной трубки). При измерении концентрации ацетона использовать фильтрующую трубку, которую после вскрытия необходимо соединить с индикаторной трубкой отрезком резинового шланга (рис. 2.10).

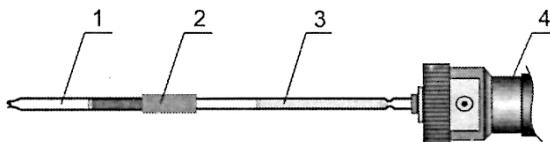


Рис. 2.10. Схема соединения индикаторных трубок с насосом-пробоотборником НП-3М:
1 – фильтрующая трубка (при определении концентрации ацетона);
2 – отрезок шланга; 3 – индикаторная трубка; 4 – насадка насоса

Для того чтобы прокачать через индикаторную трубку необходимый объем анализируемого воздуха, необходимо выполнить следующие операции (рис. 2.11):

- привести насос в исходное положение – шток введен в цилиндр до упора, метки на крышке и штоке совмещены;
- привести насос в рабочее состояние вытягиванием штока из исходного положения до фиксации на позиции «100». При этом через ИТ прокачивается 100 см^3 воздуха;
- при прокачивании пробы объемом больше 100 см^3 повторить предыдущие операции необходимое число раз n ($n = V / 100$), не извлекая ИТ из насоса.

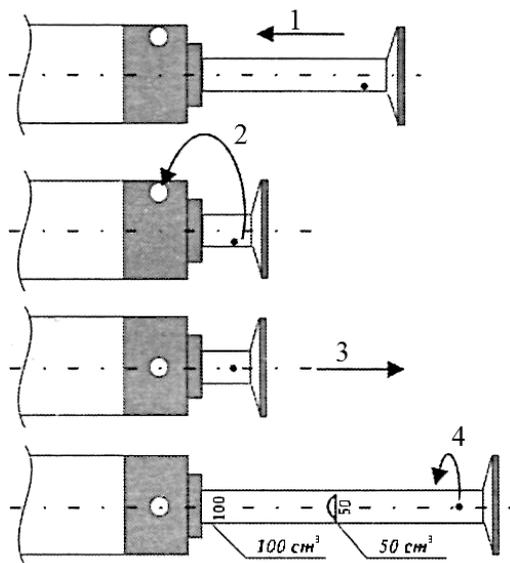


Рис. 2.11. Последовательность операций при прокачивании анализируемого воздуха насосом-пробоотборником НП-3М:

- 1 – ввести шток в цилиндр до упора; 2 – совместить метки на крышке и штоке;
- 3 – вытянуть шток до фиксации на позиции «100» или «50»;
- 4 – развернуть метки на крышке и штоке на 90°

Момент окончания прокачивания определяют по появлению в окошке индикатора сигнального устройства изображения точки.

Аккуратно отсоединить ИТ от насоса и считать результаты измерений со шкалы, нанесенной на поверхность индикаторной трубки.

В табл. 2.4 приведено общее время просасывания исследуемого воздуха через индикаторную трубку для различных газов (паров).

Таблица 2.4

Основные параметры работы газоанализатора

Анализируемый газ (пары)	Просасываемые объемы, мл	Пределы измерения, мг/м ³	Продолжительность защелкивания штока	Общее время просасывания, мин	Срок годности, месяцев
Сернистый ангидрид	300	0–30	1'50"–2'40"	5	8
	60	0–200	мгновенное	3	
Ацетилен	265	0–1400	3'10"–3'50"	5	24
	60	–	мгновенное	3	
Окись углерода	220	0–120	3'20"–4'40"	8	18
	60	0–400	мгновенное	5	
Сероводород	300	0–30	2'20"–3'20"	5	20
	30	0–300	мгновенное	2	
Хлор	350	0–15	4'45"–5'30"	7	24
	100	0–80	0'20"–0'25"	4	
Аммиак	250	0–30	2'00"–2'40"	4	8
	30	0–300	мгновенное	2	
Окислы азота	325	0–50	4'20"–5'30"	7	16
	150	0–200	1'20"–2'10"	5	
Бензин	300	0–1000	3'20"–3'50"	7	24
	60	0–5000	мгновенное	4	
Ацетон	300	0–2000	3'00"–4'00"	7	10

4. Порядок выполнения работы

1. Измерить концентрацию вредных веществ с помощью универсального газоанализатора УГ-2 и аспиратора насоса-роботоборника НП-3М.

2. Определить концентрации вредных веществ (по выбору преподавателя).

3. Результаты исследований занести в табл. 2.5.

Определение концентрации газа в воздухе рабочей зоны

Прибор для измерения	Наименование исследуемого газа	Объем засасываемого воздуха, мл	Концентрация газа в воздухе, мг/м	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
Газоанализатор УГ-2					
Аспиратор насос-проботборник НП-3М					

Контрольные вопросы по теме занятия

1. Каковы последствия воздействия вредных веществ на организм человека?
2. Перечислите основные мероприятия по снижению концентрации газов и паров в воздухе рабочей зоны.
3. Как рассчитывают ПДК при наличии в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия?
4. В чем состоит принцип измерения концентрации вредных газов в воздухе с помощью индикаторных трубок?
5. Каков принцип работы газоанализатора УГ-2?
6. Назовите методы и средства снижения повышенного содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
7. Какие средства индивидуальной защиты следует применять при интенсивном поступлении вредных газов и паров в воздух рабочей зоны?
8. Перечислите основные методы определения концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Лабораторное занятие № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Цель занятия: определить количественное содержание пыли в воздухе весовым методом и провести санитарную оценку запыленности производственной среды.

Приборы и оборудование: установка для определения концентрации запыленности воздуха весовым методом, лабораторные весы, аллонж с фильтрами.

Задачи занятия:

1. Изучить методические указания по выполнению работы.
2. Ознакомиться с методикой контроля концентрации пыли в воздухе и устройством лабораторной установки по определению концентрации пыли.
3. Создать в камере, имитирующей производственное помещение, некоторую запыленность и весовым методом определить содержание пыли в единице объема воздуха. Сравнить с санитарными нормами ПДК.
4. Изучить средства индивидуальной защиты органов дыхания работающих от пыли.
5. Подготовить и заполнить таблицу результатов измерений и расчетов.
6. Подготовить отчет по работе и защитить его у преподавателя.

1. Общие положения

Многие технологические процессы сельскохозяйственного производства (на комбикормовых предприятиях, в кормоприготовительных цехах животноводческих комплексов и птицефабрик, в зернотоках, на складах, элеваторах, рабочих местах механизаторов) сопровождаются выделением пыли, отрицательно воздействующей на организм человека, в основном на его органы дыхания.

Пыль представляет собой тонкодисперсные частицы твердого вещества, образующиеся при разрушении или измельчении твердых материалов и транспортировке сыпучих продуктов или же вследствие охлаждения и конденсации паров металлов и неметаллов,

выделяющихся при высокотемпературных процессах (сварке, плавке, пайке и т. п.). Пыль может находиться в воздухе во взвешенном состоянии (аэрозоль) или в виде осадка (аэрогель).

Пыль способна вызывать различные заболевания кожи и слизистых оболочек, а также внутренних органов человека, в частности различные кожные заболевания, воспаление соединительных оболочек глаза (конъюнктивит), носовую и бронхиальную астму, бронхит, катар верхних дыхательных путей и т. п. При длительной работе в условиях запыленного воздуха с концентрацией выше допустимой пыль вызывает хронические заболевания легких – пневмокониоз, силикоз, туберкулез, которые ведут к ограничению дыхательной поверхности легких и нарушению функционирования всего организма.

Степень вредного воздействия пыли на организм человека зависит от количества вдыхаемой пыли, степени дисперсности пылинок, их формы и химического состава, растворимости, электростатичности.

По дисперсности пыль подразделяют:

– на крупнодисперсную – размеры частиц 10 мкм и более (оседает быстро);

– среднедисперсную – 5–10 мкм (оседает медленно);

– мелкодисперсную – до 5 мкм (не оседает).

Наиболее опасны пылинки размером до 5 мкм, т. к. альвеолярные (дыхательные) каналы у людей имеют диаметр 4–5 мкм.

Мелкодисперсная пыль более опасна для организма человека с точки зрения проникновения в легкие, т. к. она плохо задерживается слизистыми оболочками, проникает в легочную ткань и вызывает заболевания. Пылинки размером более 5 мкм способны задерживаться в верхних дыхательных путях и бронхах.

По роду вещества пыль подразделяют:

– на органическую – растительного (мучная, сахарная, табачная, чайная и др.) и животного происхождения (шерстяная, костная, молочная);

– неорганическую – минерального (песчаная, известковая, кварцевая, наждачная и др.) и металлического происхождения (медная, чугунная, стальная);

– смешанную, состоящую из частиц органического и неорганического происхождения (зерновая).

По характеру действия на организм человека промышленную пыль подразделяют на раздражающую, токсическую, фиброгенную и аллергическую.

К раздражающей пыли относятся минеральная, металлическая и древесная. Проникая в легкие и лимфатические железы, такая пыль вызывает их заболевание.

К токсической пыли относятся свинцовая, марганцевая, хромовая, цинковая. Такая пыль вызывает острые или хронические отравления, т. к., растворяясь в биологических средах, действует как введенный в организм яд.

Пыль способна адсорбировать из воздуха некоторые яды, газы, в результате чего неядовитая пыль может стать ядовитой. Например, угольная пыль и сажа могут адсорбировать окись углерода.

Фиброгенным называется такое действие пыли, при котором в легких происходит разрастание соединительной ткани, нарушающее нормальное строение и функции органа. Очень высокой фиброгенной активностью обладает диоксид кремния, или кремнезем, что связано с его кристаллической структурой и свойством поверхности кристаллов адсорбировать белки.

Пыль может обладать электрическим зарядом, который облегчает осаждение ее в легких, увеличивая количество задерживающейся в организме пыли.

Пыль не только наносит вред организму человека, но и повышает износ оборудования, увеличивает брак выпускаемой продукции, приводит к снижению производительности труда и способствует возникновению и распространению пожара и взрыва на производстве.

С целью предупреждения различных заболеваний установлены предельно допустимые концентрации пыли в воздухе рабочей зоны (см. лабораторное занятие № 2).

Под рабочей зоной понимают пространство высотой до 2 м над уровнем пола и площадки, на которых находятся места постоянного или временного пребывания работающих.

Пыли растительного и животного происхождения относятся к четвертому классу опасности. В табл. 3.1 приведены значения ПДК пыли от некоторых материалов.

Таблица 3.1

ПДК пыли в воздухе рабочей зоны

Вид пыли	Величина ПДК, мг/м ³
Пыль, образуемая при работе с асбестом, алюминием и его сплавами	2
Марганец и его оксиды	3,0
Пыль стеклянного и минерального волокна	4,0

Вид пыли	Величина ПДК, мг/м ³
Алюминий и сплавы алюминия	2,0
Оксиды железа (с примесью фтористых или марганцевых соединений)	4,0
Никель и его оксиды	0,5
Свинец и его соединения	0,01
Пыль, образуемая при работе с известняком, глиной, карбидом кремния, цементом, чугуном	6
Пыль растительного и животного происхождения:	
– с примесью диоксида кремния от 2 до 10 %;	4
– зерновая;	4
– лубяная, хлопчатобумажная, хлопковая, льняная, шерстяная, пуховая и др. (с примесью диоксида кремния более 10 %);	2
– мучная, древесная и др. (с примесью диоксида кремния менее 2 %)	6
Пыль табака, чая	3
Сахарная пыль	10

Концентрацию пыли в воздухе определяют различными методами (в единице объема).

Весовой метод основан на определении массы пыли, содержащейся в единице объема воздуха, путем взвешивания.

Счетный метод основан на определении числа пылинок, находящихся в 1 см³ воздуха, путем их подсчета с помощью микроскопа.

Фотометрический метод основан на предварительном осаждении частиц пыли на фильтре и определении оптической плотности пылевого осадка путем фотометрирования.

Радиоизотопный метод основан на использовании свойства радиоактивного излучения поглощаться частицами пыли.

Пьезоэлектрический метод заключается в измерении частоты колебаний пьезокристалла при осаждении на его поверхности частиц пыли и подсчете электрических импульсов, возникающих при соударении частиц пыли с пьезокристаллами.

Емкостной метод основан на измерении емкости конденсатора при введении частиц пыли с пьезокристаллами.

Наибольшее распространение получил весовой метод. Специальный фильтр взвешивают до и после протягивания через него некоторого объема запыленного воздуха, а затем подсчитывают массу пыли и определяют ее концентрацию. Метод дает возможность с погрешностью не более $\pm 25\%$ определить количество пыли, мг, находящейся в 1 м^3 воздуха.

Расчетная весовая концентрация пыли, $\text{мг}/\text{м}^3$:

$$K = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (3.1)$$

где m_1, m_2 – вес фильтра до и после отбора пробы, мг;

V – объем воздуха, пропущенного через фильтр при фактической температуре и давлении, м^3 .

Приведение к нормальным условиям объема воздуха, прошедшего через фильтр, м^3 , производится по формуле

$$V_0 = \frac{273V_1P_6}{(273 + T)760}, \quad (3.2)$$

где P_6 – барометрическое давление воздуха в помещении, мм. рт. ст.;

T – температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Расчет объема воздуха, пропущенного через фильтр, м^3 :

$$V = \frac{qt}{1000}, \quad (3.3)$$

где t – время отбора пробы;

q – расход аспиратора, л/мин.

Расчет средней концентрации для трех опытов

$$K_{06} = \frac{k_1t_1 + k_2t_2 + k_3t_3}{t_1 + t_2 + t_3}, \quad (3.4)$$

где k_1, k_2, k_3 – концентрация вещества в пробе;

t_1, t_2, t_3 – время отбора пробы.

Запыленность контролируют на тех участках, где выделение аэрозоля максимально или наиболее вероятно. Если на участке установлено однотипное оборудование или нет явных мест концентрации аэрозоля, измерения проводят выборочно на отдельных рабочих местах в центре и на периферии помещения. Суммарное время отбора проб воздуха для токсичного аэрозоля составляет 15 мин, для веществ преимущественно фиброгенного действия – 30 мин. За это время отбирают одну или несколько проб через равные промежутки времени, вычисляют среднее значение. Полученное разовое или среднее значение сравнивают с ПДК.

В течение смены или на отдельных этапах технологического цикла в одной точке должно быть взято не менее трех проб (для аэрозолей преимущественно фиброгенного действия – минимум одна).

Пробы отбирают в зоне дыхания работающего на высоте 1,5 м и на расстоянии 50 см от его лица при характерных производственных условиях, т. е. при включении всего технологического оборудования, вентиляционных устройств и т. п.

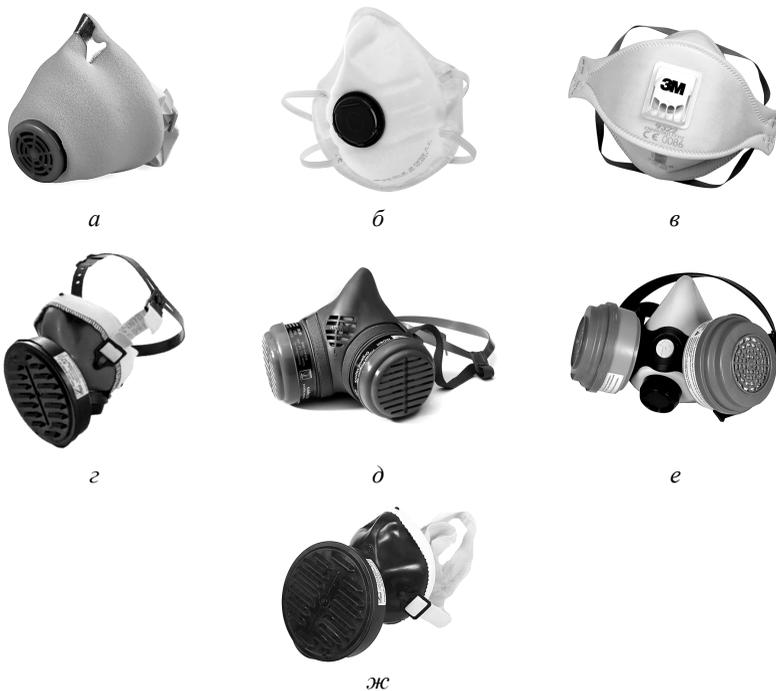
Недостатком весового метода является то, что с его помощью нельзя получить представление о качественной характеристике пыли, без чего невозможна полная гигиеническая оценка запыленности.

Если фактическая концентрация пыли K в воздухе помещения меньше ПДК, то условия работы удовлетворяют санитарно-гигиеническим требованиям, если больше – необходимо выполнить комплекс организационно-технических, санитарно-гигиенических и медико-биологических мероприятий, в частности использовать СИЗ.

Для защиты органов дыхания от пыли и вредных веществ, проникающих в организм человека через дыхательные пути, рекомендуется пользоваться противопылевыми, противогазовыми и универсальными респираторами, промышленными фильтрующими и изолирующими противогазами, а также кислородными изолирующими приборами.

Противопылевые респираторы (рис. 3.1) У-2К, ШБ-1 «Лепесток», ЗМ, Ф-62Ш, «Астра-2», РПА-1, ПРШ-741 обеспечивают защиту органов дыхания от вредных веществ, находящихся в воздухе в виде аэрозолей (пыли, дыма, тумана). От вредных паров и газов они не защищают.

Универсальные респираторы РУ-60М (рис. 3.2) обеспечивают защиту органов дыхания от вредных веществ, находящихся в воздухе в виде аэрозолей, паров и газов.



*Рис. 3.1. Противопылевые респираторы:
 а – У-2К; б – ШБ-1 «Лепесток»; в – 3М;
 з – Ф-62Ш; д – «Астра-2»; е – РПА-1; ж – ПРШ-741*



Рис. 3.2. Универсальный респиратор РУ-60М

Концентрация паро- и газообразных вредных веществ, при которых можно использовать респиратор, не должна превышать 15 предельно допустимых норм. При более высоком содержании паро- и газообразных вредных веществ в воздухе, а также для защиты органов дыхания от высокотоксичных вредных веществ следует пользоваться промышленными противогАЗами.

2. Приборы и оборудование

Определение запыленности воздуха весовым методом производится на установке, представленной на рис. 3.3.

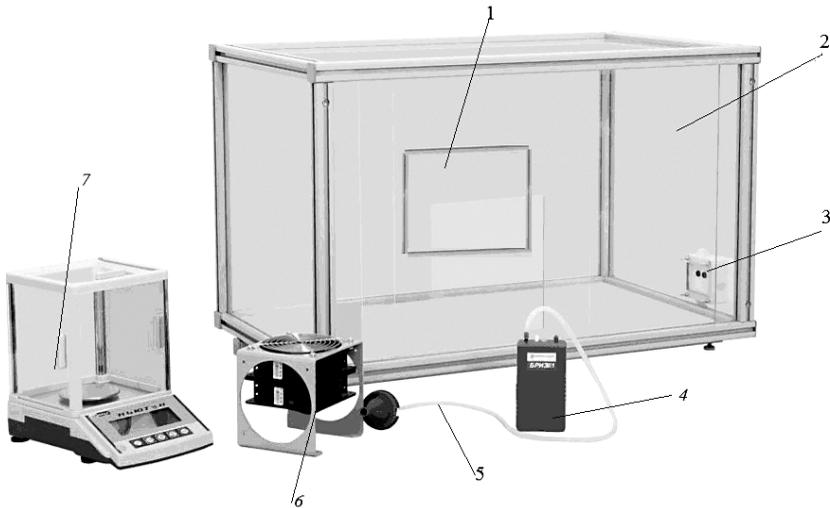


Рис. 3.3. Установка для определения концентрации запыленности воздуха весовым методом:

- 1 – сдвижная панель; 2 – пылевая камера; 3 – ввод от электрической сети;
- 4 – аспиратор «Бриз»; 5 – трубка аспиратора; 6 – блок вентиляторов;
- 7 – тензометрические весы

Пылевая камера 2 изготовлена из профильного алюминия и имеет прозрачные стенки (см. рис. 3.3). Для доступа внутрь на передней стенке камеры имеется проем, закрываемый сдвижной панелью 1. Камера имеет размеры 750×450×450 мм и внутренний объем 0,152 м³.

В торце камеры установлен ввод 3 от электрической сети для питания блока вентиляторов 6. Блок вентиляторов представляет собой один или два вентилятора, смонтированных на специальном держателе, размещается внутри камеры и служит для перемешивания частиц пыли с воздухом.

Отбор проб воздуха осуществляется малорасходным аспиратором типа «Бриз» 4. Аналитические фильтры размещаются в держателе открытого типа внутри камеры.

Трубка аспиратора 5 пропускается через заборное отверстие 1 в торце камеры.

Контрольное взвешивание аналитических фильтров производится на настольных лабораторных тензометрических весах 7 для статического взвешивания типа МЛ 0,15-6 В1ЖА.

Аспиратор «Бриз-1» 4 (см. рис. 3.3) с возможностью непрерывной работы до 10 ч предназначен для отбора и измерения максимальных разовых и среднесуточных проб воздуха рабочей зоны.

Аспиратор относится к универсальным электрическим одноканальным малорасходным переносным аспираторам обыкновенного исполнения с номинальными (приписанными) значениями объемного расхода и косвенным измерением отбираемого объема проб воздуха. Аспиратор может использоваться санитарными лабораториями предприятий и организаций как индивидуальный пробоотборник для отбора среднесменных и среднесуточных (в зоне дыхания работника) проб воздуха на содержание вредных компонентов. Позволяет получить достоверные результаты, поскольку аллонж с фильтром может быть закреплен непосредственно в зоне дыхания работника.

Режим работы непрерывный и циклический. Конструкция обеспечивает герметичность газовых магистралей аспиратора.

Аэрозольные аналитические фильтры (АФА) – стандартные фильтры, которые широко применяются для высокоэффективного улавливания аэрозоля различного химического и дисперсного состава. В дальнейшем проба, отобранная на фильтр, обрабатывается в лабораторных условиях по утвержденным методикам. Таким образом можно определять весовой, химический, радиохимический и бактериальный состав исследуемого аэрозоля.

Основу фильтра АФА составляет фильтрующее полотно Петрянова (ФПП). Это волокнистый материал, который помимо механических эффектов улавливания (инерции, седиментации, касания) и диффузии дает эффект электростатического притяжения частиц аэрозоля к заряженным волокнам фильтра. За счет этого материал ФПП характеризуется высокой эффективностью улавливания. Так, для частиц размером 0,1 мкм коэффициент проскока в фильтре АФА составляет всего 0,1 %.

Типы стандартных фильтров АФА, выпускаемых по ТУ 95-1892–89:
АФА-ВП – для определения весовой концентрации аэрозолей;

АФА-БА – для определения концентрации бактериальных аэрозолей;

АФА-Х – для определения концентрации, а также химического и радиохимического состава аэрозолей.

Для взятия пробы воздуха служит аллонж (рис. 3.4). В нем закреплен круглый фильтр типа АФА из бумаги и специальных нитей, предварительно вкладываемый в бумажную кольцевую обойму. К аллонжу присоединяется резиновая пробоотборная трубка.

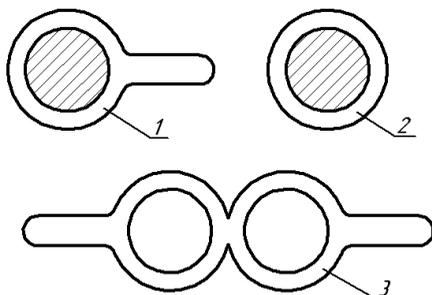


Рис. 3.4. Фильтр АФА-ВП-10:
1 – фильтр; 2 – фильтрующий элемент; 3 – защитное кольцо

Для замеров на данной установке с использованием аспиратора «Бриз» применяются фильтры 1 типа АФА-ВП-10. В комплект фильтра входят фильтрующий элемент 2 (рис. 3.4) в виде диска и защитное кольцо из бумаги 3.

Для фиксации аэрозольных фильтров во время отбора пробы выпускаются стандартные фильтродержатели, рассчитанные на типоразмеры фильтров АФА.

Фильтродержатели (аллонжи, аэрозольные патроны) типа ИРА-10 и ИРА-20 (табл. 3.2) используются в качестве носителей для фильтров типа АФА при их использовании с электрическими аспираторами и изготавливаются из ударопрочного полистирола.

Таблица 3.2

Типы фильтродержателей

Маркировка	Тип	Площадь фильтрующего элемента, см ²
ИРА-10-1	открытый	10
ИРА-10-2	закрытый	10
ИРА-20-1	открытый	20
ИРА-20-2	закрытый	20

Фильтродержатели выпускаются двух типов (рис. 3.5) – открытого и закрытого.

В открытых фильтродержателях (рис. 3.5, *а*) фильтр АФА крепится гайкой, а рабочая поверхность фильтра непосредственно соприкасается с атмосферой. Эти фильтродержатели используются при отборе из открытой (свободной) атмосферы или в случае размещения фильтра внутри закрытого объема.

В закрытых фильтродержателях (рис. 3.5, *б*) фильтр АФА крепится между двумя воронками, изолирующими его от открытой атмосферы. Фильтродержатели используются при их расположении вне анализируемой (контролируемой) зоны.

При скоростях отбора свыше 100 л/мин под фильтр необходимо подкладывать опорную сетку.



Рис. 3.5. Фильтродержатели ИРА открытого (*а*) и закрытого (*б*) типа

3. Порядок выполнения работы

1. Установить на столе камеру.
2. Установить на столе весы. Провести подготовку к работе согласно руководству (паспорту). Включить весы.
3. Подготовить для работы aspirатор и принадлежности (трубки, фильтрующие элементы и пр.).
4. Разместить внутри камеры вентилятор. Включить вилку вентилятора в разъем на внутренней стенке камеры.
5. Взвесить фильтрующий элемент перед использованием.
6. Подготовить фильтрующий элемент к установке в патрон – аккуратно поместить диск фильтрующего элемента между половинками защитного кольца.

7. Зажать фильтрующий элемент в патроне.
8. Разместить фильтродержатель в камере.
9. Соединить трубкой аспиратор (штуцер ротаметра) и фильтродержатель. Трубку пропустить через заборное отверстие камеры.
10. Включить сетевую вилку камеры в сеть. Подать питание. Проверить работоспособность вентилятора (вентиляторов). Отключить вентилятор.
11. Взвесить порцию пыли (если необходимо) и поместить в камеру.
12. Включить вентилятор, дождаться разноса порции пыли по объему камеры.
13. Включить аспиратор и установить требуемый расход воздуха (ротаметр должен быть размещен вертикально), засечь время работы аспиратора. Данные занести в табл. 3.3. Время замера следует выбирать таким образом, чтобы масса пыли, осаждаемой на фильтрующий элемент, составляла не менее $1/20$ от массы фильтра. Максимальное время отбора пробы не должно превышать 15 мин.
14. После завершения отбора пробы отключить аспиратор. Достать фильтродержатель из камеры, извлечь диск фильтрующего элемента.
15. Взвесить фильтрующий элемент. Данные занести в табл. 3.3.
16. При возникновении больших наслоений пыли на дне (полу) камеры произвести очистку.
17. Протереть стенки камеры изнутри.
18. Обработать полученные данные.

Таблица 3.3

Результаты измерений

Номер опыта	Масса фильтра, мг		Увеличение массы m , мг	Время отбора пробы t , с	Объем воздуха V , м ³	Концентрация K , мг/м ³	ПДК, мг/м ³
	m_1 (до замера)	m_2 (после замера)					
1							
2							
3							

19. Оценить результаты исследования запыленности по весовому методу путем сопоставления их с ПДК пыли в рабочей зоне производственных помещений.

Контрольные вопросы по теме занятия

1. На какие виды подразделяется пыль по характеру действия на организм человека?
2. На какие виды подразделяется пыль по дисперсности?
3. Почему более опасна пыль размером 1–5 мкм с электрическим зарядом?
4. Какими методами определяют концентрацию пыли в воздухе производственных помещений?
5. Какова периодичность контроля воздуха рабочей зоны в зависимости от класса опасности вредного вещества?
6. Как устроена установка для исследования запыленности воздуха весовым методом?
7. Когда следует использовать противопылевые респираторы?
8. Когда следует использовать промышленные противогазы?

Лабораторное занятие № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕСТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Цель занятия: изучить классификацию вентиляционных систем и методов проверки эффективности вентиляции; исследовать производительность и эффективность местной вентиляции сварочного поста.

Приборы и оборудование: анемометр ТКА-ПКМ (50), лабораторная установка.

Задачи занятия:

1. Изучить методические указания по выполнению работы.
2. Изучить классификацию вентиляционных систем.
3. Оценить производительность местной вентиляции сварочного поста.
4. Оценить эффективность всасывания воздуха у передней панели сварочного поста.
5. Сделать заключение о работоспособности местной вентиляции сварочного поста.
6. Подготовить отчет по работе и защитить его у преподавателя.

1. Общие положения

В сельскохозяйственном производстве многие технологические процессы связаны с выделением пыли, газов, паров, избыточного тепла и влаги. Одно из наиболее эффективных мероприятий по оздоровлению воздушной среды – вентиляция производственных помещений. Являясь средством оздоровления труда, вентиляция нуждается в систематическом уходе и контроле ее состояния и эксплуатации.

Вентиляция – организованный воздухообмен, в процессе которого из помещения удаляется загрязненный, влажный, перегретый воздух и поступает в него свежий наружный. Рационально спроектированные и правильно эксплуатируемые вентиляционные системы способствуют улучшению самочувствия работающих и повышению производительности труда.

Задача вентиляции – обеспечение требуемой чистоты воздуха и допустимых метеорологических условий в рабочей зоне помещения.

Системы вентиляции классифицируют по способу перемещения воздуха, направлению потока воздуха, зоне действия, времени работы.

По способу перемещения воздуха вентиляция может быть:

– естественной – воздухообмен происходит в результате действия гравитационного давления, возникающего вследствие разности температур воздуха в помещении и наружного воздуха, а также в результате действия ветра;

– механической – перемещение воздуха осуществляется вентилятором (осевым или центробежным), создающим избыточное давление (разрежение) по сравнению с атмосферным воздухом;

– смешанной (сочетание естественной и механической вентиляции).

В зависимости от назначения механическая вентиляция может быть:

– приточной – применяют в производственных помещениях со значительным выделением теплоты при малой концентрации вредных веществ в воздухе, а также для усиления воздушного подпора в помещениях с локальным выделением вредных веществ при наличии систем местной вытяжной вентиляции. Это позволяет предотвратить распространение таких веществ по всему объему помещения;

– вытяжной – применяют для активного удаления воздуха, равномерно загрязненного по всему объему помещения, при малых концентрациях вредных веществ в воздухе и небольшой кратности воздухообмена;

– приточно-вытяжной – применяют при значительном выделении вредных веществ в воздух помещений, в которых необходимо обеспечить особо надежный воздухообмен с повышенной кратностью.

По месту действия вентиляция бывает:

– общеобменной (приточной, вытяжной, приточно-вытяжной) – действие основано на разбавлении загрязненного, перегретого или влажного воздуха помещения свежим воздухом до допустимых гигиенических норм во всем объеме помещения. Эту систему вентиляции, как правило, применяют при равномерном расположении по площади производственного помещения источников выделения теплоты, влаги, вредных веществ;

– местной – вентиляцию устраивают для удаления вредных веществ и избытков тепла непосредственно в месте их образования, чем обеспе-

чивается максимальное улавливание вредных веществ при минимальном расходе воздуха.

Местную вытяжную вентиляцию следует применять на газо- и электросварочных постах, металлорежущих и заточных станках, в кузнечных цехах, гальванических установках, аккумуляторных цехах, на постах технического обслуживания, в помещениях у мест пуска автомобилей и тракторов.

Контроль вентиляции на заводах и сельскохозяйственных предприятиях осуществляется инженерной службой, инженером по охране труда при постоянном участии профсоюзных комитетов и общественных инспекторов.

Задача контролирующих органов – оценка состояния воздушной среды и эффективности вентиляции с точки зрения обеспечения ею требуемых законодательством уровней температуры и влажности, снижение содержания вредных веществ до предельно допустимых концентраций (по Санитарным нормам и правилам «Требования к контролю воздуха рабочей зоны», Гигиеническим нормативам «Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны», «Ориентировочные безопасные уровни воздействия вредных веществ в воздухе рабочей зоны», «Предельно допустимые уровни загрязнения кожных покровов вредными веществами», утвержденными постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 11.10.2017 г. № 92).

2. Приборы и оборудование

Определение производительности и эффективности местной вентиляции сварочного поста производится с помощью анемометра ТКА-ПКМ (50) (см. лабораторное занятие № 1). Общий вид лабораторной установки представлен на рис. 4.1.

Удаление вредных газов со сварочного стола осуществляется из нижней зоны. На передней панели сварочного стола (в средней части) находится поворотный круг А, на нем располагается объект сварочной работы. Всасывающие щели в передней панели обозначены буквами *а, б, в, г, д, е, ж*. Во всасывающий воздуховод вмонтированы две круглые пробки Б₁ и Б₂. Когда эти пробки установлены (ввернуты) в воздуховод, он герметичен. Когда вывернуты, через них подсасывается воздух во всасывающем воздуховоде 2, т. е. имитируется разгерметизация воздуховодов.

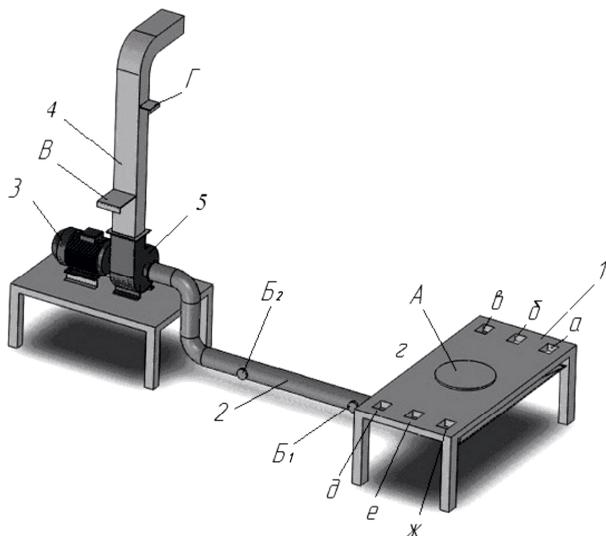


Рис. 4.1. Схема лабораторной установки:

- 1 – сварочный стол; 2 – всасывающий воздуховод; 3 – электродвигатель;
 4 – вытяжной воздуховод; 5 – центробежный вентилятор;
 А – поворотный круг сварочного стола; Б₁, Б₂ – пробки
 во всасывающем воздуховоде; В – сетка; Г – выдвижная заслонка

В вытяжном воздуховоде 4 установлена выдвижная сетка В. Когда она выдвинута, сопротивление движению воздуха в вытяжном воздуховоде наименьшее, когда вставлена – возрастает, т. е. с помощью сетки имитируется сопротивление фильтров, которые могут быть установлены в системах механической вентиляции для очистки воздуха от пыли.

В вытяжном воздуховоде 4 установлена выдвижная заслонка Г. Когда заслонка выдвинута, в вытяжном воздуховоде можно измерить скорость движения воздуха с помощью анемометра.

3. Порядок выполнения работы

Оценка производительности вентиляционной установки

1. Включить вентиляционную установку (по указанию преподавателя или лаборанта).

2. Открыть задвижку Г и с помощью анемометра ТКА-ПКМ (50) измерить скорость движения воздуха v_1 , м/с, в вытяжном воздуховоде 5.

3. Аналогично измерить скорость v_2 , м/с, в вытяжном воздухо-
воде 4 при установленной в нем сетке В, тем самым имитируя
засорение фильтра.

4. При закрытых пробках B_1 и B_2 измерить анемометром ско-
рость воздуха v_3 , м/с, во всасывающем воздуховоде 4 у передней
панели сварочного стола в точке z . Сетку В из вытяжного воздухо-
вода при этом вынуть.

5. Аналогично измерить скорость воздуха v_4 , м/с, в той же точке
у передней панели сварочного стола при открытых пробках B_1 и B_2 ,
имитирующих разгерметизацию воздуховода.

6. Рассчитать относительное уменьшение скорости воздуха в вы-
тяжном воздуховоде (производительность местной вентиляции):

$$\Theta_1 = \frac{v_1 - v_2}{v_1} 100 \%. \quad (4.1)$$

7. Рассчитать относительное уменьшение скорости всасывания
(открыты обе пробки B_1 и B_2) во всасывающем воздуховоде:

$$\Theta_2 = \frac{v_3 - v_4}{v_3} 100 \%. \quad (4.2)$$

8. Занести результаты измерений в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Результаты оценки производительности вентиляционной установки

Скорость движения воздуха, м/с				Относительное уменьшение скорости воздуха при засорении фильтра Θ_1	Относительное уменьшение скорости воздуха при разгерметизации воздуховода Θ_2
v_1	v_2	v_3	v_4		

Оценка поля всасывания у передней панели сварочного стола

1. Включить вентиляционную установку.

2. При закрытых пробках B_1 и B_2 во всасывающем воздуховоде и вынутой сетке В в вытяжном воздуховоде с помощью анемометра ТКА-ПКМ (50) измерить скорость движения воздуха у передней панели сварочного стола в точках $a, б, в, г, д, е, ж$.

3. Занести результаты измерений в табл. 4.2, построить график изменения скоростей всасывания v , м/с, для данных точек.

Таблица 4.2

Результаты оценки поля всасывания

Точка	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>ж</i>
Скорость движения воздуха, м/с							

Контрольные вопросы по теме занятия

1. Что такое вентиляция? Каково ее назначение? Как классифицируются системы вентиляции?
2. Что такое механическая вентиляция? Как она классифицируется?
3. Что такое естественная вентиляция? Каковы ее преимущества и недостатки?
4. Как осуществляется контроль вентиляции?
5. Каковы причины неудовлетворительной работы вентиляции?
6. Какие параметры вентиляции подлежат оценке при ее обследовании?

Лабораторное занятие № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО И ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Цель занятия: ознакомиться с порядком нормирования естественного и искусственного освещения; изучить приборы и методы определения качества естественного и искусственного освещения на рабочих местах.

Приборы и оборудование: люксметр Ю-116, электронный люксметр ТКА-ПКМ/31.

Задачи занятия:

1. Изучить методические указания по выполнению работы.
2. Ознакомиться с методами определения и нормирования коэффициента естественной освещенности.
3. Ознакомиться с системами производственного освещения и принципами нормирования искусственного освещения.
4. Изучить устройство приборов для измерения освещенности, порядок работы с ними для определения уровня освещенности на рабочих поверхностях.
5. Исследовать изменение естественной освещенности в учебной аудитории в зависимости от расстояния до световых проемов.
6. Определить в учебной аудитории коэффициент естественной освещенности и оценить эффективность освещенности.
7. Исследовать зависимость общего искусственного освещения от высоты подвеса светильников.
8. Исследовать общее искусственное освещение на рабочем месте и сравнить его с нормами.
9. Подготовить отчет по работе и защитить его у преподавателя.

1. Общие положения

При освещении производственных помещений используется естественное освещение, создаваемое светом солнца (прямым и отраженным). В спектре естественного света находится большое количество ультрафиолетовых лучей, необходимых для человека.

Солнечный свет оказывает биологически оздоравливающее и тонизирующее воздействие на человека. Величина естественной наружной освещенности имеет большие колебания (как по времени года, так по часам суток), зависит от погоды и облачности, поэтому естественная освещенность внутри помещений изменяется в больших пределах. В связи с этим для помещений регламентируют не абсолютные величины естественной освещенности, а относительные, не меняющиеся в зависимости от постоянных колебаний. Таким показателем является коэффициент естественной освещенности (КЕО):

$$e = \frac{E_{\text{вн}}}{E_{\text{нар}}} 100 \%, \quad (5.1)$$

где e – КЕО в данной точке помещения, %;

$E_{\text{вн}}$ – освещенность в какой-либо точке внутри помещения, лк;

$E_{\text{нар}}$ – горизонтальная освещенность на открытом месте, создаваемая диффузным светом всего небосвода, замеренная одновременно с $E_{\text{вн}}$, лк.

По конструктивным особенностям естественное освещение подразделяется:

а) на боковое – свет поступает в помещение через световые проемы в наружных стенах (окна);

б) верхнее – свет поступает через световые фонари и застекленные проемы и покрытия, а также через проемы в местах перепадов высот смежных пролетов зданий;

в) комбинированное – свет поступает через окна и верхние фонари или проемы.

Нормирование естественного освещения

При *одностороннем боковом* естественном освещении нормируется минимальное значение КЕО в точке, расположенной на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов, на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (или пола).

При *двустороннем боковом* освещении нормируется минимальное значение КЕО в точке посередине помещения на пересечении вер-

тикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (или пола).

При *верхнем* и *комбинированном* естественном освещении нормируется среднее значение КЕО в точках, расположенных на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (или пола). Первая и последняя точки принимаются на расстоянии 1 м от поверхности стен или перегородок:

$$e_{\text{cp}} = \frac{1}{N-1} \left(\frac{e_1}{2} + e_2 + e_3 + \dots + e_{N-1} + \frac{e_N}{2} \right), \quad (5.2)$$

где N – количество точек, в которых определяется КЕО;

e_1, e_2, \dots, e_N – значения КЕО в этих точках (в плоскости характерного разреза помещения).

Характерный разрез помещения – это поперечный разрез помещения, плоскость которого перпендикулярна к плоскости остекления световых проемов (при боковом освещении) или к продольной оси пролетов помещения. В характерный разрез помещения должны попадать участки с наибольшим количеством рабочих мест, а также точки рабочей зоны, наиболее удаленные от световых проемов.

Естественное освещение помещения вновь строящихся и реконструируемых зданий и сооружений различного назначения проектируется в соответствии с ТКП 45-2.04-153–2009 «Естественное и искусственное освещение». Основной величиной для расчета и нормирования естественного освещения внутри помещений является КЕО, значение которого зависит от коэффициента светового климата, характера и разряда зрительной работы, а также разновидности естественного освещения производственных помещений.

Для зданий, расположенных в различных районах местности, нормированные значения КЕО определяют по формуле

$$e_N = e_n m_N, \quad (5.3)$$

где e_n – значение КЕО (прилож. 1);

m_N – коэффициент светового климата для соответствующего номера группы административного района (ТКП 45-2.04-153–2009).

Разряды зрительных работ (от I до VIII) устанавливаются в зависимости от наименьшего размера, мм, объекта различения при его расположении на расстоянии не более 0,5 м от глаз работающего.

При недостаточном естественном освещении или в темное время суток применяется искусственное освещение. Оно создается искусственными источниками света (лампами накаливания или газоразрядными лампами).

В зависимости от способа размещения источников света искусственное освещение может быть общим, местным и комбинированным.

Общее освещение предназначено для освещения всего помещения, оно может быть равномерным или локализованным. Общее равномерное освещение создает условия для выполнения работы в любом месте освещаемого пространства. При общем локализованном освещении светильники размещают в соответствии с расположением оборудования, что позволяет создать на рабочих местах большую освещенность.

Местное освещение предназначено только для рабочих поверхностей и не создает необходимой освещенности даже на прилегающих к ним площадях. Оно может быть стационарным и переносным. Применение только местного освещения в производственных помещениях не допускается.

Комбинированное освещение состоит из общего и местного. Его целесообразно применять при работах высокой точности, а также при необходимости создания определенного или изменяемого в процессе работы направления света.

По функциональному назначению искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, охранное и дежурное.

Рабочее освещение применяют для всех помещений, участков, открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта.

Аварийное освещение подразделяется на освещение безопасности и эвакуационное.

Освещение безопасности предназначено для обеспечения работы при аварийном отключении рабочего освещения, если связанное с ним нарушение нормального обслуживания и механизмов может вызвать взрыв, пожар или отравление людей; длительное нарушение технологического процесса; нарушение работы диспетчерских

пунктов, насосных установок, водоснабжения, канализации, теплофикации, вентиляции, кондиционирования воздуха; нарушение режима работы детских учреждений. Наименьшая величина освещения безопасности при аварийном режиме в соответствии с нормами должна составлять не менее 5 % от освещенности, нормируемой для общего рабочего освещения, – не менее 2 лк внутри зданий и 1 лк на открытой территории.

Эвакуационное освещение предназначено для эвакуации людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения. Оно должно предусматриваться в местах, опасных для прохода людей; в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей при числе эвакуирующихся более 50 человек; в производственных помещениях с постоянно работающими в них людьми, где выход людей при аварийном отключении рабочего освещения связан с опасностью нанесения травм работающим оборудованием; в помещениях административных и бытовых зданий промышленных предприятий, если в них могут одновременно находиться более 100 человек; производственных помещениях без естественного света. Эвакуационное освещение должно обеспечивать на полу проходов и ступенях лестниц освещенность не менее 0,5 лк в помещениях и не менее 0,2 лк на открытых территориях.

Охранное освещение организуют вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время при отсутствии специальных технических средств охраны. Должно обеспечивать освещенность 0,5 лк на уровне земли.

Дежурное освещение предназначено для минимального искусственного освещения для несения дежурства охраной в нерабочее время, совпадающее с темным временем суток.

В качестве источников искусственного освещения применяются *лампы накаливания и газоразрядные лампы*.

В помещениях с газоразрядными источниками света при совпадении или кратности частоты пульсации светового потока от газоразрядной лампы и частоты вращения (колебания) подвижного объекта проявляется *стробоскопический эффект* – явление искажения зрительного восприятия вращающихся, движущихся или сменяющихся объектов в мелькающем свете.

Для демонстрации явления стробоскопического эффекта служит установка, приведенная на рис. 5.1.

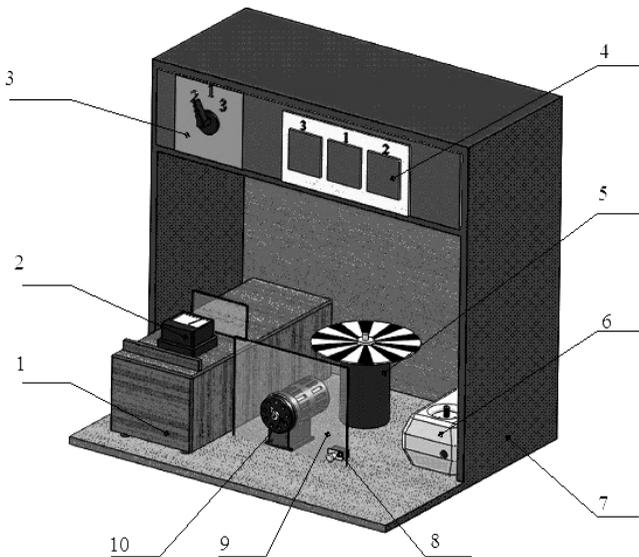


Рис. 5.1. Установка для изучения стробоскопического эффекта:
 1 – короб с фотоэлементом; 2 – люксметр; 3 – реле переключения;
 4 – схемы подключения; 5 – вращающийся диск; 6 – тумблер включения;
 7 – корпус установки; 8 – тумблер включения диска; 9 – основание установки;
 10 – регулятор скорости вращения диска

Для устранения стробоскопического эффекта газоразрядные источники света следует включать в разные фазы, а при однофазном питании – применять специальные схемы включения, обеспечивающие сдвиг по фазопитающему напряжению (при использовании индуктивного и емкостного сопротивления).

Нормирование искусственного освещения

Искусственное освещение оценивается непосредственно по освещенности рабочей поверхности E , лк. Рабочей считается поверхность, на которой производится работа и нормируется или измеряется освещенность. При выборе нормы освещенности необходимо кроме характера (разряда) зрительной работы учесть контраст объекта различения с фоном и характеристику фона, на котором рассматривается этот объект, т. е. определить подразряд зрительной работы: а, б, в или г (прилож. 1). При выполнении в помещении работ разрядов I–III, IVа, IVб, Va следует применять систему комбинированного освещения. Предусматривать систему общего освещения

допускается при технической невозможности или нецелесообразности устройства местного освещения, что конкретизируется в отраслевых нормах освещения, согласованных с органами Государственного санитарного надзора.

В производственных помещениях освещенность проходов и участков, где работа не проводится, должна составлять не более 25 % от нормируемой освещенности, создаваемой светильниками общего освещения, но не менее 75 лк при разрядных лампах и не менее 30 лк при лампах накаливания.

В цехах с полностью автоматизированным технологическим процессом следует предусматривать освещение для наблюдения за работой оборудования, а также дополнительно включаемые светильники общего и местного освещения для обеспечения необходимой освещенности при ремонтно-наладочных работах.

В процессе эксплуатации осветительных установок необходимо предусматривать регулярную очистку от загрязнений светильников и остекленных проемов, своевременную защиту отработавших свой срок службы ламп, контроль напряжения в осветительной сети, систематический ремонт элементов осветительной установки, регулярную окраску стен и потолка, контроль освещенности на рабочих местах.

Контроль состояния осветительных установок, необходимый для поддержания требуемой освещенности на рабочих местах, проводится периодически (не реже одного раза в год). Освещенность на рабочих местах проверяется с помощью люксметров. Сроки чистки светильников и остекления зависят от запыленности помещения: для помещений с незначительным выделением пыли – 2 раза в год; со значительным выделением – от 4 до 12 раз в год. Для удобства и безопасности очистки применяют передвижные тележки, телескопические лестницы, подвесные люльки; при высоте подвеса светильников до 5 м допускается обслуживание их с приставных лестниц и стремянок не менее чем двумя лицами. Чистка светильников должна проводиться при отключенном питании.

2. Приборы и оборудование

В настоящее время для измерения освещенности E , лк, используются приборы:

- люксметр Ю-116 со стрелочной индикацией;
- электронный люксметр ТКА-ПКМ/31 с цифровой индикацией.

Люксметр Ю-116 состоит из фотоэлемента с набором поглощительных насадок и гальванометра. Принцип действия прибора основан на фотоэлектрическом эффекте: световой поток, падающий на селеновый фотоэлемент, вызывает электрический ток, величина которого фиксируется стрелкой гальванометра пропорционально величине светового потока. Прибор имеет две шкалы измерения и соответствующие им кнопки управления. При нажатии на левую кнопку отсчет ведется по шкале 0–30 лк, при нажатии на правую – 0–100 лк.

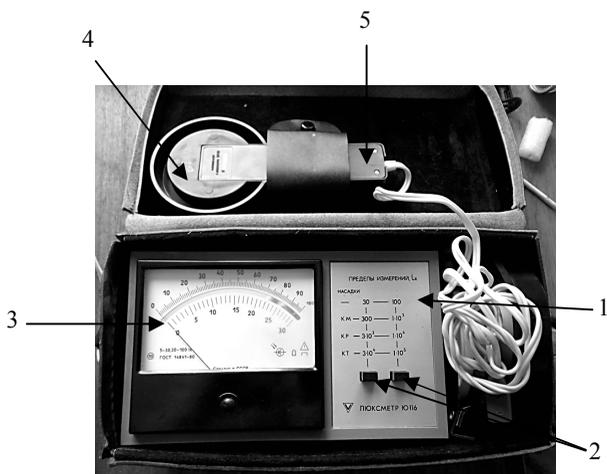


Рис. 5.2. Общий вид люксметра Ю-116:

1 – гальванометр; 2 – переключатель; 3 – фотоэлемент; 4 – насадка для уменьшения косинусной погрешности; 5 – шкала гальванометра

Небольшую погрешность измерений прибор дает при малых отклонениях стрелки гальванометра, поэтому на каждой шкале точкой обозначено допустимое начало измерений. На шкале 0–30 лк эта точка находится над отметкой 5 лк, а на шкале 0–100 лк – над отметкой 20 лк.

Для измерения больших освещенностей (свыше 100 лк) на фотоэлемент надевают светопоглощительные насадки *К*, *М*, *Р*, *Т*. Насадка *К* выполнена в виде полусферы из белой светорассеивающей пластмассы и служит для уменьшения косинусной погрешности, связанной с углом падения света на фотоэлемент. Насадка *К* применяется

только совместно с одной из насадок – *M*, *P* или *T*. Коэффициент ослабления светового потока при использовании насадок *K* и *M* составляет 10, насадок *K* и *P* – 100, насадок *K* и *T* – 1000. Показания прибора при использовании насадок умножают на соответствующий коэффициент ослабления.

Электронный люксметр ТКА-ПКМ/31 состоит из двух функциональных блоков: блока обработки сигналов *1* и фотометрической головки *3*, соединенных между собой кабелем связи *2* (рис. 5.3).

На лицевой стороне корпуса прибора расположены жидкокристаллический индикатор и переключатель каналов измерений, а на обратной стороне – крышка батарейного отсека.



Рис. 5.3. Общий вид люксметра ТКА-ПКМ/31:

1 – блок обработки сигналов; *2* – кабель связи; *3* – фотометрическая головка

Область применения люксметра – санитарный и технический надзор в жилых и производственных помещениях, аттестация рабочих мест и другие сферы деятельности.

Основные технические характеристики люксметра:

- диапазон измерения освещенности – 10–200 000 лк;
- предел допускаемой относительной погрешности – $\pm 8,0$ %;
- погрешность коррекции фотометрической головки – не более $\pm 5,0$ %;
- время непрерывной работы прибора – не менее 8,0 ч;
- источник питания – батарея (типоразмер «Крона» 9В);
- масса прибора – не более 0,4 кг;
- габаритные размеры прибора – не более 130×70×30 мм.

3. Порядок выполнения работы

Исследование естественной освещенности в учебной аудитории в зависимости от расстояния до световых проемов

1. Замерить люксметром естественную освещенность на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности на расстояниях 1, 2, 3, 4, 5 м от световых проемов при боковом освещении.

2. Заполнить табл. 5.1, построить график зависимости естественной освещенности E , лк, от расстояния до световых проемов $L_{п}$, м.

Таблица 5.1

Протокол измерения естественной освещенности в различных точках помещения

Расстояние от световых проемов $L_{п}$, м	1	2	3	4	5
Освещенность E , лк					

Определение коэффициента естественной освещенности

1. Определить значение КЕО в наиболее удаленной от световых проемов точке на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и рабочей поверхности.

2. Заполнить табл. 5.2.

Таблица 5.2

Протокол определения КЕО

Помещение	$E_{вн}$, лк	$E_{нар}$, лк	КЕО, %	Разряд зрительной работы	Нормируемый КЕО, %

3. Руководствуясь нормами ТКП 45-2.04-153–2009 «Естественное и искусственное освещение» (прилож. 1), определить соответствие полученного значения КЕО санитарным нормам.

Исследование зависимости общего искусственного освещения от высоты подвеса светильника

1. Зашторить в учебной аудитории окна для исключения влияния естественного света.

2. Включить общее освещение в учебной аудитории.

3. Определить зависимость освещенности от высоты подвеса светильника перемещением фотометрической головки люксметра

по вертикали. Сначала фотометрическую головку располагают на полу, затем последовательно поднимают на высоту 0,4; 0,8; 1; 1,6; 2 м от пола. Вычислить для каждой точки высоту подвеса светильника и освещенность, результаты занести в табл. 5.3.

4. Построить график зависимости, откладывая по оси ординат высоту подвеса H , м, а по оси абсцисс – освещенность E , лк.

Таблица 5.3

Исследование общего искусственного освещения на рабочем месте
в зависимости от высоты подвеса светильника

Высота подвеса светильников над рабочим местом H , м	Освещенность E , лк	Допустимый разряд работы	Размер объекта различения, мм

Исследование общего искусственного освещения на рабочем месте

1. Зашторить в учебной аудитории окна для исключения влияния естественного света.

2. Включить общее освещение учебной аудитории.

3. Измерить искусственную освещенность на рабочем месте.

4. По ТКП 45-2.04-153–2009 определить допустимую освещенность на рабочем месте (прилож. 1). Результаты занести в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Исследование общего искусственного освещения на рабочем месте

Измеренная освещенность на рабочем месте E , лк	Наименьший объект различения, мм	Допустимый разряд работы	Нормируемая освещенность E , лк

5. Сделать выводы по результатам измерений, предложить мероприятия по нормализации параметров.

Контрольные вопросы по теме занятия

1. На какие виды подразделяется естественное освещение?

2. По какому показателю нормируется естественная освещенность?

3. Что такое характерный разрез помещения?
4. В каких точках производственного помещения нормируется минимальное значение КЕО?
5. Как определяется значение КЕО?
6. На какие виды подразделяется искусственное освещение?
7. Что такое освещенность? В каких единицах она измеряется?
8. Какие лампы применяются в качестве источников искусственного освещения?
9. Какие приборы используются для измерения освещенности? Какие правила необходимо соблюдать при их использовании?
10. Что такое стробоскопический эффект?
11. Какими методами устраняется стробоскопический эффект?
12. Как нормируется искусственное освещение?

Лабораторное занятие № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Цель занятия: определить основные светотехнические параметры электрических источников света.

Приборы и оборудование: лабораторный стенд НТЦ-17.54.3 «Освещение. Светотехника», пульсметр-люксметр ТКА-ПКМ (08).

Задачи занятия:

1. Изучить методические указания по выполнению работы.
2. Ознакомиться с основными светотехническими характеристиками электрических источников света.
3. Изучить устройство стенда и порядок работы с ним.
4. Измерить светотехнические параметры электрических источников света.
5. Измерить коэффициент пульсации светового потока светильников с двумя линейными люминесцентными лампами низкого давления при обычной и антистробоскопической схемах включения и провести сравнительный анализ.
6. Измерить освещенность рабочей поверхности в зависимости от угла ее наклона.
7. Подготовить отчет по работе и защитить ее у преподавателя.

1. Общие положения

Назначение искусственного освещения – создать благоприятные условия видимости, сохранить хорошее самочувствие человека и уменьшить утомляемость глаз. При искусственном освещении все предметы выглядят иначе, чем при дневном свете, т. к. изменяется положение, спектральный состав и интенсивность источников излучения.

В современных осветительных установках, предназначенных для освещения производственных помещений, в качестве источников света применяют лампы накаливания, галогенные, газоразрядные и светодиодные лампы.

Лампа накаливания – электрический источник света, светящимся телом которого служит тело накала (рис. 6.1). Тело накала – провод-

ник, нагреваемый протеканием электрического тока до высокой температуры. В качестве материала для изготовления тела накала в настоящее время применяется практически исключительно вольфрам и сплавы на его основе. В конце XIX – первой половине XX в. тело накала изготавливалось из более доступного и простого в обработке материала – углеродного волокна.

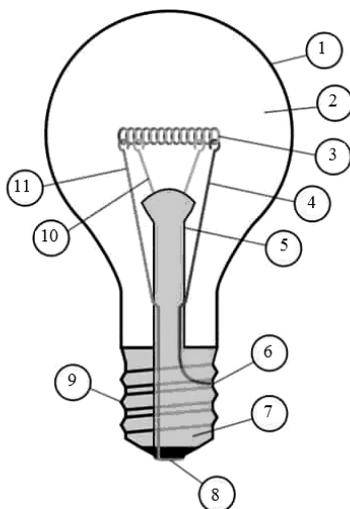


Рис. 6.1. Лампа накаливания:

- 1 – вакуумная колба; 2 – вакуумная или наполненная специальным газом емкость;
 3 – нить; 4, 11 – контакты; 5 – стойка лампы; 6 – предохранитель;
 7 – стеклянная защита цоколя; 8 – цокольный контакт;
 9 – цоколь; 10 – крепежи для нити накаливания

Промышленность выпускает различные типы ламп накаливания: вакуумные, газонаполненные (наполнитель – смесь аргона и азота), биспиральные с криптоновым наполнением, ксенон-галогенные.

Вакуумные модели имеют низкую стоимость, но вместе с тем наименьший срок службы – до 2500 ч. Являются наиболее простыми и привычными, легко заменяются, ремонту не поддаются.

Аргонные лампы ярче вакуумных, но практически полностью повторяют их конструкцию. Они имеют больший срок годности, нежели привычные. Это связано с тем, что нить из вольфрама защищена колбой с нейтральным аргоном, который противостоит высоким температурам горения.

Криптоновую модель можно распознать по очень высокой световой температуре: яркий белый свет может вызывать боль в глазах. Высокий показатель яркости обеспечен криптоном – высокоинертным газом с большой атомной массой. Его применение позволило значительно уменьшить вакуумную колбу, но не потерять яркость источника света.

Лампы накаливания могут иметь разную конструкцию, зависящую от назначения конкретного вида ламп. Однако общими для всех ламп накаливания являются такие элементы, как тело накала, колба и токовводы. В зависимости от особенностей конкретного типа могут применяться держатели тела накала различной конструкции. Лампы могут изготавливаться бесцокольными или с цоколями различных типов, иметь дополнительную внешнюю колбу и иные конструктивные элементы.

Преимущества:

- малая стоимость;
- небольшие размеры;
- отсутствие пускорегулирующей аппаратуры;
- практически мгновенное зажигание при включении;
- отсутствие токсичных компонентов и, как следствие, необходимости в инфраструктуре по сбору и утилизации;
- возможность работы как на постоянном токе (любой полярности), так и на переменном;
- возможность изготовления ламп на самое разное напряжение (от долей вольта до сотен вольт);
- отсутствие мерцания и гудения при работе на переменном токе;
- непрерывный спектр излучения;
- устойчивость к электромагнитному импульсу;
- возможность использования регуляторов яркости;
- нормальная работа при низкой температуре окружающей среды.

Недостатки:

- низкая световая отдача;
- относительно малый срок службы;
- резкая зависимость световой отдачи и срока службы от напряжения;
- нахождение цветовой температуры в пределах 2300–2900 К, что придает свету желтоватый оттенок;
- пожарная опасность. Через 30 мин после включения ламп накаливания температура наружной поверхности достигает в зависимости

от мощности следующих величин: 40 Вт – 145 °С; 75 Вт – 250 °С; 100 Вт – 290 °С; 200 Вт – 330 °С. При соприкосновении ламп с текстильными материалами их колба нагревается еще сильнее. Солома, касающаяся поверхности лампы мощностью 60 Вт, вспыхивает примерно через 67 мин;

– световой коэффициент полезного действия (КПД) ламп накаливания, определяемый как отношение мощности лучей видимого спектра к мощности, потребляемой от электрической сети, весьма мал и не превышает 4 %.

Галогенная лампа – это лампа накаливания или газоразрядная лампа, в баллон которой добавлен буферный газ – пары галогенов (брома или йода). Буферный газ повышает срок службы лампы (до 2000–4000 ч) и температуру спирали. Рабочая температура спирали составляет примерно 3000 К. Схема галогенной лампы приведена на рис. 6.2.

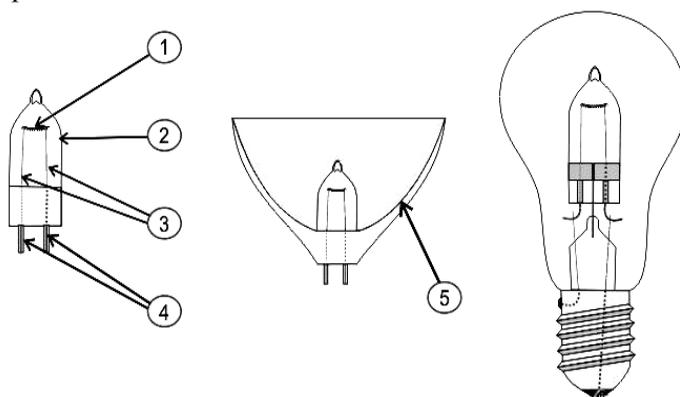


Рис. 6.2. Схема галогенной лампы:

1 – вольфрамовая нить; 2 – стеклянная колба; 3 – электроды;
4 – контактная группа; 5 – отражатель

Все галогенные лампы условно делят на две большие группы: лампы низкого напряжения (низковольтные) – до 24 В; лампы сетевого напряжения – 220 В. Кроме того, галогенные лампы различаются по конструкции и назначению.

Линейные галогенные лампы – это самый старый тип галогенных ламп, созданный в 60-х гг. XX в. Лампы представляют собой кварцевую трубку с выводами с обеих сторон (рис. 6.3). Нить накала поддерживается в лампе с помощью специальных кронштейнов из проволоки.

При своих небольших размерах лампы имеют значительную мощность – 1–20 кВт. В помещениях такие лампы не используются из-за высокой яркости и большой потребляемой мощности. Основная их область применения – прожекторное освещение. Существуют современные линейные галогенные лампы заливающего света, которые используются не только в наружном, но и во внутреннем освещении. Отличаются повышенной ударопрочностью.

Галогенные лампы с внешней колбой – это галогенные лампы сетевого напряжения, предназначенные для прямой замены ламп накаливания. Лампы с внешней стеклянной колбой выпускаются со стандартными цоколями E14 и E27 (цоколь Эдисона). Для таких ламп не требуются специальные светильники (рис. 6.4).

Внутри стеклянной колбы находится миниатюрная галогенная лампа напряжением 220 В. Внешняя колба защищает внутреннюю кварцевую от загрязнений и случайных прикосновений. По форме и размерам она похожа на колбу обычных ламп накаливания.



Рис. 6.3. Линейная галогенная лампа



Рис. 6.4. Галогенная лампа с внешней колбой

Галогенные лампы с отражателем (галогенные лампы направленного света) характеризуются различными углами излучения. Такие лампы выпускаются в стандартных типоразмерах – MR8, MR11 и MR16; самый популярный – MR16 (диаметр колбы – 50 мм).

Лампа состоит из миниатюрной колбы со специальным отражателем – рефлектором (рис. 6.5), который перераспределяет световой поток лампы в пространстве. Сама галогенная лампа расположена по центру отражателя.

Так как галогенные лампы являются современной разновидностью ламп накаливания, то при работе они выделяют большое количество тепла. Галогенные лампы с алюминиевым отражателем направляют

тепло вперед. Для случаев, когда это недопустимо, существуют галогенные лампы с интерференционным отражателем (специальное полупрозрачное покрытие), у которых тепло отводится назад.

Капсульные (пальчиковые) галогенные лампы имеют миниатюрные размеры и представляют собой небольшую капсулу с выводами (рис. 6.6). Выпускаются с поперечными и продольными телами накала. Такие лампы могут использоваться в открытых светильниках без защитных стекол, применяются в основном для встроенных в мебель и потолок светильников, для декоративной подсветки. Существуют модели светильников общего освещения с капсульными галогенными лампами.



Рис. 6.5. Галогенная лампа с отражателем



Рис. 6.6. Капсульная галогенная лампа

Преимущества:

– повышенная световая отдача – 25 лм/Вт, что на 60 % превышает показатели обычных ламп накаливания. Это обеспечивается благодаря инертному газу, который изначально находится в колбе. После закачивания в нее паров йода или брома увеличивается температура накала вольфрамовой нити;

– стабильный и яркий свет, не меняющийся в течение срока службы. У галогенных ламп желтоватый свет, который обеспечивает качественную видимость дорожного полотна ночью и в непогоду. Достаточная яркость позволяет осветить не только дорогу перед автомобилем, но и обочину, что дает возможность заранее увидеть пешеходов или животных, предотвратив аварию;

- увеличенный срок службы;
- компактная конструкция;
- регулирование светового потока в случае необходимости;
- высокая степень безопасности, особенно с точки зрения эксплуатации в условиях повышенной влажности (низковольтные лампы).

Недостатки:

– высокая температура – колба галогенной лампы нагревается до высокой температуры, причиной чего является большая светоотдача и сильный разогрев вольфрамовой нити;

– качество ламп – некоторые производители выпускают галогенные лампы низкого качества, чтобы уменьшить их стоимость, которая и так небольшая;

– низкая экономия энергии;

– дополнительный уход – нормальное функционирование только в идеальных условиях эксплуатации.

Газоразрядная (разрядная) лампа обладает высокой эффективностью преобразования электрической энергии в световую. Подавляющее большинство разрядных ламп работает в парах ртути.

Разрядные источники света постепенно вытесняют привычные лампы накаливания, однако имеют такие недостатки, как линейчатый спектр излучения, утомляемость от мерцания света, шум пуско-регулирующей аппаратуры (ПРА), вредность паров ртути в случае попадания в помещение при разрушении колбы, невозможность мгновенного перезажигания для ламп высокого давления.

Принцип работы газоразрядных ламп: видимое излучение света происходит вследствие возникновения разряда электричества в герметичной среде газа (неон, аргон, криптон, ксенон) или пара металлов (натрий, ртуть).

Общая характеристика газоразрядных ламп:

– срок службы – от 3000 до 20 000 ч;

– светоотдача – от 40 до 150 лм/Вт;

– цвет излучения – тепло-белый (3000) или нейтрально-белый (4200);

– цветопередача – хорошая (для 3000: индекс цветопередачи $R_a > 80$), отличная (для 4200: $R_a > 90$);

– компактные размеры излучающей дуги, позволяющие создавать световые пучки высокой интенсивности.

Область применения газоразрядных ламп:

– магазины и витрины, офисы и общественные места;

– производственное освещение;

– художественное освещение театров, кино и эстрады (профессиональное световое оборудование).

По давлению внутри колбы газоразрядные лампы подразделяются на лампы низкого и высокого давления.

Основное преимущество *ламп высокого давления* – более высокая степень светоотдачи. По типу наполнителя они подразделяются на ртутные, натриево-ртутные, иодидо-металло-ртутные и инертно-газовые.

Ртутная газоразрядная лампа высокого давления (рис. 6.7) имеет напыление люминофора и является люминесцентной лампой высокого давления. Обозначается аббревиатурой ДРЛ.



Рис. 6.7. Ртутная газоразрядная лампа

Натриево-ртутные (натриевые) газоразрядные лампы высокого давления (рис. 6.8) обозначаются аббревиатурой Днат.

Иодидо-металло-ртутные (металлогалогенные) газоразрядные лампы (рис. 6.9) являются лампами высокого давления с наполнителем – иодидами редкоземельных металлов с вмещением ртутных паров. Обозначаются аббревиатурой ДРИ.



Рис. 6.8. Натриево-ртутная газоразрядная лампа



Рис. 6.9. Иодидо-металло-ртутная газоразрядная лампа

Инертно-газовые газоразрядные лампы высокого давления являются сугубо газовыми лампами, в которых применяются аргон, ксенон, неон, криптон или их смеси и носят названия соответствующего газа.

Лампы низкого давления имеют преимущества только при освещении помещений, не нуждающихся в высокой мощности освети-

тельных приборов; чаще всего используются для декоративного освещения. В зависимости от наполнителя подразделяются на ртутные с инертным газом и натриевые.

Лампы низкого давления, наполнителем которых являются пары ртути с примесью разновидностей инертного газа, называются обыкновенными люминесцентными лампами (ЛЛ) и содержат слой люминесцена.

Лампы низкого давления с наполнителем паров натрия не являются таковыми из-за иного принципа действия. Обозначаются аббревиатурой ДнаС.

Преимущества:

- большая светоотдача (люминесцентная лампа на 20 Вт дает освещенность как лампа накаливания на 100 Вт) и более высокий КПД;
- спектр излучения лампы, приближенный к естественному;
- разнообразие оттенков света;
- рассеянный свет;
- длительный срок службы (2000–20 000 ч в отличие от 1000 ч у ламп накаливания) при условии обеспечения достаточного качества электропитания, балласта и соблюдения ограничений по числу включений и выключений (поэтому их не рекомендуется применять в местах общего пользования с автоматическими выключателями с датчиками движения).

Ртутные лампы отличаются высоким световым КПД (в 2–3 раза большим, чем у ламп накаливания общего назначения), большим сроком службы и компактностью, благодаря чему они подходят для регулирования светового потока.

Недостатки:

- сложность схемы включения;
- ограниченная единичная мощность (до 150 Вт);
- зависимость от температуры окружающей среды (лампы могут гаснуть или не зажигаться при снижении температуры);
- значительное снижение светового потока к концу срока службы;
- вредные для зрения пульсации светового потока – это основной недостаток источников искусственного освещения (с позиции безопасности). Данный параметр характеризуется коэффициентом пульсации.

Коэффициент пульсации – относительная величина, измеряемая в процентах от разности максимального и минимального значений освещенности в люксах, приведенная к усредненному значению освещенности за период:

$$K_{\text{п}} = 100 \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{2E_{\text{ср}}}$$

Наиболее опасное следствие пульсации света – стробоскопический эффект на промышленных объектах, где присутствуют быстро движущиеся открытые механизмы и детали машин. Частота их вращения может совпасть с частотой мерцания света, и может показаться, что механизм неподвижен, что зачастую является причиной серьезных травм и повреждений;

- акустические помехи и повышенная шумность работы;
- отсутствие возможности зажечь лампу при снижении напряжения сети более чем на 10 % от номинального значения;
- дополнительные потери энергии в пускорегулирующей аппаратуре, достигающие 25–35 % мощности ламп;
- наличие радиопомех;
- тщательная утилизация вышедших из строя газоразрядных лампы по причине содержания в них вредных для здоровья веществ (паров ртути);
- максимальное значение светового потока достигается не сразу, а спустя несколько минут после включения;
- чувствительность к частым включениям и выключениям (не рекомендуется включать лампу, прежде чем пройдет несколько минут после выключения).

Светодиодная лампа – это лампа, практически обычная на вид, с множеством светодиодов, а также полупроводниковым кристаллом на подложке и оптической системой (рис. 6.10).

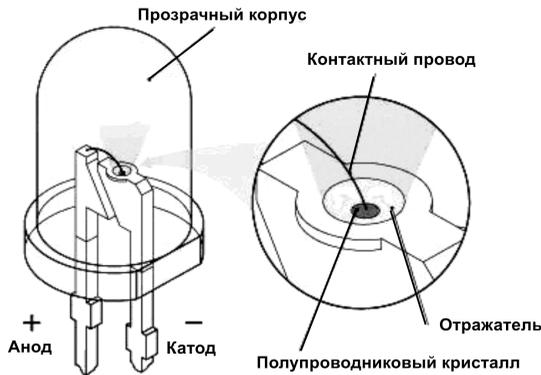


Рис. 6.10. Светодиодная лампа

Принцип работы светодиодных ламп состоит в излучении света находящимися в этих лампах одиночными светодиодами или группами светодиодов, связанных специальной микросхемой, вмещающей в себя преобразователь сетевого тока в рабочий ток, на котором работают данные элементы.

Светодиод представляет собой полупроводниковый аналоговый элемент, ранее использовавшийся для индикации в микроэлектронике, который преобразует электрический ток в свет при прохождении тока через полупроводниковый кристалл. Имеет свойство пропускать ток только в одном направлении.

Светодиодная лампа состоит из анода и катода, расположенных по разные стороны от светоизлучающего кристалла, который легирован примесями: с одной стороны – акцепторными, с другой – донорскими. Кристалл находится на подложке из кремния или силикона либо в стеклянной оболочке.

Электрический ток движется от источника с большим потенциалом (анода – со знаком «+») через кристалл в направлении электрода с меньшим потенциалом (катод – со знаком «-»). Эту область перехода тока называют *p-n*-переходом, в котором и возникает свечение при рекомбинации электронов и «дырок» в его области.

Светодиодные лампы различны по конструкции, составу внутренней среды, форме плафонов (стандарты соответствуют остальным видам ламп), цветовой отдаче, рабочему питанию.

Светодиодные лампы на 4 В применяются в маломощных источниках освещения, часто в декоративных светильниках – «свечках» (в качестве вспомогательного локального, декоративного освещения).

Светодиодные лампы на 12 В являются заменой современных ламп накаливания и галогенных ламп, а также разновидностей газоразрядных/люминесцентных ламп. Они имеют достаточную мощность освещения при невысокой теплоотдаче, что делает их хорошими источниками не только общего, но и встроенного мебельного освещения.

Светодиодные лампы на 220 В используются для высокомощного освещения, входное питание преобразуется в меньшее посредством встроенного трансформатора и питает светоизлучающие элементы (светодиоды). Это единственный вид светодиодных ламп, который не требует отдельного подключения трансформатора.

Преимущества:

– низкое энергопотребление (такой лампе нужно 10 Вт, чтобы осветить помещение равносильно лампе накаливания в 100 Вт);

- отсутствие ультрафиолетового излучения. Ультрафиолетовая составляющая обычного освещения может привести к повреждению тканей глаз;
- выделение малого количества тепла при освещении, что снижает стоимость строительства кондиционирования воздуха;
- длительный срок службы лампы – большинство производителей светодиодов оценивает ее работу в 40 000–50 000 ч;
- безопасность с точки зрения экологии (по сравнению с энергоберегающими лампами, содержащими ртуть);
- малый вес, ударопрочность;
- мгновенный разогрев (менее чем за 1 с).

Недостатки:

- высокая стоимость;
- неприятный спектр свечения, вследствие чего использовать их в светильниках для чтения или другой кропотливой работы неприемлемо.

2. Подготовка стенда к работе

1. Присоединить сетевую вилку лабораторного стенда к однофазной сети ~220 В, 50 Гц.

2. Включить автоматы QF1 и QF2 «Сеть». Проверить начальные положения органов управления: указатель регулятора ЛАТРа в «нулевом» положении, тумблер включения ЛАТРа SA2 отключен, клавишный выключатель SA1 отключен. После короткого теста на индикаторах измерительной системы установятся нулевые показания. Стенд готов к работе.

3. Порядок проведения измерений

Исследование светотехнических характеристик электрических источников света

1. При помощи перемычек собрать схему подключения внешнего светильника (рис. 6.11).

2. Включить клавишный выключатель SA1 и тумблер включения ЛАТРа SA2.

3. Плавно увеличить напряжение регулятором ЛАТРа до необходимой величины (значение напряжения задается преподавателем).

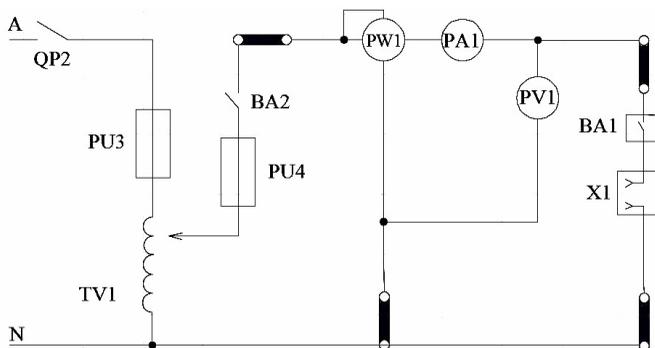


Рис. 6.11. Схема подключения внешнего светильника

4. Установить фотометрический датчик прибора ТКА-ПКМ (08) в подвижный кронштейн.

5. Измерить освещенность и коэффициент пульсации $K_{\text{п}}$ от лампы накаливания, галогенной лампы, люминесцентной лампы высокого давления, светодиодной лампы.

6. Для снятия показаний линейной люминесцентной лампы низкого давления собрать схему подключения люминесцентного светильника со стартерной схемой включения при помощи перемычек (рис. 6.12).

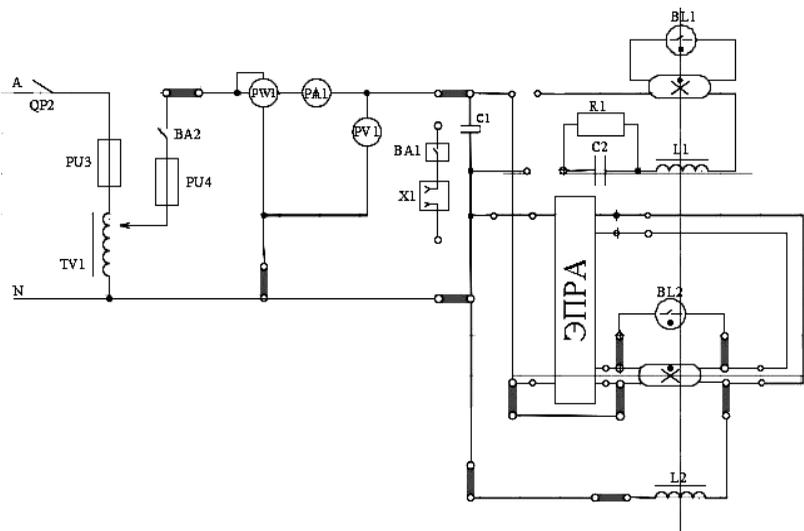


Рис. 6.12. Схема подключения люминесцентного светильника со стартерной схемой включения

7. Сравнить светотехнические показатели различных источников света, занести результаты измерений в табл. 6.1. Сделать вывод.

Таблица 6.1

Результаты измерения светотехнических показателей различных источников света

Показатель	Типы ламп					
	Лампа накаливания	Галогенная лампа	Линейная люминесцентная лампа низкого давления	Компактная люминесцентная лампа низкого давления	Люминесцентная лампа высокого давления типа ДРЛ	Светодиодная лампа
Световой поток F , лм						
Коэффициент пульсации $K_{п}$, %						

Исследование коэффициента пульсации светового потока с двумя линейными люминесцентными лампами низкого давления с обычной и антистробоскопической схемой включения

1. Для измерения коэффициента пульсации от линейной люминесцентной лампы низкого давления собрать схему подключения люминесцентного светильника со стартерной схемой включения при помощи перемычек (см. рис. 6.12).

2. Установить фотометрический датчик прибора ТКА-ПКМ (08) в подвижный кронштейн.

3. Измерить коэффициент пульсации $K_{п}$, занести данные в табл. 6.2.

4. Собрать антистробоскопическую схему включения двух люминесцентных светильников (рис. 6.13).

5. Установить фотометрический датчик прибора ТКА-ПКМ (08) в подвижный кронштейн и измерить коэффициент пульсации $K_{п}$.

6. Провести сравнительный анализ измеренных значений, занести результаты измерений в табл. 6.2. Сделать вывод.

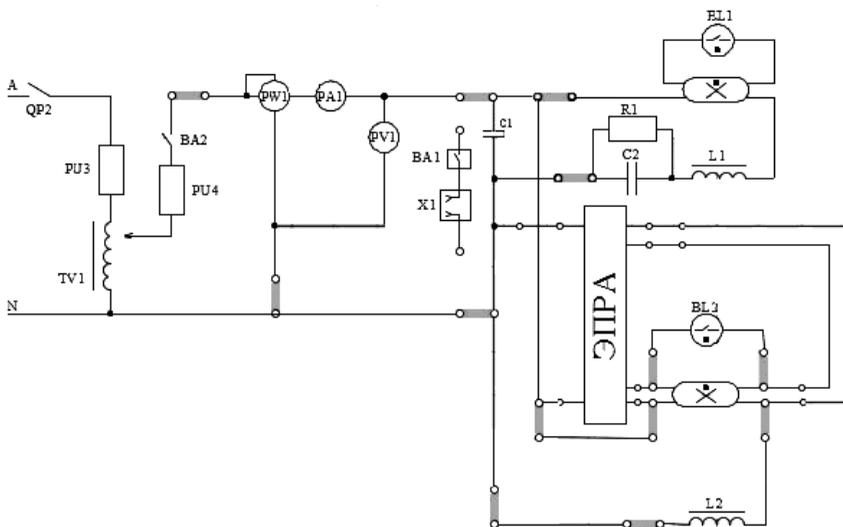


Рис. 6.13. Антистробоскопическая схема включения двух люминесцентных светильников

Таблица 6.2

Результаты измерения коэффициента пульсации

Коэффициент пульсации $K_p, \%$	Линейная люминесцентная лампа низкого давления при обычной схеме включения	Две люминесцентные лампы низкого давления при антистробоскопической схеме включения

Определение зависимости освещенности рабочей поверхности от угла ее наклона

1. При помощи перемычек собрать схему подключения внешнего светильника (рис. 6.11).

2. Установить фотометрический блок прибора ТКА-ПКМ (08) в подвижный кронштейн из прозрачного поликарбоната, имеющий поворачивающую площадку с угловой шкалой.

3. Измерить освещенность от светильника, указанного преподавателем. Отсчет угла наклона производится с помощью шкалы.

4. Результаты измерений занести в табл. 6.3. Построить график зависимости освещения от угла наклона рабочей поверхности. Сделать вывод.

Таблица 6.3

Результаты измерения освещения в зависимости
от угла наклона рабочей поверхности

Угол наклона рабочей поверхности	0°	20°	40°	60°	80°	90°
Освещенность E , лк						

Контрольные вопросы по теме занятия

1. Каковы основные светотехнические характеристики электрических источников света?
2. Назовите основные современные источники света.
3. На какие виды подразделяются лампы накаливания? Перечислите их достоинства и недостатки.
4. На какие виды подразделяются галогенные лампы? Перечислите их достоинства и недостатки.
5. На какие виды подразделяются газоразрядные лампы? Перечислите их достоинства и недостатки.
6. Что такое коэффициент пульсации?
7. Перечислите достоинства и недостатки светодиодных ламп.

Лабораторное занятие № 7

ОЦЕНКА ШУМА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ПО ЕГО УМЕНЬШЕНИЮ

Цель занятия: ознакомиться с методикой измерения параметров шума на рабочих местах в производственных помещениях, провести оценку их соответствия гигиеническим нормативам и исследовать акустическую эффективность некоторых способов и средств защиты от шума.

Приборы и оборудование: лабораторная установка, шумомер «Октава-110А».

Задачи занятия:

1. Изучить методические указания по выполнению работы.
2. Ознакомиться с методикой гигиенической оценки шума на рабочих местах и принципами его нормирования.
3. С помощью шумомера «Октава-110А» произвести измерения среднеквадратичных, эквивалентных и пиковых уровней звука с целью оценки внешнего шума источника. Результаты исследований сопоставить с гигиеническими нормативами параметров шума.
4. Изучить средства защиты от шума и исследовать их акустическую эффективность.
5. Подготовить отчет по работе и защитить его у преподавателя.

1. Общие положения

Шум является одним из наиболее распространенных вредных производственных факторов и при определенных условиях может выступать как опасный.

Основными источниками шума внутри зданий и сооружений различного назначения и на площадках промышленных предприятий являются машины, механизмы, средства транспорта и другое оборудование.

Причинами возникновения шумов могут быть механические, аэродинамические и электромагнитные явления. *Механические шумы* вызываются ударными процессами, трением в деталях машин и др., *аэродинамические* возникают при течении жидкостей или газов, *электромагнитные* – при работе электрических машин.

Шум (звук) – упругие колебания в частотном диапазоне от 16 до 20 кГц, воспринимаемом органом слуха человека, распространяющиеся в виде волн в газообразных средах или образующие в ограниченных областях этих сред стоячие волны.

По характеру спектра шум следует подразделять на широкополосный и тональный. *Широкополосный шум* – это шум с непрерывным спектром шириной более одной октавы. *Тональный шум* – это шум, в спектре которого имеются выраженные дискретные (тональные) составляющие. Тональный характер шума для практических целей устанавливается измерением в 1/3-октавных полосах частот по превышению уровня звукового давления в одной полосе над соседними не менее чем на 10 дБ.

По временным характеристикам различают постоянный и непостоянный шум. *Постоянный шум* – это шум, уровень звука которого за 8-часовой рабочий день (рабочую смену) или за время измерения в помещениях жилых и общественных зданий, на территории жилой застройки изменяется во времени не более чем на 5 дБА при измерениях на стандартизованной временной характеристике «Медленно» измерительного прибора. *Непостоянный шум* – это шум, уровень звука которого за 8-часовой рабочий день (рабочую смену) или за время измерения в помещениях жилых и общественных зданий, на территории жилой застройки изменяется во времени более чем на 5 дБА при измерениях на стандартизованной временной характеристике «Медленно» измерительного прибора.

Непостоянный шум подразделяют:

– на колеблющийся – шум, уровень звука которого непрерывно изменяется во времени;

– прерывистый – шум, уровень звука которого изменяется во времени ступенчато (на 5 дБА и более). Длительность интервалов, в течение которых уровень звука остается постоянным, составляет 1 с и более;

– импульсный – шум, состоящий из одного или нескольких звуковых сигналов.

Вредное действие шумов проявляется:

– в специфическом поражении слухового аппарата;

– неспецифических изменениях других органов и систем человека.

Специфическое шумовое воздействие, сопровождающееся повреждением слухового аппарата, проявляется в виде медленно прогрессирующего снижения слуха. Снижение слуха на 10 дБ практи-

чески неощутимо, на 20 дБ – начинает серьезно мешать, т. к. нарушается способность слышать важные звуковые сигналы, наступает ослабление разборчивости речи. Чаще всего снижение слуха развивается в течение 5–7 лет и более, однако у некоторых лиц серьезное шумовое повреждение слуха может наступить в первые месяцы воздействия. Работники жалуются на ухудшение слуха, головные боли, шум и писк в ушах.

Помимо патологии органа слуха при воздействии шума наблюдаются отклонения в состоянии вестибулярной функции, а также общие неспецифические изменения в организме: головные боли, головокружение, боли в области сердца, желудка, желчного пузыря, повышение артериального давления, изменение кислотности желудочного сока. Шум вызывает снижение функций защитных систем и общей устойчивости организма к внешним воздействиям. Неспецифическое действие шума иногда проявляется раньше, чем поражение слуха.

На производстве интенсивный шум способствует снижению внимания и увеличению ошибок при выполнении работы. Из-за шума снижается производительность труда (до 60 %) и ухудшается качество работы (число ошибок в расчетах увеличивается более чем на 50 %). Шум затрудняет своевременную реакцию работающих на предупредительные сигналы внутрицехового транспорта (автопогрузчики, мостовые краны и т. п.), что способствует возникновению несчастных случаев на производстве.

Звуковые колебания характеризуются скоростью их распространения и частотой.

Скорость распространения звуковой волны в газах, м/с:

$$c = \sqrt{\gamma(P_0/\rho_0)}, \quad (7.1)$$

где γ – показатель адиабаты, соответствующий отношению удельной теплоемкости газа при постоянном давлении к удельной теплоемкости газа при постоянном объеме $\gamma = C_p / C_v$;

ρ_0 – плотность газа, кг/м³;

P_0 – статическое давление, Па.

Частота звука f – число периодов колебаний в секунду, Гц. Человеческое ухо воспринимает звуковые колебания с частотой 16–20 000 Гц (менее 16 Гц – инфразвук, более 20 000 Гц – ультразвук).

Звуковой диапазон разделяют на низкочастотный (до 400 Гц), среднечастотный (400–800 Гц) и высокочастотный (свыше 800 Гц).

При воздействии шумов на организм человека имеют значение их уровень, характер, спектральный состав, продолжительность действия, состояние центральной нервной системы и индивидуальная чувствительность организма к акустическому раздражителю. Если сравнивать шумы с одинаковым уровнем звукового давления, то высокочастотные шумы ($f > 800$ Гц) более неприятны человеку, чем низкочастотные ($f < 400$ Гц).

Давление, дополнительно возникающее в среде (газ, жидкость или твердое тело) при прохождении через нее звуковой волны, называется **звуковым давлением**. Единица измерения звукового давления – Па, или Н/м².

Средний поток звуковой энергии, проходящей в единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярной направлению распространения звуковой волны, называется **интенсивностью звука** I , Вт/м². Интенсивность звука является функцией звукового давления и колебательной скорости в каждой точке среды $I = P^2 / (\rho c)$.

Органы слуха человека способны воспринимать огромный диапазон интенсивности звука. Существуют пороговые значения интенсивности звука I_0 и звукового давления P_0 , едва ощутимые органами слуха.

Порог слышимости (при $f = 1000$ Гц) характеризуется значениями $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м², $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Максимальные значения I и P вызывают болевые ощущения и превышают пороговые в 10^{14} раз. При $f = 1000$ Гц *болевой порог* характеризуется значениями $I_6 = 10^2$ Вт/м², $P_6 = 2 \cdot 10^2$ Па.

Слуховой аппарат человека воспринимает звук пропорционально логарифму относительного изменения интенсивности звука или звукового давления. Введены логарифмические характеристики уровня интенсивности звука L_I и уровня звукового давления L_P , выраженные в децибелах (дБ).

Уровень интенсивности и уровень звукового давления определяют по формулам

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0}; \quad L_P = 20 \lg \frac{P}{P_0}, \quad (7.2)$$

где I, P – фактические значения интенсивности и звукового давления;
 I_0, P_0 – значения интенсивности и звукового давления, соответствующие порогу слышимости.

Величина уровня интенсивности используется при проведении акустических расчетов, а уровня звукового давления – для измерения и оценки его воздействия на человека, поскольку органы слуха чувствительны не к интенсивности, а к среднеквадратичному значению давления.

Шум в производственных помещениях создают, как правило, несколько одновременно работающих машин, поэтому требуется сложить уровни шума каждого источника. Необходимо помнить, что уровни нельзя складывать или вычитать как обычные числа ввиду их логарифмической природы.

Сложение нескольких одинаковых уровней выполняют по формуле

$$L_{\Sigma} = L + 10 \lg N, \quad (7.3)$$

где N – количество источников шума.

Сложение различных уровней шума выполняют по формуле

$$L_{\Sigma} = 10 \lg(10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2} + \dots + 10^{0,1L_n}), \quad (7.4)$$

где $L_1, L_2 \dots L_n$ – уровни шума каждого источника, дБ.

2. Нормирование шума на рабочих местах

Гигиенические нормативы шума слышимого диапазона на рабочих местах определены ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ и СанПиН «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» (постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 16.07.2011 г. № 115).

Для нормирования постоянных шумов применяют предельно допустимые уровни (ПДУ) звукового давления в девяти октавных полосах частот в зависимости от тяжести и напряженности трудового процесса.

ПДУ шума – уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 ч в неделю в течение всего рабочего стажа не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Нормируемыми параметрами постоянного шума на рабочих местах и в транспортных средствах являются:

– уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со средне-геометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц;

– уровни звука, дБА.

Превышение хотя бы одного из указанных показателей должно квалифицироваться как несоответствие СанПиН. Для ориентировочной оценки в качестве характеристики постоянного *широкополосного шума* на рабочих местах допускается принимать уровень звука, дБА, измеренный на временной характеристике «Медленно» шумомера.

Эквивалентный (по энергии) *уровень звука* $L_{\text{ЭКВ}}$ (дБА) – уровень звука постоянного широкополосного шума, который имеет такое же среднее квадратическое звуковое давление, что и данный непостоянный шум в течение определенного интервала времени:

$$L_{\text{ЭКВ}} = 10 \lg \frac{1}{\tau} \int_{P_0}^{\tau} \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt, \quad (7.5)$$

где $P_A(t)$ – текущее значение звукового давления с учетом коррекции «А» шумомера, Па;

τ – время действия шума, ч.

Нормируемыми параметрами непостоянного шума на рабочих местах являются:

– эквивалентный уровень звука, дБА;

– максимальный уровень звука, дБА.

Превышение хотя бы одного из указанных показателей должно квалифицироваться как несоответствие СанПиН.

ПДУ звукового давления в октавных полосах частот и уровни звука постоянного шума, а также эквивалентные уровни звука для наиболее

типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест с учетом условий тяжести и напряженности труда указаны в табл. 7.1 и прилож. 2.

Таблица 7.1

ПДУ звука и эквивалентные по энергии уровни звука при непостоянном шуме на рабочих местах с разными условиями тяжести и напряженности труда, дБА

Класс условий по напряженности труда	Классы условий по тяжести труда		
	оптимальные, допустимые	вредные 1-й степени	вредные 2-й степени
оптимальные, допустимые	80	75	75
вредные 1-й степени	65	65	–
вредные 2-й степени	50	–	–

Для тонального и импульсного шума ПДУ должны приниматься на 5 дБ (дБА) меньше значений, указанных в табл. 7.1 и прилож. 2.

Для шума, создаваемого в помещениях установками кондиционирования воздуха, вентиляции и воздушного отопления, ПДУ принимаются на 5 дБ (дБА) меньше значений, указанных в табл. 7.1 и прилож. 2 (поправка для тонального и импульсного шума в данном случае не учитывается).

Для колеблющегося во времени и прерывистого шума максимальный уровень звука не должен превышать 110 дБА, а для импульсного шума – 125 дБА.

Для импульсного шума с уровнем 110 дБА и более следует дополнительно проводить измерения шума в режиме «Пик» измерительного прибора. Максимальный уровень звука импульсного шума в режиме «Пик», измеренный на стандартизированной частотной характеристике «С» измерительного прибора, не должен превышать 140 дБС.

Пребывание людей в зонах с уровнем звука или звукового давления в любой октавной полосе свыше 135 дБА (дБ) запрещается.

Эквивалентный по энергии уровень звука, дБА, может быть измерен специальными интегрирующими шумомерами либо рассчитан по формуле

$$L_{\text{Аэкв}} = 10 \lg \left(\frac{1}{100} \sum_{i=1}^n t_i \cdot 10^{\frac{L_i}{10}} \right), \quad (7.6)$$

где t_i – относительное время воздействия шума i -го класса L_i , %;
 L_i – средний уровень звука i -го класса, дБА;
 n – число классов.

Уровни непостоянного шума, записанные на ленте самописца или считанные с шумомера, разбивают на классы с диапазоном по 5 дБА и производят расчет по формуле (7.6).

3. Средства и методы защиты от шума

Выбор методов и средств защиты работающего от звуковых колебаний производится на основе акустических расчетов и измерений и их сравнения с нормированными шумовыми характеристиками.

Для защиты от шума следует руководствоваться **методами**, основными из которых являются снижение шума в источнике, ослабление его на пути распространения, применение организационно-технических мероприятий и средств индивидуальной защиты.

Наиболее эффективный метод – **снижение шума в источнике его возникновения**. Для уменьшения *механического шума* необходимо своевременно проводить ремонт оборудования, заменять ударные процессы на безударные (штамповку – прессованием, клепку – сваркой, обрубку – фрезерованием и т. д.), возвратно-поступательные перемещения деталей – на вращательные, шире применять принудительное смазывание трущихся поверхностей, балансировку вращающихся частей. Значительное снижение шума достигается при замене подшипников качения на подшипники скольжения, зубчатых и цепных передач – клиноременными и гидравлическими, металлических деталей – деталями из пластмасс.

Снижения *аэродинамического шума* можно добиться уменьшением скорости обтекания газовыми (воздушными) потоками препятствий; улучшением аэродинамики конструкций, работающих в контакте с потоками; снижением скорости истечения газовой струи и уменьшением диаметра отверстия, из которого эта струя истекает, установкой глушителей.

Широкое применение получили **акустические средства защиты от шума на пути его распространения**:

- средства звукопоглощения;
- средства звукоизоляции;
- глушители шума.

Использование *звукопоглощения* для снижения шума в помещении именуется акустической обработкой помещения. С этой целью применяют:

- облицовку части внутренних поверхностей помещения звукопоглощающими материалами;
- размещение в помещении штучных звукопоглотителей различных конструкций, подвешиваемых на потолочные перекрытия.

Для звукопоглощающей облицовки помещения используются стекловата, минеральная и капроновая вата, мягкие пористые волоконистые материалы, акустические плиты с зернистой или волокнистой структурой типа «Акмигран», «Акминит», «Силакпор» и др.

К средствам звукоизоляции относятся:

- звукоизолирующие ограждения – стены, перекрытия, перегородки, остекленные проемы, окна, двери. Они позволяют изолировать источник шума от помещения или само помещение от шума, проникающего извне. Звукоизоляция достигается созданием герметичной преграды на пути распространения воздушного шума. Физическая сущность звукоизолирующих преград состоит в том, что падающая на ограждение энергия звуковой волны отражается в значительно большей степени, чем проходит через него;

- звукоизолирующие кожухи, которыми закрывают наиболее шумные механизмы и машины. Изготавливаются из конструкционных материалов (стали, сплавов алюминия, пластмасс, ДСП и др.) и облицовываются изнутри звукопоглощающим материалом. Кожух должен плотно закрывать источник шума, но не соединяться с механизмом жестко, т. к. это дает отрицательный эффект: кожух становится дополнительным источником шума. Как и в случае звукоизолирующих ограждений, на высоких частотах кожухи снижают уровень шума более эффективно, чем на низких. Так, стальной кожух с размером стенки 4×4 м и толщиной 1,5–2,0 мм обеспечивает снижение шума на частоте $f = 63$ Гц на 21 дБ, а на частоте $f = 4000$ Гц – на 50 дБ;

- звукоизолирующие кабины, представляющие собой локальные средства шумозащиты, устанавливаемые на автоматизированных линиях у постов управления и рабочих местах в шумных цехах для изоляции человека от источника шума. Их изготавливают из кирпича, бетона, стали, ДСП и других материалов. Окна и двери кабины должны иметь специальное конструктивное исполнение: окна с двойными стеклами по всему периметру заделываются резиновой прокладкой, двери выполняются двойными с резиновыми прокладками по периметру;

– акустические экраны на пути распространения шума, если нет возможности полностью изолировать источник шума либо самого человека с помощью ограждений, кожухов и кабин. Экран представляет собой конструкцию, изготовленную из сплошных твердых листов (из металла, фанеры, оргстекла и т. п.) толщиной не менее 1,5–2 мм с покрытой звукопоглощающим материалом поверхностью. Акустический эффект экрана (снижение уровня шума) основан на образовании за экраном «области тени», куда звуковые волны проникают лишь частично. Экраны применяют в основном для защиты от средне- и высокочастотного шума. При низких частотах они малоэффективны, т. к. за счет эффекта дифракции звук легко их огибает. Имеет значение и расстояние от источника шума до экранируемого рабочего места: чем оно меньше, тем больше эффективность экрана. Экран эффективен лишь тогда, когда отсутствуют огибающие его отраженные волны, т. е. на открытом воздухе либо в акустически обработанном помещении.

Средства индивидуальной защиты от шума призваны лишь дополнять коллективные средства и методы защиты, если последние не могут уменьшить шум до допустимых величин.

Вкладыши – это вставляемые в слуховой канал мягкие тампоны из ультратонкого волокна, иногда пропитанные смесью воска и парафина, или жесткие тампоны (из легкого каучука, эластичных пластмасс, резины, эбонита) в форме конуса. Это самые дешевые, но недостаточно эффективные и удобные средства.

Наушники плотно облегают ушную раковину и удерживаются на голове дугообразной пружиной. Наиболее эффективны при высоких частотах. Снижают уровень звукового давления на 7–38 дБ в диапазоне частот 125–8000 Гц.

Шлемы применяются при воздействии шумов с очень высокими уровнями (более 120 дБ) непосредственно на мозг человека, проникая не только через ухо, но и через черепную коробку. В этих условиях вкладыши и наушники не обеспечивают необходимой защиты. Шлемы герметично закрывают всю околоушную область и снижают уровень звукового давления на 30–40 дБ в диапазоне частот 125–8000 Гц.

Использование средств индивидуальной защиты не решает проблему борьбы с шумом в целом. Только правильно разработанный комплекс описанных выше мероприятий может полностью предотвратить вредное воздействие шума на организм работающих.

4. Приборы и оборудование

Для измерения уровня шума служат приборы – шумомеры.

Портативный шумомер-виброметр «Октава-110А» предназначен для измерения среднеквадратичных, эквивалентных и пиковых уровней звука с целью контроля внешнего шума транспортных средств, находящихся в эксплуатации, и иных источников.

При измерениях следует избегать падений и ударов прибора о твердые поверхности. Наиболее уязвимы микрофонный капсюль, место соединения между корпусом прибора и предусилителем, а также стекло индикатора. Отворачивать защитную крышку микрофона при эксплуатации **запрещено**.

Устройство прибора показано на рис. 7.1, 7.2, 7.3, а назначение клавиш – на рис. 7.4.

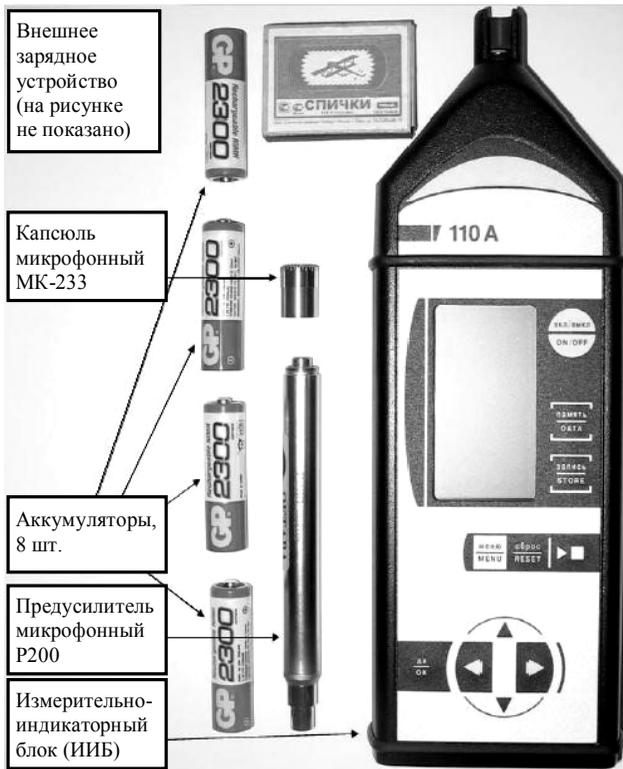


Рис. 7.1. Комплектация комбинированного прибора «Октава-110А» для реализации функций шумомера



Рис. 7.2. Задняя панель прибора «Октава-110А»



Рис. 7.3. Торцевая панель прибора «Октава-110А»



Рис. 7.4. Назначение клавиш прибора «Октава-110А»

Порядок работы прибора в режиме измерения звука

В режиме измерения звука порядок работы прибора следующий:

- подготовка прибора к работе;
- включение прибора;
- настройка прибора;
- запуск и остановка измерений, изменение диапазона измерений;
- запись в память;
- выключение прибора.

Подготовка прибора к работе для измерения звука и инфразвука

Накрутить микрофонный капсюль на предусилитель. Вставить предусилитель во входной разъем прибора «Октава-110А» (5-штырьковый разъем Switchcraft на конической части).

Все операции по подсоединению/отсоединению микрофона и предусилителя должны проводиться при выключенном приборе.

Включение прибора

Включение прибора осуществляется удержанием клавиши «ВКЛ./ВЫКЛ.» в течение примерно 1 с. Чтобы выключить прибор, необходимо удерживать эту клавишу также примерно 1 с.

После включения на индикаторе на несколько секунд появляется надпись «SELF TESTING», а затем окно, представленное на рис. 7.5.



Рис. 7.5. Окно прибора после включения

В первой строке под заставкой – выбранный в данный момент язык («Русский», «English»). Клавишами $\uparrow\downarrow$ можно выбрать нужный.

Ниже выводятся дата и время, установленные в приборе, а в последней строке – напряжение на аккумуляторной батарее.

При необходимости можно произвести перезагрузку встроенного программного обеспечения. При этом пропадают все выполненные ранее настройки (устанавливается калибровочная поправка 0,0 и напряжение поляризации 0 В (Пол. ВЫКЛ). Для перезагрузки после появления заставки надо нажать на клавишу «СБРОС» и подтвердить необходимость перезагрузки клавишей «ДА» (отказ от перезагрузки – клавиша «МЕНЮ»). Далее нажать на клавишу «МЕНЮ» и провести настройку прибора. На дисплее появится меню, приведенное на рис. 7.6:

- 1-й пункт – примечание к измерению;
- 2-й пункт – установленный в данный момент диапазон измерений (его можно изменить как в этом окне, так и позднее в окне измерений);
- 3-й пункт – калибровочная поправка;
- 4-й пункт – выбор типа представления данных («Спектр ДА», «Спектр НЕТ», «Таблица»);
- 5-й пункт – переход в режим калибровки;
- 6-й пункт – включение/выключение поляризации микрофона (Пол. ВКЛ = 200 В; Пол. ВЫКЛ = 0 В);
- 7-й пункт – активирование/деактивирование USB;
- 8-й пункт – выбор телеметрии по цифровому каналу;
- 9-й пункт – регулировка контрастности индикатора;
- 10-й пункт – включить/выключить подсветку;
- 11-й и 12-й пункты – дата и время.

В последней строке этого окна выводится напряжение аккумуляторов.

Настройка
Без прим.
Диапазон2
КК: +0.0
Спектр ДА
Калибровка
Пол. ВЫКЛ.
USB ВЫКЛ.
OUT 100k
Контраст
Подсветка
06/01/05
04:00:52
5,0V

Рис. 7.6. Окно настройки прибора после перезагрузки

Нажав на клавишу «МЕНЮ», можно перейти в окно «Выбор прибора». В этом окне просматриваются все режимы измерения, установленные в приборе: «ЗВУК», «ИНФРАЗВУК» и т. д. В трех последних строках этого окна выводятся номера версий встроенного программного обеспечения.

Клавишами $\uparrow\downarrow$ выбирается нужная опция («ЗВУК», если проводятся измерения звука), а затем необходимо нажать на клавишу «МЕНЮ» и перейти в окно «Настройка».

После включения прибора необходимо выждать примерно 90 с, прежде чем запускать измерения или производить калибровку. В течение этого времени происходит стабилизация внутренних цепей прибора.

Клавиши $\uparrow\downarrow$ позволяют перемещаться по меню «Настройка» вверх и вниз и выделять нужную опцию. Если опция имеет переключаемые значения («Диапазон...», «Спектр ДА/Спектр НЕТ/Таблица», «Пол. ВЫКЛ» и др.), то клавиши \leftarrow и \rightarrow будут последовательно циклически перелистывать доступные значения. Выбрав нужное значение, можно перейти к следующему пункту меню (клавиши $\uparrow\downarrow$).

Строка с калибровочной поправкой приводится в этом окне только для информации.

Настройка прибора для измерений звука состоит из следующих шагов:

а) после включения прибора необходимо выбрать в меню «Выбор прибора» опцию «ЗВУК» и нажать на клавишу «МЕНЮ» для перехода в меню «Настройка»;

б) убедиться, что в 6-й опции установлено правильное напряжение поляризации микрофона;

в) если необходимо одновременно с скорректированными уровнями звука видеть на экране спектры уровней звукового давления в октавных и 1/3-октавных полосах частот, то следует установить в 4-й опции значение «Спектр ДА», в противном случае – «Спектр НЕТ». Для того чтобы получить табличный формат представления данных, необходимо установить значение «Таблица»;

г) для создания примечания, которое сохраняется в памяти вместе с измерением, нужно выделить первую опцию меню «Настройка» и перейти в режим редактирования нажатием на клавишу «ДА». Теперь в этой строке выделен только первый символ. Клавиши $\leftarrow\rightarrow$ перемещают курсор по строке, а клавиши $\uparrow\downarrow$ перебирают дос-

тупные символы в той позиции, в которой находится курсор. Таким образом можно ввести нужный текст. После ввода следует подтвердить сделанные изменения нажатием на клавишу «ДА». Клавиша «МЕНЮ» возвращает из режима редактирования без сохранения изменений.

Для выхода из меню «Настройка» надо нажать на клавишу «МЕНЮ».

5. Порядок выполнения работы

Исследуется эффективность уменьшения шума:

- в источнике его образования (электродвигатель с элементами крепления);
- за счет установки звукоизолирующего кожуха на источник шума;
- за счет установки экрана между источником шума и «рабочим местом»;
- путем изменения направленности звукового поля;
- путем комплексного сочетания средств по уменьшению шума в источнике (установкой звукоизолирующего кожуха и экрана).

Лабораторная установка (рис. 7.7) обеспечивает возможность демонстрации акустических средств коллективной защиты от шума, а также изучения их эффективности.

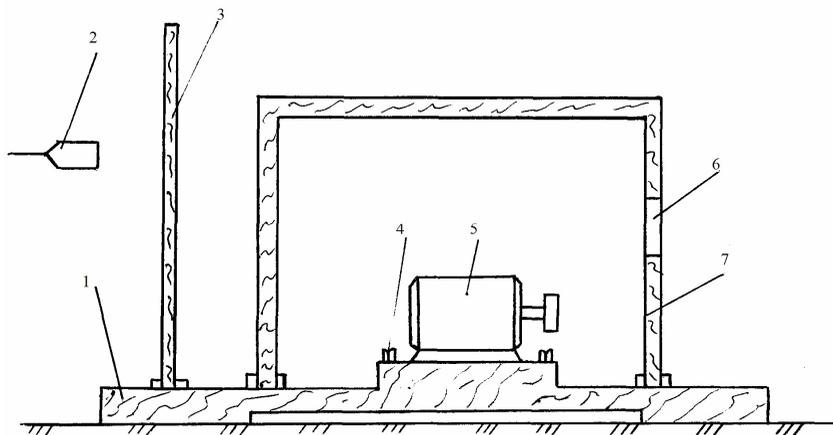


Рис. 7.7. Схема лабораторной установки:

1 – основание установки; 2 – микрофон; 3 – экран; 4 – элементы крепления электродвигателя; 5 – электродвигатель; 6 – окно в кожухе; 7 – кожух

Источником шума является электродвигатель с неуравновешенной массой на валу, который может закрываться кожухом 7, изготовленным из фанеры толщиной 10 мм. Экран 3 тоже изготовлен из фанеры толщиной 10 мм, его можно вставлять в паз основания 1 лабораторной установки. Элементы крепления 4 не затянуты полностью, за счет чего платформа с электродвигателем вибрирует и генерирует шум.

Исследование спектрального состава шума

Включив источник шума, измерить величину общего (эквивалентного) уровня звука, дБА, и уровни звукового давления в 9 октавных среднегеометрических полосах частот и сравнить полученные значения с требованиями санитарных норм. Результаты измерений занести в табл. 7.2.

Исследование эффективности кожуха на уменьшение шума

Установить кожух 2, измерить уровни звукового давления в октавных полосах частот и общий уровень шума, дБА. Микрофон устанавливается в той же точке измерений, что и при оценке соответствия шума требованиям санитарных норм. Результаты измерений занести в табл. 7.2.

Исследование эффективности установки экрана между источником шума и «рабочим местом»

Выполнить измерения аналогично п. 2, установив экран 4. Результаты занести в табл. 7.2.

Исследование эффективности уменьшения шума за счет ослабления возмущения звуковых колебаний в источнике шума

Снять экран 4. Между платформой электродвигателя и основанием 6 лабораторной установки уложить специальные эластичные прокладки. Выполнить измерения аналогично п. 2, результаты занести в табл. 7.2.

Комплексная оценка средств по уменьшению шума

Не вынимая эластичные прокладки, установить кожух 7 и экран 3. Повторить измерения, результаты занести в табл. 7.2.

Оценка уровня шума на «рабочем месте» при разной направленности звукового поля

Замерить общий уровень шума на «рабочем месте», когда окно б в кожухе 7 направлено в сторону рабочего места и когда в противоположную. Дать заключение, на какую величину изменился уровень шума на «рабочем месте».

Таблица 7.2

Результаты оценки шума и эффективности средств по его уменьшению

Вариант оценки	Среднегеометрические частоты, Гц									Уровень звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1. Допустимые значения										
2. Источник шума (электродвигатель с неравномерным ротором)										
3. Соответствие санитарным нормам (+ или –)										
4. При установленном кожухе										
5. При установленном экране										
6. При ликвидированном зазоре между платформой электродвигателя и основанием										
7. То же, при установленных кожухе и экране										
Эффективность средств по уменьшению шума										
8. При установленном кожухе (по п. 2 и 4)										
9. При установленном экране (по п. 2 и 5)										
10. При ликвидированном зазоре между платформой электродвигателя и основанием (по п. 2 и 6)										
11. То же, при установленных кожухе и экране (по п. 2 и 7)										

На основании результатов измерений построить спектрограмму $L = \varphi(f)$. Наложить на нее график предельно допустимого шума на каждой частоте и определить зону превышения шума над допустимым уровнем (табл. 7.2, п. 1, п. 2, п. 4–7).

Сделать вывод об эффективности различных средств по уменьшению шума.

Контрольные вопросы по теме занятия

1. Дайте определение шума. Какие параметры его характеризуют?
2. Какое действие шум оказывает на организм человека?
3. Что такое звуковое давление, интенсивность шума, пороговые значения звукового давления и интенсивности?
4. Как нормируется постоянный шум?
5. Как нормируется непостоянный шум?
6. Что представляет собой общий уровень звука?
7. Какой уровень звука допускается на постоянных рабочих местах в производственных помещениях?
8. Какие существуют средства и методы защиты от шума?
9. Какие акустические параметры измеряет шумомер?

Лабораторное занятие № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ВИБРАЦИИ И МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ

Цель занятия: изучить основные характеристики вибрации и методику ее гигиенической оценки.

Приборы и оборудование: виброустановка и генератор переменного тока (инвертор) настольного типа.

Задачи занятия:

1. Изучить методические указания по выполнению работы.
2. Ознакомиться с основными характеристиками вибрации и методикой ее гигиенической оценки.
3. Изучить устройство виброустановки и порядок работы с ней.
4. Изучить порядок пользования виброметром.
5. Измерить параметры вибрации.
6. Определить эффективность защиты от вибрации при использовании различных видов виброизоляции.
7. Подготовить отчет по работе и защитить его у преподавателя.

1. Общие положения

Механические колебания, создаваемые работающими машинами, движущимися жидкостями и другими источниками и передаваемые конструкциям производственных зданий, сооружениям, оборудованию, человеку, называются **вибрацией**.

В сельскохозяйственном производстве основными источниками вибрации являются транспортные средства, технологическое оборудование и ручной электрифицированный или механизированный инструмент.

Общая вибрация поражает нервную и сердечно-сосудистую системы, желудочно-кишечный тракт, опорно-двигательный аппарат. При продолжительной работе без эффективных мер защиты может развиваться вибрационная болезнь – опасное неизлечимое заболевание, при котором происходит раздражение нервных центров, что приводит к снижению их функциональных способностей. Это выражается в ухудшении контроля над тонусом сосудов и в неустойчивости артериального давления с развитием спазма сосудистых стенок.

При длительном воздействии *локальной вибрации* наблюдаются снижение чувствительности пальцев, заболевания суставов и невралгии рук.

По направлению действия более вредной считается вибрация, действующая вдоль оси тела, чем перпендикулярная к ней.

Для описания вибрации используют следующие характеристики:

– амплитуда виброперемещения A , м, т. е. наибольшее отклонение колеблющейся точки от положения равновесия X_m ;

– частота колебаний f , Гц;

– колебательная скорость, или виброскорость, v_m , м/с:

$$v_m = 2\pi f A; \quad (8.1)$$

– ускорение колебаний, или виброускорение, a_m , м/с²:

$$a_m = (2\pi f)^2 A. \quad (8.2)$$

За нулевой уровень колебательной скорости принимается $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с, соответствующий среднеквадратичному колебанию скорости при стандартном пороге звукового давления, равном $2 \cdot 10^{-5}$ Па, хотя порог восприятия вибрации значительно выше ($1 \cdot 10^{-4}$ м/с). В качестве нулевого уровня колебательного ускорения принимается значение $a_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ м/с².

При колебаниях скоростью 1 м/с у человека возникают болевые ощущения.

Относительные уровни виброскорости и виброускорения, дБ:

$$L_v = 20 \lg(v / v_0); \quad (8.3)$$

$$L_a = 20 \lg(a / a_0), \quad (8.4)$$

где v и a – фактические значения соответственно виброскорости, м/с, и виброускорения, м/с²;

v_0 и a_0 – нулевой уровень соответственно виброскорости, м/с, и виброускорения, м/с².

Классификация вибрации:

1. По способу передачи человеку:

– общая, передающаяся через опорные поверхности сидящего или стоящего человека;

– локальная, передающаяся через руки человека, ноги сидящего человека.

2. По направлению действия:

– общая, подразделяемая на действующие вдоль осей ортогональной системы координат X_0, Y_0, Z_0 , где Z_0 – вертикальная ось, а X_0 и Y_0 – горизонтальные оси (рис. 8.1, а, б);

– локальная, подразделяемая на действующие вдоль осей ортогональной системы координат $X_{л}, Y_{л}, Z_{л}$, где ось $X_{л}$ совпадает с осью мест охвата источника вибрации, ось $Y_{л}$ перпендикулярна ладони, а ось $Z_{л}$ лежит в плоскости, образованной осью $X_{л}$ и направлением подачи или приложения силы либо осью предплечья (рис. 8.2).

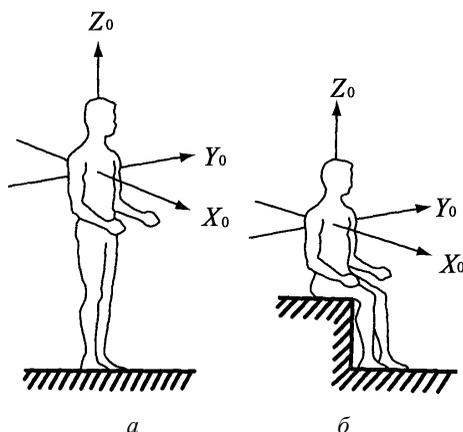


Рис. 8.1. Направление координатных осей при действии на человека общей вибрации: а – положение стоя; б – положение сидя

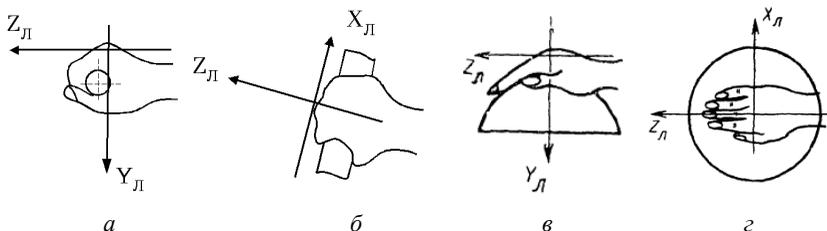


Рис. 8.2. Направление координатных осей при действии на человека локальной вибрации: а, б – при охвате цилиндрических, торцовых и близких к ним поверхностей; в, г – при охвате сферических поверхностей

3. По источникам возникновения:

а) общая вибрация:

– 1-й категории (транспортная) – воздействует на человека на рабочих местах самоходных и прицепных машин, транспортных средств при движении по местности, агрофонам и дорогам. К источникам транспортной вибрации относятся: тракторы сельскохозяйственные и промышленные, самоходные сельскохозяйственные машины (в т. ч. комбайны); автомобили грузовые (в т. ч. тягачи, скреперы, грейдеры, катки и т. д.); снегоочистители;

– 2-й категории (транспортно-технологическая) – воздействует на операторов машин с ограниченным перемещением только по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок или горных выработок (экскаваторы, краны промышленные и строительные, шахтные погрузочные машины, путевые машины, бетоноукладчики);

– 3-й категории (технологическая) – воздействует на операторов стационарных машин или передается на рабочие места, не имеющие источников вибрации (станки металло- и деревообрабатывающие, насосные агрегаты и вентиляторы, оборудование промышленности стройматериалов (кроме бетоноукладчиков) и др. По месту действия подразделяется на следующие типы:

тип «а» – на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий;

тип «б» – на рабочих местах на складах, в столовых, бытовых, дежурных и других производственных помещениях, где нет машин, генерирующих вибрацию;

тип «в» – на рабочих местах в помещениях заводу управления, конструкторских бюро, лабораторий, учебных пунктов, вычислительных центров, здравпунктов, в конторских помещениях, рабочих комнатах и других помещениях для работников интеллектуального труда;

б) локальная вибрация, передающаяся:

– от ручных машин с двигателем или ручного механизированного инструмента;

– органов управления автомобилей, автобусов и троллейбусов;

– органов управления машин и оборудования;

– ручных инструментов без двигателей и обрабатываемых деталей.

4. По характеру спектра:

– узкополосная, для которой уровень контролируемого параметра в одной 1/3-октавной полосе частот более чем на 15 дБ превышает уровень в соседних 1/3-октавных полосах;

– широкополосная с непрерывным спектром шириной более одной октавы.

5. По частотному составу:

– низкочастотная (с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 1–4 Гц – для общей вибрации, 8–16 Гц – для локальной);

– среднечастотная (8–16 Гц – для общей вибрации, 31,5–63 Гц – для локальной);

– высокочастотная (31,5–63 Гц – для общей вибрации, 125–1000 Гц – для локальной).

6. По временным характеристикам:

а) постоянная, для которой величина нормируемых параметров изменяется не более чем в 2 раза (6 дБ) за время наблюдения при измерении с постоянной времени 1 с;

б) непостоянная, для которой величина нормируемых параметров изменяется более чем в 2 раза (6 дБ) за время наблюдения при измерении с постоянной времени 1 с:

– колеблющаяся во времени, для которой величина нормируемых параметров непрерывно изменяется;

– прерывистая, когда контакт человека с вибрацией прерывается, причем длительность интервалов контакта составляет более 1 с;

– импульсная, состоящая из одного или нескольких вибрационных воздействий (например, ударов), каждый длительностью менее 1 с при частоте их следования менее 5,6 Гц.

2. Нормируемые параметры вибрации

Гигиеническое нормирование вибрации осуществляется в соответствии с Санитарными нормами и правилами «Требования к производственной вибрации, вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий» и Гигиеническим нормативом «Предельно допустимые и допустимые уровни нормируемых параметров при работах с источниками производственной вибрации, вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий», утвержденными постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 26.12.2013 г. № 132 (в ред. постановления Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 15.04.2016 г.), а также ГОСТ 12.1.012–2004

«Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования».

Гигиеническая оценка постоянной и непостоянной вибрации, воздействующей на человека, должна производиться следующими методами:

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

Нормируемый диапазон частот измерения вибрации устанавливается:

- для общей производственной вибрации – в октавных (широкополосная вибрация) или 1/3-октавных (узкополосная вибрация) полосах со среднегеометрическими частотами 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 31,5; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0 Гц;

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

- для общей вибрации в жилых помещениях, палатах больничных организаций, санаториев, в помещениях административных и общественных зданий – в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 2; 4; 8; 16; 31,5; 63 Гц.

Нормируемые параметры постоянной производственной вибрации:

- средние квадратические значения виброускорения и виброскорости, измеряемые в октавных или 1/3-октавных полосах частот, или их логарифмические уровни;

- скорректированные по частоте значения виброускорения или их логарифмические уровни.

Нормируемые параметры непостоянной производственной вибрации – эквивалентные по энергии, скорректированные по частоте значения виброускорения или их логарифмические уровни.

Нормируемыми параметрами постоянной и непостоянной вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий являются средние квадратические значения виброускорения и виброскорости и скорректированные по частоте значения виброускорения и (или) их логарифмические уровни.

В табл. 8.1 приведены предельно допустимые значения вибрации рабочих мест 3-й категории – технологической типа «а» (на постоянных рабочих местах производственного помещения). Гигиеническую оценку вибрации проводят одним из следующих методов:

- частотным (спектральным) анализом нормируемого параметра;
- интегральной оценкой по частоте нормируемого параметра;
- дозой вибрации.

Таблица 8.1

Предельно допустимые значения вибрации по осям X_0 , Y_0 , Z_0 рабочих мест 3-й категории – технологической типа «а»

Средне-геометрические частоты полос, Гц	Виброускорение				Виброскорость			
	м/с ²		дБ		м/с · 10 ⁻²		дБ	
	1/3-окт.	1/1-окт.	1/3-окт.	1/1-окт.	1/3-окт.	1/1-окт.	1/3-окт.	1/1-окт.
1,6	0,090	–	49	–	0,90	–	105	–
2,0	0,080	0,14	48	53	0,63	1,30	102	108
2,5	0,071	–	47	–	0,45	–	99	–
3,15	0,063	–	46	–	0,32	–	96	–
4,0	0,056	0,10	45	50	0,22	0,45	93	99
5,0	0,056	–	45	–	0,18	–	91	–
6,3	0,056	–	45	–	0,14	–	87	–
8,0	0,056	0,10	45	50	0,11	0,22	87	93
10,0	0,071	–	47	–	0,11	–	87	–
12,5	0,090	–	49	–	0,11	–	87	–
16,0	0,112	0,20	51	56	0,11	0,20	87	92
20,0	0,140	–	53	–	0,11	–	87	–
25,0	0,180	–	55	–	0,11	–	87	–
31,5	0,224	0,40	57	62	0,11	0,20	87	92
40,0	0,280	–	59	–	0,11	–	87	–
50,0	0,355	–	61	–	0,11	–	87	–
63,0	0,450	0,80	63	68	0,11	0,20	87	92
80,0	0,560	–	65	–	0,11	–	87	–
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	–	0,10	–	50	–	0,20	–	92

При частотном анализе нормируются параметры в октавных или 1/3-октавных полосах, границы которых стандартизированы.

При интегральной оценке нормируемым параметром является скорректированное значение контролируемого параметра вибрации (В), измеряемое с помощью специальных фильтров или определяемое по формуле

$$B = \sqrt{\sum B_i^2 K_i^2}, \quad (8.5)$$

где B_i – параметр вибрации для i -й полосы;

K_i – весовой коэффициент (табл. 8.2).

Таблица 8.2

Значения весовых коэффициентов*

Средне-геометрические частоты полос, Гц	Общая вибрация				Локальная вибрация	
	для вибро-ускорения		для вибро-скорости		для вибро-ускорения	для вибро-скорости
	Z	X, Y	Z	X, Y	Z _л , X _л , Y _л	
1	0,5	1,0	0,045	0,5	–	–
2	0,71	1,0	0,16	0,9	–	–
4	1,0	0,5	0,45	1,0	–	–
8	1,0	0,25	0,9	1,0	1,0	0,5
16	0,5	0,125	1,0	1,0	1,0	1,0
31,5	0,25	0,063	1,0	1,0	0,5	1,0
63	0,125	0,0315	1,0	1,0	0,25	1,0

*При частотном анализе нормируются параметры в октавных полосах, границы которых стандартизированы.

3. Методы защиты от производственной вибрации

По организационному признаку методы виброзащиты подразделяются на коллективные и индивидуальные.

Для обеспечения безопасности труда в условиях вибрации разработан комплекс мероприятий и средств защиты. Основными составляющими комплекса являются технические методы и средства борьбы с вибрацией в источнике и на путях ее распространения или непосредственно в местах контакта (передачи вибрации человеку), а также организационные мероприятия.

Технические методы и средства борьбы с вибрацией направлены главным образом на снижение ее интенсивности. Критерием эффективности принимаемых мер служит степень достижения нормированных значений параметров вибрации на рабочих местах.

Методы, снижающие передачу вибрации контактным путем (виброизоляция, динамическое виброгашение, применение демпфирующих покрытий (вибродемпфирование, вибропоглощение)), предусматривают использование дополнительных устройств.

При *виброизоляции оборудования станин*, т. е. установке их на виброопоры, наиболее распространены два типа виброизолирующих конструкций – фундаменты и виброизоляторы. Фундаменты снижают вибрацию за счет своей массы, виброизоляторы – за счет деформации упругих элементов. Для технологического оборудования используют стальные пружины и виброизолирующие опоры типа ОВС с резино-металлическими пружинящими элементами и регулируемой высотой, пружинно-резиновые опоры, а также резиновые коврики ВК-1.

Вибродемпфирование – процесс уменьшения уровня вибрации защищаемого объекта путем превращения энергии механических колебаний данной колеблющейся системы в тепловую энергию, т. е. использование на вибрирующих поверхностях в качестве конструкционных материалов, обладающих большим внутренним трением, слоя упруговязких материалов (мастики, резины, войлока, пластмасс, рубероида).

Изменение конструктивных элементов машин и строительных сооружений достигается следующими мероприятиями:

- уменьшение вращающихся частей при конструировании;
- замена подшипников качения на подшипники скольжения;
- применение в редукторах шестерен со специальными видами зацеплений (глобоидным, шевронным вместо обычных шестерен с прямым зубом);
- антифазная синхронизация двух и более источников возбуждения вибрации;
- повышение класса точности обработки и уменьшение шероховатости поверхности шестерен, вращающих частей. Чем выше класс точности обработки и меньше шероховатость, тем меньше уровень вибрации;
- своевременный ремонт, балансировка вращающихся частей машин, смазка оборудования.

К *средствам индивидуальной защиты* относятся виброзащитные перчатки, коврики, виброзащитные рукоятки у вибрирующих ручек управления. При работе в условиях общей вибрации применяется спецобувь.

К *организационным мероприятиям* по борьбе с вибрацией относится рациональное чередование режимов труда и отдыха. При работе с ручными машинами, удовлетворяющими требованиям санитарных норм, суммарное время работы в контакте с вибрацией не должно превышать $\frac{2}{3}$ рабочей смены. Продолжительность одноразового непрерывного воздействия вибрации, включая микропаузы, входящие в данную операцию, не должна превышать для ручных машин 15–20 мин. Помимо основного перерыва (не менее 40 мин) устанавливают два дополнительных: первый – длительностью 20 мин через 1–2 ч после начала смены, второй – длительностью 30 мин через 2 ч после обеденного перерыва.

4. Приборы и оборудование

Вибростенд содержит в своем составе виброустановку и генератор переменного тока (инвертор) настольного типа. Характеристики вибростенда представлены в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Характеристики вибростенда

Параметр	Единица измерения	Величина
Номинальное напряжение питания, частота	В, Гц	~230, 50
Номинальный рабочий зазор	мм	3
Пиковое значение тягового усилия в статическом режиме, нагретом состоянии и номинальном рабочем зазоре	Н	350
Максимальная потребляемая мощность в рабочем режиме	ВА	350
Выходная частота	Гц	10–1000
Жесткость противодействующих пружин	Н/мм	850
Масса колеблющихся частей с учетом груза	кг	8
Масса магнитопровода	кг	3,3
Масса якоря	кг	0,8

Источником механической вибрации служит виброэлектромагнит. Магнитопровод виброэлектромагнита жестко закреплен на станине, а якорь жестко связан с виброплитой. Виброплита в рабочем положении устанавливается сверху станины на четырех рабочих пружинах. Для поддержания номинального зазора между якорем и магнитопроводом под пружинами имеются места для установки проставок нужной высоты.

Виброэлектромагнит получает питание от генератора переменного тока (инвертора). Инвертор позволяет изменять частоту и амплитуду приложенного к магнитопроводу напряжения.

Виброустановка и ее составные части изображены на рис. 8.3. Объектом исследования воздействия вибрации служит образец 1, устанавливаемый на виброплиту 2. Виброизолирующие элементы размещаются между виброплитой и образцом. Для удобства установки изоляторов на этих элементах предусмотрены круглые выемки. Для изменения массы образца в нем выполнена круглая выемка, в которую можно устанавливать грузы (табл. 8.4).

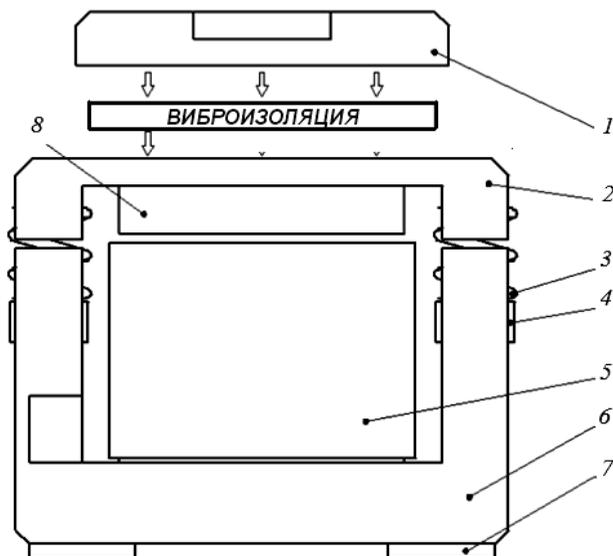
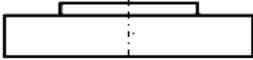
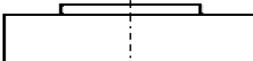
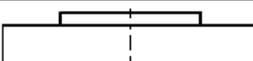
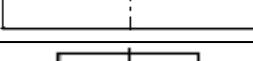


Рис. 8.3. Виброустановка в сборе:

- 1 – образец; 2 – виброплита; 3 – противодействующие пружины;
 4 – проставки; 5 – магнитопровод виброэлектромагнита;
 6 – станина; 7 – ножки; 8 – якорь виброэлектромагнита

Характеристика дополнительных грузов

Груз	Размеры, мм	Масса, кг
	54×10	0,172
	54×15	0,260
	54×20	0,350
	54×25	0,438

В качестве виброизоляторов используется набор упругих шайб разной толщины и диаметра, а также набор пружин разной жесткости.

5. Подготовка виброустановки к работе

1. Закрепить виброустановку на столешнице.
2. Вставить в прорези станины рабочие пружины, а затем установить на верхние плоскости пружин виброплиту. Во время установки следует проверить, все ли пружины до конца вошли в прорези с обеих сторон. После установки следует проконтролировать величину и равномерность зазора между плоскостями якоря и магнитопровода, а при отклонениях – установить под пружины проставки (стальные шайбы) подходящей высоты. Перестановка пружин также может повлиять на равномерность зазора.

При сборке проверить затяжку болтов станины и виброплиты.

3. Установить инвертор рядом с виброустановкой.
4. Присоединить кабель электромагнита к клеммам инвертора (жилу заземления кабеля – к выделенной цветом клемме). Клеммы размещены на задней панели.

5. Установить задающие потенциометры «Напряжение» и «Частота» на панели инвертора в крайнее левое положение.

6. Подключить инвертор к питающей сети.

7. Включить питание инвертора с помощью тумблера на задней панели.

8. Включить инвертор с помощью тумблера «ВКЛ./ВЫКЛ.» на лицевой панели.

Установленные параметры отображаются на индикаторах «Напряжение» и «Частота». Следует учитывать, что частота колебаний механической части (виброплиты) вдвое больше частоты питающего напряжения, отображаемой на индикаторе.

9. Для контроля параметров вибрации и оценки эффективности средств виброизоляции стенд комплектуется переносным виброметром. Прибор позволяет измерять ускорение, частоту колебаний, скорость и перемещение поверхности.

Для подготовки виброметра к работе необходимо подключить к прибору одну из измерительных насадок, соединив специальным шнуром прибор и насадку, при этом гайки присоединительных разъемов не должны болтаться. Шнур распрямить. При измерении сам прибор должен находиться в руках или на поверхности, полностью изолированной от вибрации и тряски. При работе с виброустановкой удобно использовать круглую магнитную насадку. Она жестко крепится к вибрирующей поверхности и удерживается магнитом.

6. Порядок выполнения работы

Исследование воздействия вибрации

1. Установить образец на виброплиту.

2. Закрепить насадку виброметра на образце.

3. Включить виброметр.

4. Плавно вращая задающие потенциометры «Напряжение» и «Частота», задать частоту 20 Гц и напряжение 50 В (напряжение постоянно для всех измерений).

5. Выбрать на виброметре измеряемый параметр: перемещение (амплитуда), виброускорение, виброскорость. Провести измерения на образце, данные занести в табл. 8.5.

6. Аналогично провести измерения на частоте 25, 30 Гц. Данные занести в табл. 8.5.

При работе виброустановки на низких частотах *следует избегать больших амплитуд раскачки виброплиты*: это может привести к ударам виброплиты о станину и соскакиванию виброплиты с пружин.

***Исследование воздействия вибрации
при установке резиновых виброизоляторов***

1. Установить образец на виброплиту, поместив резиновые шайбы в выемки между виброплитой и образцом.

2. Закрепить насадку виброметра на образце.

3. Плавно вращая задающие потенциометры «Напряжение» и «Частота» задать частоту 20 Гц и напряжение 50 В.

4. Выбрать на виброметре измеряемый параметр: перемещение (амплитуда), виброускорение, виброскорость. Провести измерения на образце, данные занести в табл. 8.5.

5. Аналогично провести измерения на частоте 25, 30 Гц. Данные занести в табл. 8.5.

***Исследование воздействия вибрации
при изменении массы образца***

1. В выемку образца установить груз массой 0,172 кг (самый легкий).

2. Закрепить насадку виброметра на образце.

3. Повышая частоту на инвенторе в диапазоне 20, 25, 30 Гц, измерить серию значений перемещения, виброускорения, виброскорости колебаний образца. Данные занести в табл. 8.5.

4. В выемку образца установить груз массой 0,438 кг (самый тяжелый).

5. Повышая частоту на инвенторе в диапазоне 20, 25, 30 Гц, измерить серию значений перемещения, виброускорения, виброскорости колебаний образца. Данные занести в табл. 8.5.

***Исследование воздействия вибрации при использовании
в качестве вибродемпфирующих материалов поролона***

1. Установить между виброплитой и образцом слой поролона.

2. Закрепить насадку виброметра на образце.

3. Повышая частоту на инвенторе в диапазоне 20, 25, 30 Гц, измерить серию значений перемещения, виброускорения, виброскорости колебаний образца. Данные занести в табл. 8.5.

**Исследование воздействия вибрации
при использовании виброизолирующих пружин**

1. Поместить между виброплитой и образцом пружины.
2. Закрепить насадку виброметра на образце.
3. Повышая частоту на инверторе в диапазоне 20, 25, 30 Гц, измерить серию значений перемещения, виброускорения, виброскорости колебаний образца. Данные занести в табл. 8.5.

Таблица 8.5

Результаты измерений вибрации

Номер опыта	Частота инвертора, Гц	Измеренные параметры вибрации		
		Амплитуда, мм	Виброускорение, м/с^2	Виброскорость, мм/с
Без виброизоляции				
1	20			
2	25			
3	30			
При установке резиновых виброизоляторов				
1	20			
2	25			
3	30			
При изменении массы образца:				
а) с грузом массой 0,172 кг				
1	20			
2	25			
3	30			
б) с грузом массой 0,438 кг				
1	20			
2	25			
3	30			
При использовании поролона				
1	20			
2	25			
3	30			
При использовании пружин				
1	20			
2	25			
3	30			

Контрольные вопросы по теме занятия

1. Назовите источники вибрации в сельскохозяйственном производстве.
2. На какие виды подразделяется вибрация по способу передачи человеку?
3. На какие виды подразделяется общая вибрация по источнику ее возникновения?
4. Каковы последствия вибрации на организм человека?
5. Какими параметрами характеризуется вибрация?
6. Изложите методику гигиенической оценки вибрации.
7. С помощью каких основных мероприятий можно устранить вредное воздействие вибрации?

Лабораторное занятие № 9

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ В ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 1000 В

Цель занятия: исследовать степень опасности поражения электрическим током в трехфазных сетях напряжением до 1000 В; ознакомиться с факторами, влияющими на опасность поражения человека электрическим током; ознакомиться с основными закономерностями изменения электрического сопротивления тела человека, провести самостоятельное экспериментальное исследование по измерению электрического сопротивления тела человека.

Приборы и оборудование: лабораторный стенд для исследования с измерительными приборами и лабораторный стенд «Электробезопасность» НТЦ-17.55.3.

Задачи занятия:

1. Изучить методические указания, ознакомившись с особенностями трехфазных сетей с различным режимом нейтрали по фактору опасности поражения электрическим током и закономерностью изменения электрического сопротивления тела человека.
2. Подготовить схемы и таблицу для фиксации результатов измерений и расчетов.
3. Для рассмотренных ситуаций провести расчеты токов, протекающих через тело человека, напряжений прикосновения и шага.
4. Провести измерения и сопоставить их результаты с расчетными, сделать выводы.
5. Оформить отчет по работе и ответить на контрольные вопросы.

1. Общие положения

Электрические установки, с которыми приходится иметь дело практически всем работающим на производстве, представляют потенциальную опасность. Опасность эксплуатации электроустановок состоит в том, что токоведущие проводники (или корпуса машин, оказавшиеся под напряжением в результате повреждения изоляции) не подают сигналов опасности, на которые реагирует человек. Реакция человека на электрический ток возникает лишь после прохождения последнего через ткани.

Проходя через организм человека, электрический ток оказывает термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействия.

Термическое действие тока проявляется в ожогах отдельных участков тела, нагреве до высокой температуры кровеносных сосудов, нервов, сердца и других органов, находящихся на пути тока, что вызывает в них серьезные функциональные расстройства.

Электролитическое действие тока проявляется в разложении органических жидкостей, в т. ч. крови, что сопровождается значительными нарушениями их физико-химического состава.

Механическое действие тока выражается в разрыве, расслоении и других повреждениях различных тканей организма, в т. ч. мышечной ткани, стенок кровеносных сосудов, сосудов легочной ткани и др.

Биологическое действие тока проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, а также в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, протекающих в нормально действующем организме и связанных с его жизненными функциями.

Электрический ток, проходя через организм, раздражает живые ткани, вызывая в них ответную реакцию – возбуждение, являющееся одним из основных физиологических процессов. Например, если электрический ток проходит непосредственно через мышечную ткань, то возбуждение, обусловленное раздражающим действием тока, проявляется в виде непроизвольного сокращения мышц. Это так называемое *прямое*, или *непосредственное*, раздражающее действие тока на ткани, по которым он проходит.

Однако действие тока может быть не только прямым, но и *рефлекторным*, т. е. осуществляться через центральную нервную систему. Ток может вызывать возбуждение и тех тканей, которые не находятся у него на пути. Проходя через тело человека, он вызывает раздражение рецепторов – особых клеток, имеющих в большом количестве во всех тканях организма и обладающих высокой чувствительностью к воздействию факторов внешней и внутренней среды. Центральная нервная система перерабатывает нервный импульс и передает его к рабочим органам: мышцам, железам, сосудам, которые могут находиться вне зоны прохождения тока.

Различают два вида поражения электрическим током: **электрические травмы**, результатом которых являются внешние поражения тела – ожоги, электрические знаки, электрометаллизация кожи,

механические повреждения, электроофтальмия, и *электрический удар*, связанный с поражением всего организма.

Электрический ожог возможен при прохождении через тело человека токов более 1 А. В тканях, по которым проходит ток, выделяется некоторое количество теплоты, пропорциональное приложенному напряжению и протекающему току. При нагреве тканей до температуры 60–70 °С происходит свертывание белков и возникает ожог. Такие ожоги проникают глубоко в ткани и могут привести к частичной или полной инвалидности. Возможны также ожоги электрической дугой, возникающей в электроустановках напряжением 35 кВ и выше между токоведущими частями электроустановки и телом человека при приближении на опасное расстояние, а также электрической дугой, возникающей в электроустановках до 1000 В между токоведущими частями и человеком, попадающим в зону действия этой дуги.

Электрические знаки возникают в местах контакта с токоведущими частями. Они представляют собой затвердевшую в виде мозоли кожу серого или желтовато-белого цвета. Края электрического знака резко очерчены белой или серой каймой. Электрические знаки безболезненны, но при глубоких поражениях больших участков тканей могут привести к нарушению функций пораженного органа.

Электрометаллизация кожи – проникновение под поверхность кожи частиц металла вследствие разбрызгивания и испарения под действием тока (например, при возникновении электрической дуги) или электролиза в местах соприкосновения с токоведущими частями электрооборудования. Со временем поврежденный участок кожи восстанавливается и болезненные явления исчезают.

Электроофтальмия – поражение глаз в результате воздействия ультрафиолетового излучения электрической дуги или ожогов.

Электрический удар наблюдается при воздействии малых токов и небольших напряжений до 1000 В. Ток действует на нервную систему и на мышцы, при этом может возникнуть паралич пораженных органов.

Экспериментальные исследования показали, что человек начинает ощущать раздражающее действие переменного тока промышленной частоты силой 0,6–1,6 мА и постоянного тока 5–7 мА. Эти токи не представляют серьезной опасности для деятельности организма человека. Так как при такой силе тока возможно самостоятельное освобождение человека от контакта с токоведущими частями, то допустимо его длительное протекание через тело человека.

В тех случаях, когда раздражающее действие тока становится настолько сильным, что человек не в состоянии освободиться от контакта, возникает опасность длительного протекания тока через тело человека. Длительное воздействие таких токов может привести к затруднению и нарушению дыхания.

Для переменного тока промышленной частоты сила неотпускающего тока находится в пределах 6–20 мА и более. Постоянный ток, не вызывая неотпускающего эффекта, приводит к сильным болевым ощущениям, возникающим при прохождении тока 15–80 мА и более.

При протекании тока в несколько сотых долей ампера возникает опасность нарушения работы сердца. Может возникнуть фибрилляция сердца, т. е. беспорядочные, некоординированные сокращения волокон сердечной мышцы, при этом сердце не в состоянии гнать кровь по сосудам, происходит остановка кровообращения. Фибрилляция длится, как правило, несколько минут, после чего происходит энергетическое истощение сердечной мышцы и следует полная остановка сердца. Как показывают экспериментальные исследования, пороговые фибрилляционные токи зависят от массы организма, длительности протекания тока и его пути. Верхний предел фибрилляционного тока – 5 А. Ток больше 5 А (как переменный, так и постоянный) вызывает немедленную остановку сердца, минуя состояние фибрилляции.

Кроме величины протекающего через тело человека тока в исходе поражения большое значение имеет его путь. Поражение будет более тяжелым, если на пути тока окажутся сердце, легкие, головной и спинной мозг.

В практике обслуживания электроустановок ток, протекающий через тело человека, попавшего под напряжение, идет чаще всего по пути «рука–рука» или «рука–нога». Возможных путей протекания тока в теле человека (петель тока) достаточно много, причем наибольшую опасность представляют петли, проходящие через область сердца. При протекании тока по пути «нога–нога» через сердце проходит 0,4 % общего тока, по пути «рука–рука» – 3,3 %, «левая рука–ноги» – 3,7 %, «правая рука–ноги» – 6,7 %, «голова–ноги» – 6,8 %, «голова–руки» – 7 %.

Сила неотпускающего тока по пути «рука–рука» приблизительно в два раза меньше, чем по пути «рука–нога».

Ток, протекающий через тело человека, попавшего под напряжение, зависит в первую очередь от величины приложенного напряжения и длительности его воздействия. С увеличением напряжения

и длительности его воздействия сопротивление тела человека уменьшается, что приводит к увеличению протекающего тока.

Основным сопротивлением в цепи тока через тело человека является верхний роговой слой кожи, толщина которого составляет 0,05–0,20 мм. Сопротивление внутренних тканей не превышает 800–1000 Ом.

Зависимость сопротивления тела человека от величины приложенного напряжения и величины протекающего тока приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Зависимость сопротивления тела человека
от величины приложенного напряжения и величины протекающего тока

Показатели	Зависимость величин					
Приложенное напряжение, В	6,0	18	75	80	100	175
Сопротивление тела человека, кОм	6,0	3,0	1,15	1,065	1,0	0,7
Ток, проходящий через тело человека, мА	1,0	6,0	65	75	100	250

Сопротивление тела человека изменяется в широких пределах в зависимости от состояния кожи (сухая, влажная, чистая, поврежденная и т. п.), плотности и площади контакта, времени воздействия тока и др.

Реальное сопротивление тела человека может быть от 1 до 100 кОм. Для расчетов по электробезопасности принимают величину, равную 1000 Ом.

На опасность поражения электрическим током влияют индивидуальные особенности людей. Ток, вызывающий лишь слабые ощущения у одного человека, может быть неотпускающим для другого в зависимости от состояния нервной системы, массы тела, физического развития, пола и всего организма в целом.

Установлено, что для женщин пороговые значения тока приблизительно в 1,5 раза ниже. У одного и того же человека пороговые значения тока изменяются в зависимости от состояния организма, нервной системы, утомления и т. п.

Опасность поражения электрическим током зависит также от частоты тока, переменный ток частотой 50 Гц является самым неблаго-

приятным. Установлено, что сила фибрилляционного тока при 400 Гц примерно в 3,5 раза больше, чем при частоте 50 Гц, поэтому повышение частоты тока применяют как одну из мер повышения электробезопасности.

Статистика электротравматизма показывает, что до 85 % смертельных поражений людей электрическим током происходит в результате прикосновения пострадавшего непосредственно к токоведущим частям, находящимся под напряжением. В сетях с номинальным напряжением до 1 кВ величина тока, протекающего через тело человека, а следовательно, и опасность поражения зависят от условий включения человека в электрическую цепь и характеристики сети (режима нейтрали).

2. Факторы опасности поражения электрическим током

Тяжесть поражения электрическим током зависит от ряда факторов и неодинакова в различных ситуациях. Известны случаи гибели людей от слабых токов при напряжении 12 В и благополучного исхода при ударе напряжением 1000 В и более. Физически слабые, больные, утомленные люди, а также женщины хуже переносят действие электрического тока.

При устройстве и эксплуатации электроустановок, при проектировании способов и средств защиты от поражения электрическим током необходимо, чтобы *напряжение прикосновения* $U_{пр}$ (напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек) и величина тока I в аварийном режиме (работа неисправных электроустановок) не превышали значений, приведенных в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Предельно допустимое напряжение прикосновения и сила тока, не более

Род тока	Параметры	Продолжительность воздействия, с					
		0,1	0,3	0,5	0,7	1,0	свыше 1,0
Переменный (50 Гц)	$U_{пр}$, В	500	165	100	70	50	36
	I , мА						6
Постоянный	$U_{пр}$, В	500	350	250	230	200	40
	I , мА						15

Напряжение прикосновения $U_{пр}$, под которым оказывается человек, а значит, и величина тока $I_ч$, проходящего через тело человека, зависят от ряда факторов:

- напряжения сети;
- схемы электросети и режима нейтрали источника питания;
- схемы включения человека в электрическую цепь;
- степени изоляции токоведущих частей от земли;
- емкости токоведущих частей относительно земли и др.

В зависимости от режима нейтрали источника тока и наличия нулевого провода могут быть четыре основные схемы трехфазной сети (рис. 9.1).

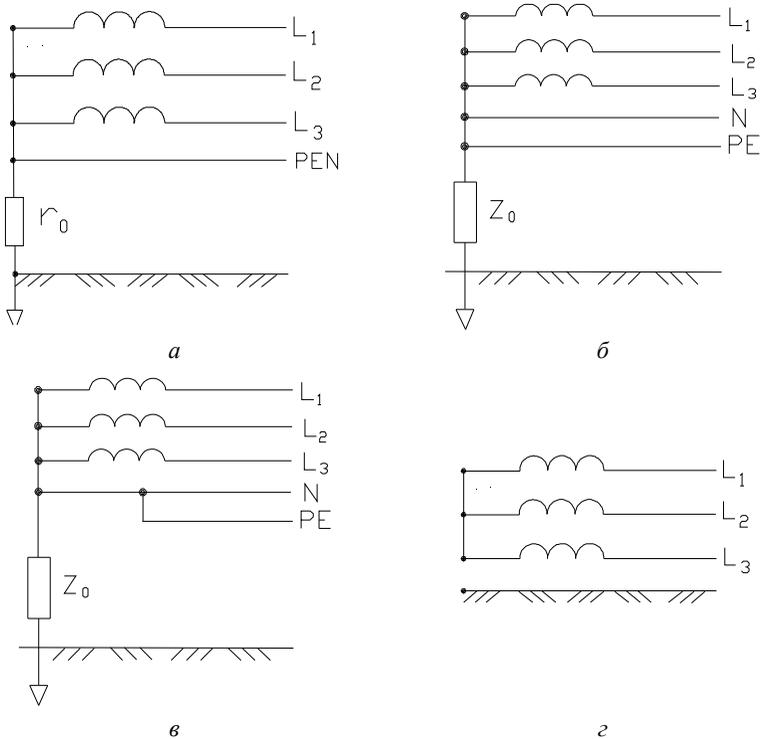


Рис. 9.1. Основные схемы трехфазной сети напряжением 400 В:
 а – четырехпроводная с глухозаземленной нейтралью (подсистема $TN-C$);
 б – пятипроводная с глухозаземленной нейтралью (подсистема $TN-S$);
 в – четырех-пятипроводная с глухозаземленной нейтралью (подсистема $TN-C-S$);
 г – трехпроводная с изолированной нейтралью (система IT)

Наибольшее распространение имеют электрические сети трехфазного тока с изолированной или глухозаземленной нейтралью источника тока (генератора, трансформатора). В настоящее время в сельском хозяйстве применяют в основном трехфазные четырехпроводные сети с глухозаземленной нейтралью (системы $TN-C$, $TN-C-S$), обеспечивающие питание установок напряжением 400 и 230 В.

Схемы включения человека в электрическую цепь могут быть различными. Чаще других происходит однофазное включение человека в цепь между фазным проводом и землей и двухфазное – между двумя фазными проводами. При однофазном прикосновении ток, проходящий через тело человека, может быть с достаточной для практики точностью определен по формуле

$$I = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + R_0}, \quad (9.1)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение, В;

$R_{\text{ч}}$ – расчетное сопротивление тела человека (≈ 1000 Ом);

$R_{\text{об}}$ – сопротивление обуви, Ом;

$R_{\text{п}}$ – сопротивление пола, Ом;

R_0 – сопротивление глухозаземленной нейтрали, Ом.

Чем больше напряжение прикосновения и чем меньше сопротивление участков цепи замыкания, тем выше ток, проходящий через тело человека.

Если принять $U_{\phi} = 230$ В, $R_{\text{об}} = 0$, $R_{\text{п}} = 0$ (при контакте человека с землей), $R_0 = 10$ Ом, то сила проходящего через человека тока будет равна 0,218 А (218 мА), что значительно превышает смертельный ток (90–100 мА).

Если принять, что человек стоит на сухом деревянном полу ($R_{\text{п}} = 10^5$ Ом) в резиновой обуви ($R_{\text{об}} = 45 \cdot 10^3$ Ом), то сила тока будет равна 0,0015 А (1,5 мА). Такой ток не опасен.

При двухфазном включении напряжение прикосновения в 1,73 раза больше, чем при однофазном. Сопротивление пола, обуви в этом случае не влияет на ток, а его величина определяется выражением

$$I = \sqrt{3} \frac{U_{\phi}}{R_{\text{ч}}}. \quad (9.2)$$

При $U_{\phi} = 230$ В и $R_{\text{ч}} = 1000$ Ом сила тока, проходящего через тело человека, составит 0,4 А (400 мА), что значительно больше, чем при однофазном включении. Следовательно, двухфазное включение человека в электрическую цепь наиболее опасно.

При обрыве электрического провода, пробое изоляции на заземленный корпус машины и при другой прямой утечке электроэнергии в землю (например, от молниеотвода) человек может оказаться в зоне растекания тока в земле под напряжением, называемым *шаговым*.

В зоне контакта электрического проводника с землей потенциал земли ϕ наибольший, равный потенциалу проводника, а на расстоянии 20 м он уже практически равен нулю. При нахождении человека в зоне растекания тока его ноги могут оказаться разноудаленными от зоны контакта, в точках с разными потенциалами. Разница этих потенциалов и создает шаговое напряжение. Оно максимально вблизи зоны контакта и убывает при удалении от нее. На расстоянии 20 м и более шаговое напряжение также практически равно нулю. С увеличением ширины шага оно возрастает, поэтому выходить из зоны шагового напряжения надо короткими шагами или прыжками на одной ноге.

3. Моделирование ситуаций на стенде

На стенде приведены схемы трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью (рис. 9.2) и трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью (рис. 9.3).

Трехфазная четырехпроводная сеть (TN–С)

При нормальном режиме работы проводимость фазных и нулевого провода относительно земли имеет малые значения и с некоторым допущением может приравниваться к нулю (рис. 9.2). В этом случае выражения для определения напряжения прикосновения и тока через тело человека при прикосновении его к сети значительно упрощаются.

Ниже рассматриваются возможные ситуации (рис. 9.2).

Ситуация 1. Человек, стоящий на земле, прикасается к фазному проводу. Путь тока – «рука–ноги». В этом случае:

$$U_{\text{пр}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{ч}} + R_0} R_{\text{ч}}; \quad (9.3)$$

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{ч}} + R_0}, \quad (9.4)$$

где $U_{\text{пр}}$ – напряжения прикосновения, В;
 U_{ϕ} – фазное напряжение, В;
 $R_{\text{ч}}$ – сопротивление тела человека, Ом;
 R_0 – сопротивление заземления нейтрали источника питания.

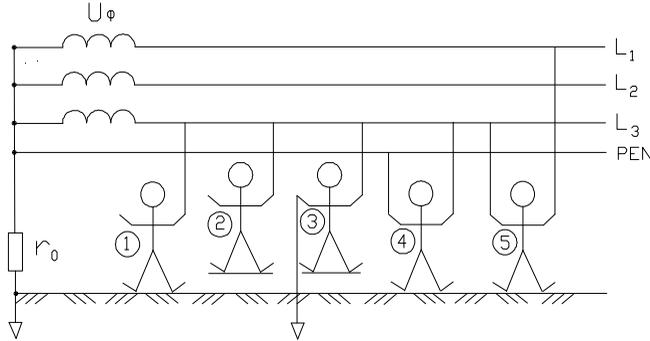


Рис. 9.2. Возможные ситуации поражения человека электрическим током в сети TN-C

Ситуация 2. Человек, стоящий на изолированном коврикe (деревянной подставке), прикасается к фазному проводу. В этом случае:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{ч}} + R_0 + R_{\text{осн}}}, \quad (9.5)$$

где $R_{\text{осн}}$ – сопротивление основания (подставки), на котором стоит человек.

Ситуация 3. Человек, стоящий на электроизолирующем коврикe (деревянной подставке), прикасается к фазному проводу, а другой рукой держится за металлоконструкцию, соединенную с землей (например, за радиатор отопления). Путь тока – «рука–рука». В этом случае:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{ч}} + R_0 + R_3}, \quad (9.6)$$

где R_3 – сопротивление растеканию тока естественного заземлителя (металлоконструкции).

Ситуация 4. Человек, стоящий на земле, прикасается к фазному и нулевому проводу. Здесь можно использовать формулы, приведенные в ситуации 1, но при $R_0 = 0$:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}}}. \quad (9.7)$$

Ситуация 5. Человек попадает под линейное напряжение $U_{\text{л}}$, прикасаясь к двум фазным проводникам. В этом случае:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{ч}}}. \quad (9.8)$$

Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью (IT)

В указанных сетях (рис. 9.3) при нормальном режиме работы и сравнительно коротких воздушных линиях

$$\begin{aligned} r_1 = r_2 = r_3 = r; \\ C_1 = C_2 = C_3 = 0, \end{aligned} \quad (9.9)$$

где r – сопротивление изоляции проводов;
 C – емкость проводов относительно земли.

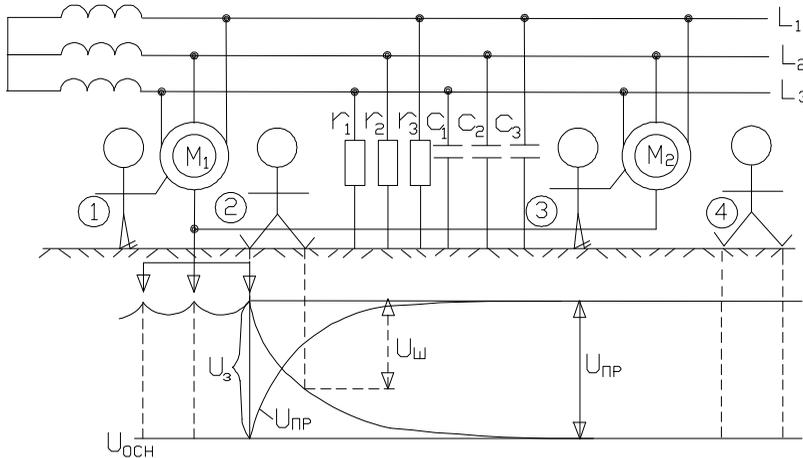


Рис. 9.3. Возможные ситуации поражения человека электрическим током в трехфазной сети 400 В с изолированной нейтралью (IT)

Ток, проходящий через человека, который коснулся фазного провода стоя на земле:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{ч}} + \frac{r}{3}}. \quad (9.10)$$

При нормальном режиме работы и очень больших сопротивлениях изоляции, например в кабельных сетях:

$$\begin{aligned} r_1 = r_2 = r_3 &\approx \infty; \\ C_1 + C_2 + C_3 &= C. \end{aligned} \quad (9.11)$$

Ток, проходящий через тело человека при его прикосновении к фазному проводу:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{R_{\text{ч}}^2 + \left(\frac{X_{\text{с}}}{3}\right)^2}}; \quad (9.12)$$

$$X_{\text{с}} = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}, \quad (9.13)$$

где $X_{\text{с}}$ – емкостное сопротивление проводов относительно земли;
 f – частота тока.

Таким образом, в сетях с изолированной нейтралью опасность для человека, прикоснувшегося к одному из фазных проводов в период нормальной работы сети, зависит от сопротивления изоляции и емкости проводов относительно земли: с увеличением сопротивления и уменьшением емкости опасность уменьшается.

Ниже приведены ситуации, связанные с опасностью поражения человека электрическим током в рассматриваемой сети (IT) в аварийных режимах.

Ситуация 1. Человек, стоящий непосредственно над групповым заземлителем, прикоснулся к корпусу асинхронного электродвигателя M_1 ,

оказавшемуся под напряжением и соединенному с указанным групповым заземлителем.

В этом случае потенциал земли над заземлителем в поле растекания тока будет практически равным потенциалу корпуса, а разность этих потенциалов, т. е. напряжение прикосновения $U_{пр}$, — близка к нулю. Напряжение шага $U_{ш}$ также будет близко к нулю, т. к. ступни сомкнуты:

$$U_{пр} = \varphi_k - \varphi_3 \approx 0; \tag{9.14}$$

$$U_{ш} = \varphi_{3A} - \varphi_{3B} \approx 0,$$

где φ_k — потенциал корпуса электродвигателя;

φ_3 — потенциал земли (над заземлителем);

φ_{3A} — потенциал земли в точке *A* (одна ступня);

φ_{3B} — потенциал земли в точке *B* (вторая ступня).

Таким образом, человек, стоя в непосредственной близости от корпуса электродвигателя над его заземлителем при пробое напряжения, попадает под неопасное напряжение прикосновения $U_{пр}$. Шаговое напряжение $U_{ш}$ будет зависеть от расстояния между ступнями и расстояния от заземлителя, т. к. по мере удаления от заземлителя потенциал земли уменьшается, а соответственно, уменьшается и разность этих потенциалов, т. е. напряжение шага.

Ситуация 2. Человек, стоящий с определенным расстоянием между ступнями непосредственно над групповым заземлением, не касается корпуса электрического двигателя M_1 , оказавшегося под напряжением.

В этом случае человек попадает под шаговое напряжение $U_{ш}$, величина которого зависит от удельного электрического сопротивления грунта и расстояния между ступнями:

$$U_{ш} = \varphi_{3A} - \varphi_{3B}; \tag{9.15}$$

$$U_{пр} = 0.$$

Ситуация 3. Человек прикоснулся к корпусу асинхронного электродвигателя M_2 , оказавшегося под напряжением, располо-

женного на расстоянии более 20 м от заземленного электродвигателя M_1 .

В этом случае потенциал земли, где стоит человек вне поля растекания тока (более 20 м), равен нулю и человек попадает под полное напряжение на корпусе электродвигателя M_2 . Шаговое напряжение будет равно нулю:

$$\begin{aligned}U_{\text{пр}} &= \varphi_{\text{к}} - 0 = U_{\text{к}}; \\U_{\text{ш}} &= 0.\end{aligned}\tag{9.16}$$

Ситуация 4. Человек, стоящий возле электродвигателя M_2 , не прикасается к нему, ступни разомкнуты.

В этом случае шаговое напряжение $U_{\text{ш}}$ равно нулю, т. к. человек находится вне поля растекания тока:

$$\begin{aligned}U_{\text{ш}} &= 0; \\U_{\text{пр}} &= 0.\end{aligned}\tag{9.17}$$

Таким образом, человек при прикосновении к электродвигателю (или иному электрооборудованию), установленному на токопроводящем основании и оказавшемуся под напряжением, находится в поле растекания тока, т. е. вблизи от заземлителя. В данном случае, как показано на примере (рис. 9.3), заземлять электродвигатель (M_2) на заземлитель другого электродвигателя (M_1) не рекомендуется.

4. Порядок проведения измерений и выполнения расчетов

Подготовьте таблицу для записи результатов измерений и расчетов (табл. 9.3).

Подключите стенд к источнику питания напряжением 220 В. Смоделируйте для трехфазной четырехпроводной сети (рис. 9.2) ситуацию 1, установив переключатель № 1 на стенде в положение 1. Правильность переключения контролируйте по загоранию лампочки на схеме стенда, соответствующей данной ситуации. Занесите в табл. 9.3 показания вольтметра и миллиамперметра.

Аналогичным образом (путем поворота переключателя № 1) смоделируйте ситуации 2, 3, 4, 5; при этом загорятся соответствующие лампочки на стенде. Данные измерений занесите в табл. 9.3.

Проведите расчеты согласно формулам (9.1–9.8) и занесите значения в табл. 9.3.

Смоделируйте для трехфазной сети с изолированной нейтралью (см. рис. 9.3) ситуацию 1, повернув переключатель № 2 на стенде в положение 1. Правильность переключения контролируйте по загоранию на стенде лампочки, соответствующей ситуации 1. Занесите в табл. 9.3 показания вольтметра и миллиамперметра.

Аналогичным образом (путем изменения положения переключателя № 2) создайте последовательно ситуации 2, 3, 4; при этом загорятся соответствующие лампочки на стенде. Данные измерений занесите в табл. 9.3.

Произведите расчеты согласно формулам (9.9–9.17) и занесите значения в табл. 9.3.

Проанализируйте полученные экспериментальные и расчетные данные, сравните их и сделайте вывод об опасности поражения электрическим током в различных сетях при различных ситуациях.

Таблица 9.3

Результаты исследования электробезопасности в трехфазных сетях

Ситуация	Измеренные величины			Вычисленные значения	
	$U_{ш}$, В	$U_{пр}$, В	$I_{ч}$, мА	$I_{ч}$, мА	$U_{ш}$, В
Четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью					
1					
2					
3					
4					
5					
Трехпроводная сеть с изолированной нейтралью					
1					
2					
3					
4					

5. Исследование сопротивления тела человека на переменном токе

Степень воздействия электрического тока на организм человека зависит от следующих факторов:

- величины электрического тока, А;
- длительности воздействия тока, с;
- пути протекания тока;
- рода и частоты тока, Гц.

Величина тока в электрической цепи определяется сопротивлением этой цепи и приложенным напряжением.

Человеческое тело, как и тело любого другого живого организма, имеет свойство проводить через себя электрический ток. Разные живые ткани в организме имеют различную проводимость (сопротивление). Например, кожа, жировая ткань, кости имеют большое сопротивление, а кровь, мышечная масса и особенно головной и спинной мозг – малое. Кожа имеет большое удельное электрическое сопротивление, что впоследствии и определяет фактическое сопротивление человеческого тела (табл. 9.4).

Таблица 9.4

Удельное объемное электрическое сопротивление тканей человеческого организма

Ткань	Удельное сопротивление, Ом·м
Кожа сухая	$3 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^5$
Кости (без надкостницы)	$10^4 - 2 \cdot 10^5$
Жировая ткань	300–600
Мышечная ткань	15,0–30,0
Кровь	10,0–20,0
Спинномозговая жидкость	5,0–6,0

Электропроводимость тела человека

Сопротивление тела человека между двумя точками касания (электродами) (рис. 9.4) складывается из сопротивления внутренних тканей и органов и сопротивления кожи. Электросопротивление можно смоделировать электрической цепью, состоящей из резисторов и конденсаторов, отображающих омические (R) и емкостные (C) свойства биологических тканей.

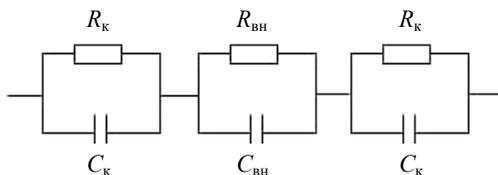


Рис. 9.4. Сопротивление тела человека между двумя точками касания (электродами)

Сопротивление $R_{вн}$ внутренних частей организма слабо зависит от общего состояния человека. В расчетах принимают $R_{вн} = 1000$ Ом (для пути «ладонь–ступня»). Сопротивление кожи R_k при прохождении тока от ее поверхности к внутренним тканям в десятки раз больше сопротивления $R_{вн}$. Поэтому для постоянного и низкочастотного тока (50–60 Гц) сопротивление кожи при точечном контакте является определяющим фактором, который ограничивает ток. (При высоких частотах более существенным фактором является внутреннее сопротивление тела.) Следовательно, в большинстве ситуаций ток, протекающий через тело, в основном зависит от состояния тела в точке контакта. Сухая кожа имеет высокое сопротивление, а влажная или мокрая – низкое, т. к. ионы, находящиеся во влаге, обеспечивают прохождение тока в тело. При сухой коже сопротивление между крайними точками тела (ладонь–ступня) может быть равным 10^5 Ом, а при мокрой может составить 1 % от этого значения. Полное сопротивление тела между потными руками принимают равным 1500 Ом.

Сопротивление кожи R_k существенно зависит от внутренних и внешних причин (погливость, влажность, наличие раневого повреждения). Кроме того, на разных участках тела кожа имеет разную толщину и, следовательно, различное сопротивление. Поэтому ввиду изменчивости сопротивления кожи ее при расчетах не учитывают, принимая $R_k = 0$. Ток, протекающий через тело, рассчитывают по формуле

$$I = \frac{U}{R_{вн}}.$$

Наиболее чувствительными к электрическому току частями организма являются мозг, грудные мышцы и нервные центры, которые контролируют дыхание и сердце.

Кожа человека

Площадь кожи – 1,5–2,5 м². Кожа составляет 18 % от массы тела.

Функции:

- барьерная;
- терморегуляционная (потоотделение, теплоизоляция – подкожная жировая клетчатка, сосудистые реакции кожи);
- метаболическая (выработка витамина D);
- рецепторная;
- выделительная (пот);
- депо крови (накопление до 1 л крови);
- иммунологическая (начинаются иммунные реакции).

Кожа человека имеет два слоя (рис. 9.5):

1. Наружный слой кожи (эпидермис) состоит из нескольких слоев, верхний из которых (роговой) представляет собой множество рядов отмерших и ороговевших клеток. В чистом и сухом виде этот слой можно характеризовать как диэлектрик (он имеет очень большое электрическое сопротивление).

2. Внутренний слой кожи (дерма) представляет собой живую ткань. Данный слой имеет малое электрическое сопротивление.

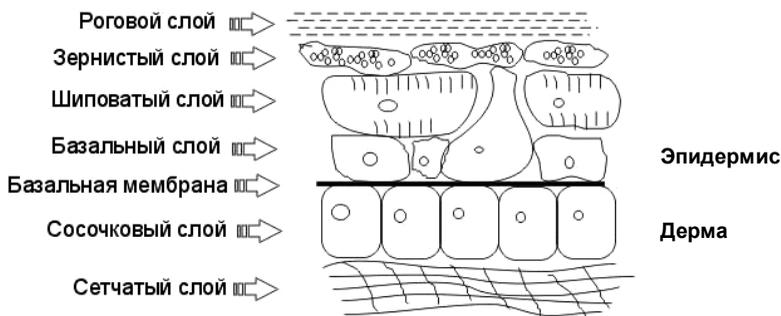


Рис. 9.5. Слои кожи

Эпидермис – многослойный ороговевающий эпителий, лежащий на базальной мембране. Толщина – 0,3–2 мм в зависимости от участка тела. Состоит из слоев:

- а) базального – клетки интенсивно делятся и смещаются в верхние слои;
- б) шиповатого – клетки становятся овальными;

- в) зернистого – уплощенные клетки с гранулами кератина;
- г) рогового – чешуйки (постклеточные структуры).

Дерма. В дерме располагаются производные кожи: потовые железы, сальные железы, волосы. Толщина – 1–2,5 мм. Состоит из слоев:

а) сосочкового (сосочки слоя вдаются в эпидермис и образуют папиллярные линии ладоней);

б) сетчатого (обеспечивает механическую прочность кожи).

Эпидермис не обладает электропроводностью (это изолятор), но в нем проходят протоки желез, по которым передается электрическое поле. Электропроводность кожи определяет пот. Он состоит на 98 % из воды и на 2 % из органических и неорганических веществ (солей и др.).

Существуют соматовисцеральные связи (от кожи к органам) и висцеросоматические связи (от органов к коже). Если органы болят, кожа меняет свои параметры.

Электрическое сопротивление обычного человека при условии, что кожа у него чистая, сухая и неповрежденная (напряжение 15–20 В) лежит в пределах 3–100 кОм (1 кОм = 1000 Ом), в некоторых случаях и более. Сопротивление тела человека, а именно проводимость между двумя электродами, которые касаются поверхности кожи, можно рассматривать как сопротивление включенных последовательно тела и электродов: наружные слои (эпидермиса) представляют собой первое сопротивление, а внутренние слои являются вторым и третьим сопротивлением, включающим сопротивление внутреннего слоя кожи и сопротивление внутренних тканей.

Электрическая емкость человеческого тела

Наружное сопротивление человека обладает не только активным сопротивлением, но и емкостным, поскольку в месте контакта электродов с человеческим телом образуется некое подобие конденсатора, в роли обкладок которого выступают сами электроды и ткани тела человека, хорошо проводящие электрический ток и находящиеся под наружным слоем кожи, а диэлектриком (изолятором между обкладками) в данном случае будет наружный слой кожи (эпидермис).

Емкостная составляющая, присутствующая в сопротивлении человека, обуславливает влияние как рода электрического тока, так и его частоты на общую величину сопротивления тела. При частоте 10–20 кГц (10 000–20 000 Гц) и выше можно утверждать, что поверх-

ностный слой кожи почти полностью утратил свое сопротивление. Общее сопротивление человека в данном случае будет состоять лишь из внутреннего сопротивления тела (сопротивления дермы и внутренних тканей).

Общее состояние кожи в значительной мере оказывает влияние на величину электрического сопротивления человека. При повреждении рогового слоя кожи (царапины, порезы, ссадины и т. д.) происходит снижение сопротивления человека до величины, приближенной к значению внутреннего сопротивления, а это повышает опасность поражения электрическим током. Подобное влияние может иметь место и в случае увлажнения кожи водой или потом.

При электрическом переменном токе промышленной частоты (50 Гц) берут во внимание только активное сопротивление человека (его тела) и соотносят его с величиной, равной 1 кОм. В действительности данное электрическое сопротивление – величина непостоянная, которая имеет нелинейную характеристику и зависит от дополнительных условий, в т. ч. от параметров электрической цепи, состояния кожи, состояния окружающей среды, физиологии человека и т. д.

Так как сопротивление кожи у одного и того же человека может быть неодинаковым в разных местах тела, то на его сопротивление будет значительно влиять конкретное место прикосновения электрических контактов, а также их общая площадь. Величина электрического тока и длительность воздействия на тело оказывают прямое влияние на полное сопротивление человека: с увеличением значения тока и времени его прохождения сопротивление будет понижаться, потому что происходит местный нагрев участков кожи, а это ведет к расширению сосудов, тем самым усиливая снабжение данного участка тела кровью, увеличивая его потоотделение. Увеличение напряжения, воздействующего на тело человека, вызывает понижение сопротивления кожи в десятки раз, следовательно и общее сопротивление человека снижается до предела 300–500 Ом, а это опасно.

Величина тока и напряжения

Основным фактором, влияющим на исход поражения человека электрическим током, является величина тока, которая согласно закону Ома зависит от величины приложенного напряжения и сопротивления тела человека. Эта зависимость не является линейной,

т. к. при напряжении около 100 В и выше наступает пробой верхнего рогового слоя кожи, вследствие чего электрическое сопротивление человека резко уменьшается (становится равным $R_{вн}$), а ток возрастает. Напряжение, приложенное к телу человека, также влияет на исход поражения, но лишь настолько, насколько оно определяет значение тока, проходящего через человека.

Род и частота электрического тока

Воздействие на человека постоянного и переменного тока различно: переменный ток промышленной частоты опаснее постоянного тока того же значения. Случаев поражения в электроустановках постоянным током в несколько раз меньше, чем в аналогичных установках переменного тока. При более высоких напряжениях (более 300 В) постоянный ток более опасен, чем переменный (из-за интенсивного электролиза).

С увеличением частоты переменного тока полное сопротивление тела уменьшается, что приводит к увеличению силы тока, проходящего через человека, а следовательно, повышается опасность поражения. Наибольшую опасность представляет ток частотой от 50 до 1000 Гц; при дальнейшем повышении частоты опасность поражения уменьшается, а при частоте 45–50 кГц исчезает полностью. Эти токи сохраняют опасность ожогов. Снижение опасности поражения током с ростом частоты становится практически заметным при 1–2 кГц.

Электроды

Электроды – это проводники специальной формы, соединяющие измерительную цепь с биологической системой. К электродам предъявляются следующие требования: они должны быстро фиксироваться и сниматься, иметь высокую стабильность электрических параметров, быть прочными, не раздражать биологическую ткань и т. п.

Решение важной физической проблемы, относящейся к электродам для снятия биоэлектрического сигнала, заключается в минимизации потерь полезной информации, особенно на переходном сопротивлении «электрод–кожа». Эквивалентная электрическая схема контура, включающего в себя биологическую систему и электроды, представлена на рис. 9.6.

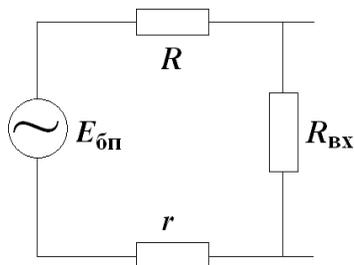


Рис. 9.6. Эквивалентная электрическая схема контура:

$E_{\text{бп}}$ – ЭДС источника биопотенциалов;
 r – сопротивление внутренних органов;
 R – сопротивление кожи и электродов;
 $R_{\text{вх}}$ – входное сопротивление усилителя

Из закона Ома (без учета разветвления цепи) следует:
 $E_{\text{бп}} = Ir + IR + IR_{\text{вх}}$.

Падение напряжения на входе усилителя полезное, т. к. усилитель увеличивает именно эту часть ЭДС источника. Падение напряжения I_r и IR внутри биологической системы и в месте контакта кожи с электродом бесполезное. Поскольку $E_{\text{бп}}$ задана, а повлиять на уменьшение I_r невозможно, то увеличивать $IR_{\text{вх}}$ можно лишь уменьшением R – и прежде всего уменьшением сопротивления контакта «электрод–кожа». Это можно сделать разными способами:

- используя салфетки, смоченные физраствором;
- увеличивая площадь электрода (истинная картина в этом случае может искажаться, т. к. электрод будет захватывать сразу несколько эквипотенциальных поверхностей).

При использовании электродов наблюдаются две проблемы. Первая – возникновение гальванической ЭДС в месте контакта электрода с биологической системой. Вторая – электролитическая поляризация электродов, что приводит к выделению на электродах продуктов реакции при прохождении тока. В результате возникает встречная ЭДС. В обоих случаях возникновение ЭДС искажает снимаемый электродами полезный биоэлектрический сигнал.

Сопротивление соединения «кожа–электрод» зависит от площади и формы электродов. При увеличении площади сопротивление падает, но с определенного значения площади дальнейшее увеличение размеров прямоугольного электрода бессмысленно, т. к. поле

значительно ослабевает на некотором удалении от кожи. При больших площадях возникает искажение снимаемой информации, из-за того что электрод захватывает несколько эквипотенциальных поверхностей. Также бессмысленно увеличение длины точечного электрода. В целом сопротивление зависит от площади соприкосновения электрода с кожей.

6. Порядок выполнения работы

1. Вилку кабеля питания включить в розетку электросети 400 В, 50 Гц.

2. Проверить исходные положения тумблеров и автоматических выключателей на панели стенда:

SA1 – вниз («Выкл.»);

SA3 – «Откл.»;

все клавишные выключатели – «Выкл.»;

SA4 – вниз («Выкл.»);

QF2 – вниз («Выкл.»);

QF3 – вниз («Выкл.»);

SA7 – «∞»;

SA8 – «0»;

SA10 и SA11 – среднее положение;

SA14 – вниз («Выкл.»);

SA15 – вниз («Выкл.»).

3. Включить автоматический выключатель QF1 «Сеть». Через несколько секунд на индикаторах высветятся нулевые показания – изделие подготовлено к выполнению лабораторных работ.

Уточнить у преподавателя, какие исследования необходимо провести.

4. Исследовать сопротивление человека на переменном токе (от 50 до 5000 Гц) при $U_k = 7$ В:

$$R_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{к}}}{I_{\text{ч}}}.$$

Данные занести в табл. 9.5.

Таблица 9.5

Результаты исследования сопротивления человека на переменном токе

Площадь контакта, мм ²	Частота, Гц	Ток, мА	Сопротивление, кОм
250	50		
	100		
	200		
	500		
	1000		
	2000		
	5000		
500	50		
	100		
	200		
	500		
	1000		
	2000		
	5000		

5. Построить графики зависимости сопротивления тела от частоты тока при площади контакта $S = 250 \text{ мм}^2$, $S = 500 \text{ мм}^2$.

6. Сделать вывод о влиянии частоты тока и площади контакта на сопротивление тела человека.

Контрольные вопросы по теме занятия

1. Какое действие оказывает электрический ток на организм человека?

2. Назовите виды поражения электрическим током и охарактеризуйте их.

3. Что такое электрический удар?

4. Какие факторы влияют на степень поражения человека электрическим током?

5. Какие элементы включают системы электропитания $TN-C-S$, $TN-S$?

6. Что называется напряжением прикосновения и шаговым напряжением?

7. Какая ситуация наиболее опасна в сети $TN-C-S$ для человека и почему?
8. Какая ситуация наиболее опасна в сети IT для человека и почему?
9. От каких основных факторов зависит степень воздействия электрического тока на организм человека?
10. От чего зависит сопротивление кожи?
11. Что влияет на сопротивление тела человека?
12. Какие части организма являются наиболее чувствительными?
13. Какие функции выполняет кожа человека?
14. Какие слои имеет кожа?
15. Почему с ростом частоты приложенного напряжения сопротивление тела человека уменьшается?
16. Как изменяется сопротивление тела человека при загрязнении кожи?
17. Как изменяется полное сопротивление тела человека при изменении частоты приложенного напряжения?
18. Как изменяется полное сопротивление тела человека при увеличении площади электродов в диапазоне частот приложенного напряжения 1–10 000 Гц?
19. Как изменяется полное сопротивление тела человека при увеличении площади электродов в диапазоне частот приложенного напряжения 20–200 кГц?
20. Как изменяется сопротивление тела человека при повреждении кожи?

Лабораторное занятие № 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ЖИДКОСТЕЙ

Цель занятия: изучить методы определения температуры вспышки, нижнего температурного и нижнего концентрационного пределов воспламенения (распространения пламени) паров жидкости; оценить ЛВЖ по пожарной опасности для категорирования помещений по ТКП-474–2013 и классификации помещений по ПУЭ.

Приборы и оборудование: ПВНЭ, ЛАТР.

Задачи занятия:

1. Изучить методические указания по выполнению работы.
2. Ознакомиться с основными показателями пожарной опасности горючих жидкостей и категориями помещений по взрывопожарной и пожарной опасности в соответствии с ТКП-474–2013 «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».
3. Аналитически определить температуру вспышки вещества, указанного преподавателем, используя различные методы.
4. Экспериментально определить температуру вспышки вещества, указанного преподавателем.
5. Подготовить отчет по работе и защитить его у преподавателя.

1. Общие положения

Показатели пожаровзрывоопасности веществ и материалов определяют с целью получения исходных данных для разработки систем по обеспечению пожарной безопасности и взрывобезопасности.

Пожаровзрывоопасность – совокупность свойств, характеризующих способность веществ и материалов к возникновению и распространению горения. Следствием горения в зависимости от его скорости и условий протекания может быть пожар (диффузионное горение) или взрыв (дефлаграционное горение предварительно перемешанной смеси горючего с окислителем). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов определяется показателями, выбор которых зависит от агрегатного состояния вещества (материала) и условий его применения.

Основными показателями пожаровзрывоопасности являются группа горючести, температура вспышки, температура воспламенения, температура самовоспламенения, нижний и верхний концентрационные пределы распространения пламени, температурные пределы распространения пламени, температура самонагрева, минимальная энергия зажигания, кислородный индекс, скорость выгорания и др.

Группа горючести является классификационной характеристикой способности веществ и материалов к горению.

По горючести вещества и материалы подразделяют на три группы:

1) *негорючие* (несгораемые) – вещества и материалы, не способные к горению в воздухе. Негорючие вещества могут быть пожаровзрывоопасными (например, окислители или вещества, выделяющие горючие продукты при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом);

2) *трудногорючие* (трудносгораемые) – вещества и материалы, способные гореть в воздухе при воздействии источника зажигания, но не способные самостоятельно гореть после его удаления;

3) *горючие* (сгораемые) – вещества и материалы, способные самовозгораться, а также возгораться при воздействии источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления.

Группы горючести используются для оценки веществ и материалов, определения категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности, при разработке мероприятий по пожарной безопасности и др.

Температура вспышки ($t_{всп}$) – самая низкая (в условиях специальных испытаний) температура горючего вещества, при которой над его поверхностью образуются пары и газы, способные вспыхивать в воздухе от источника зажигания, но скорость их образования еще недостаточна для возникновения устойчивого горения.

Значения температуры вспышки применяют при оценке качества нефтепродуктов, при классификации жидкостей по степени пожароопасности, при определении категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности в соответствии с ТКП 474–2013 (прилож. 4), а также классов взрывоопасных и пожароопасных зон, в соответствии с требованиями Правил устройства электроустановок, при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности и взрывобезопасности

производств в соответствии с требованиями Системы стандартов безопасности труда (ССБТ).

В зависимости от значения температуры вспышки жидкости классифицируются на горючие жидкости – ГЖ (температура вспышки более 61 °С в закрытом тигле или более 66 °С в открытом) и легковоспламеняющиеся – ЛВЖ (температура вспышки не выше 61 °С в закрытом тигле или не выше 66 °С в открытом). Например, к ЛВЖ относятся ацетон ($t_{всп} = -18$ °С), бензин ($t_{всп} = -36...-7$ °С в зависимости от марки), метиловый спирт ($t_{всп} = -8$ °С), керосин ($t_{всп} = 15-60$ °С) и др.; к группе ГЖ относятся дизельное топливо, мазут, смазочные масла и т. п.

Легковоспламеняющиеся жидкости способны воспламеняться от кратковременного (до 30 с) воздействия источника зажигания с низкой энергией (пламя спички, искра, тлеющая сигарета и т. п.). Особо опасными называют легковоспламеняющиеся жидкости со значением температуры вспышки не более 28 °С.

Температурой воспламенения называют такую наименьшую температуру горючего вещества, при которой в условиях специальных испытаний из него выделяются горючие газы и пары с такой скоростью, что после их зажигания возникает устойчивое пламенное горение.

Данные о значениях температуры воспламенения применяют при установлении группы горючести веществ, оценке пожарной опасности оборудования и технологических процессов, связанных с переработкой горючих веществ; при разработке мероприятий для обеспечения пожаровзрывоопасности технологических процессов в соответствии с ПУЭ (прилож. 4).

Температура самовоспламенения – самая низкая температура горючего вещества, при которой в условиях специальных испытаний происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающихся пламенным горением.

Нижний и верхний концентрационные пределы распространения пламени (НКПРП, ВКПРП) – минимальное и максимальное содержание горючего вещества в смеси «горючее вещество–окислительная среда», при которой возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания.

НКПРП используется при определении категории помещений по пожаровзрывоопасности, а также при классификации зон по взрывопожарной и пожарной опасности. Значение НКПРП применяют при

расчете взрывобезопасных концентраций газов, паров и пылей внутри технологического оборудования, трубопроводов, при проектировании вентиляционных систем, а также при расчете предельно допустимой взрывобезопасной концентрации газов, паров и пылей в воздухе рабочей зоны с потенциальным источником зажигания.

Нижний и верхний температурные пределы распространения пламени (НТПРП и ВТПРП) – температуры вещества, при которых его насыщенные пары образуют в конкретной окислительной среде концентрации, равные соответственно нижнему и верхнему концентрационным пределам распространения пламени.

Данные об НТПРП применяются при разработке мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасности объекта, при расчете пожаровзрывобезопасных температурных режимов работы технологического оборудования, при оценке аварийных ситуаций, связанных с разливом горючих жидкостей, и для расчета концентрационных пределов распространения пламени.

Классификация помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Для установления нормативных требований по обеспечению взрывопожарной и пожарной безопасности помещений и зданий в отношении планировки и застройки, этажности, площадей, конструктивных решений и инженерного оборудования определяют категории пожаровзрывоопасности помещений и зданий согласно ТКП-474–2013 «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

В прилож. 3 представлена классификация помещений по категориям взрывопожароопасности и пожароопасности, которые определяются исходя из агрегатного состояния и характеристик пожарной опасности веществ, используемых в технологических процессах, а также количества горючих веществ.

Температуру вспышки и воспламенения жидкостей определяют по методике, изложенной в ГОСТ 12.1.044–89 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов».

Аналитическое определение показателей пожарной опасности жидкостей

Из многочисленных методов расчета температуры вспышки наиболее точно ее можно найти по формуле, учитывающей линей-

ную зависимость $t_{всп}$ от температуры кипения жидкости $t_{кип}$, °С, в пределах отдельных классов химических соединений:

$$t_{всп} = a + bt_{кип}, \quad (10.1)$$

где a и b – эмпирические коэффициенты (табл. 10.1).

Таблица 10.1

Значения коэффициентов для различных классов химических соединений

Класс вещества	Коэффициенты		Средняя квадратичная погрешность
	a	b	
Алканы	-72,22	0,693	1,5
Спирты	-41,69	0,652	1,4
Алкиланилины	-21,94	0,533	2,0
Карбоновые кислоты	-43,57	0,708	2,2
Алкилфенолы	-38,42	0,623	1,4
Ароматические углеводороды	-67,83	0,665	3,0
Альдегиды	-74,78	0,831	1,5
Бромалканы	-49,56	0,665	2,2
Кетоны	-52,69	0,643	1,9
Хлоралканы	-55,70	0,631	1,7

Для вещества известного строения приближенную температуру вспышки, °С, можно получить из уравнения Элея

$$t_{всп} = t_{кип} - 18\sqrt{K}, \quad (10.2)$$

где K – коэффициент горючести, величина которого находится из алгебраической суммы входящих в состав молекул атомов, умноженных на соответствующий коэффициент:

$$K = 4C + 4S + 1H + 1N - 2O - 2Cl - 3F - 5Br. \quad (10.3)$$

Между температурой вспышки и нижним температурным пределом распространения пламени t_n существует зависимость

$$t_n = t_{всп} - c, \quad (10.4)$$

где c – эмпирический коэффициент ($c = 2$, если для расчета используется значение $t_{всп}$ в закрытом тигле; $c = 8$, если для расчета используется значение $t_{всп}$ в открытом тигле).

НКПРП, %, рассчитывается по формуле

$$\varphi_{\text{НКПРП}} = \frac{100}{8,684\beta + 4,679}, \quad (10.5)$$

где β – стехиометрический коэффициент, определяемый по формуле

$$\beta = n_{\text{C}} + \frac{n_{\text{H}} - n_{\text{X}}}{4} - \frac{n_{\text{O}}}{2}, \quad (10.6)$$

где n_{C} , n_{H} , n_{X} – количество атомов углерода, водорода, галогенов в молекуле вещества соответственно.

В свою очередь, значение НКПРП $\varphi_{\text{НКПРП}}$ связано с нижним температурным пределом распространения пламени $t_{\text{н}}$:

$$t_{\text{н}} = \frac{B}{A - \lg(\varphi_{\text{НКПРП}} P_{\text{a}} / 100)} - C_{\text{A}}, \quad (10.7)$$

где A , B , C_{A} – константы уравнения Антуана (табл. 10.2);

P_{a} – атмосферное давление, кПа.

Экспериментальное определение температуры вспышки

Сущность метода заключается в нагревании вещества с постоянной скоростью при непрерывном перемешивании и испытании на вспышку через определенные интервалы температур.

Перед тем как приступить к экспериментальному определению температуры вспышки, необходимо знать ее ориентировочные значения, т. к. испытания на вспышку начинают при температуре на 10–15 °С ниже предполагаемой температуры вспышки. С этой целью перед проведением серии опытов аналитически определяют значение температуры вспышки.

Температуру вспышки легковоспламеняющихся и горючих жидкостей определяют в закрытом тигле на приборе вспышки нефтепродуктов с электрическим подогревом (ПВНЭ), принципиальная схема которого представлена на рисунке.

Таблица 10.2

Показатели пожаровзрывоопасности органических жидкостей различных классов

Вещество	Класс химических соединений	Константы уравнения Антуана			Температура кипения, °С	Температура вспышки, °С	Горючесть, воспламеняемость
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C_A</i>			
Анилин	Алкиланилины	6,921290	1457,020	176,195	+184,40	+73	ГЖ
Ацетон	Кетоны	7,250580	1281,721	237,088	+56,24	-18	ЛВЖ
Бензол	Ароматические углеводороды	6,488980	902,275	178,099	+80,10	-12	ЛВЖ
Глицерин	Спирты	9,052597	3074,220	14,712	+290,0	+98	ГЖ
Диметил формамид	Алканамиды	7,034460	1482,985	204,342	+153,0	+58	ЛВЖ
Стирол	Ароматические углеводороды	7,940490	2113,057	279,986	+145,20	+31	ЛВЖ
Уксусная кислота	Карбоновые кислоты	7,798460	1789,752	245,908	+118,10	+38	ЛВЖ
Этилен-гликоль	Спирты	9,012610	2753,183	252,009	+197,20	+112	ГЖ
Этиловый спирт	Спирты	8,686650	1918,508	252,125	+78,37	+13	ЛВЖ

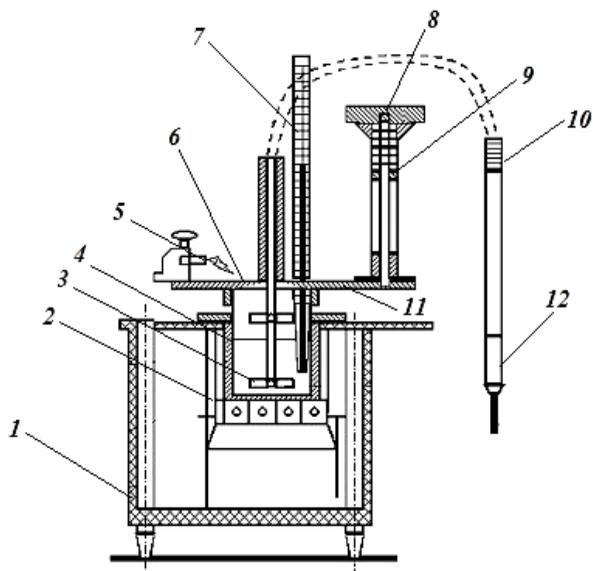


Рис. Принципиальная схема ПВНЭ:

1 – кожух; 2 – электронагревательная ванна; 3 – мешалка; 4 – латунный стакан;
 5 – горелка с фитилем; 6 – заслонка; 7 – термометр; 8 – головка; 9 – колонка;
 10 – гибкая передача; 11 – крышка; 12 – рукоятка

Прибор помещают на специальную платформу с тремя установочными винтами. Он закрыт металлическим кожухом 1, внутри которого, в центре, укреплен металлический цилиндр 2, являющийся электронагревательной ванной. По боковой поверхности и по дну цилиндра, выложенным асбестом, проходит электрическая спираль, концы которой выведены к двум зажимам на наружной поверхности кожуха для подключения к сети переменного тока через регулятор напряжения – лабораторный автотрансформатор (ЛАТР), позволяющий плавно изменять скорость нагревания испытуемой жидкости. Внутри цилиндра вставлен латунный стакан 4 для испытуемого продукта. В верхней части стакана имеется риска, указывающая предел наполнения стакана испытуемой жидкостью.

Прибор имеет мешалку 3 для перемешивания во время подогревания в стакане испытуемой жидкости (нижняя пара лопастей) и ее паров в смеси с воздухом (верхняя пара лопастей), что способствует более точному определению температуры вспышки. Мешалка приводится во вращение гибкой передачей 10 при нажатии на рукоятку 12.

Стакан плотно закрыт крышкой 11, имеющей три отверстия трапецевидной формы. В нерабочем положении они закрываются заслонкой 6 с двумя отверстиями, соответствующими среднему и боковому отверстиям крышки. Заслонка поворачивается головкой 8 вместе с колонкой 9. В крышке имеются также два круглых отверстия для мешалки и термометра 7. На крышке в стойке на цапфах установлена горелка 5 с фитилем.

При вращении головки 8 пружина, проходящая через колонку 9, поворачивает через рычаг заслонку 6, которая открывает среднее отверстие крышки 11. Когда оно открывается на $\frac{3}{5}$ своей длины (по окружности), открываются и боковые отверстия крышки. Одновременно наклоняется в вертикальной плоскости горелка 5 с фитилем. При полном совпадении отверстий заслонки и крышки конец фитильной трубки горелки опускается в среднее отверстие до середины толщины крышки, и в этот момент на короткое время появляется пламя над поверхностью жидкости. Это и есть момент вспышки. Термометр 7 показывает температуру вспышки испытуемой жидкости. При отпуске головки 8 заслонка и горелка автоматически возвращаются в первоначальное положение, отверстия крышки закрываются заслонкой.

Если при проведении исследования атмосферное давление отличалось от 101,3 кПа (760 мм рт. ст.), то в показания термометра вносят поправку на температуру, которую определяют по формуле

$$\Delta t = 0,0345 (760 - P_6), \quad (10.8)$$

где P_6 – барометрическое давление, мм рт. ст.

При низких давлениях поправку к показаниям термометра прибавляют, а при больших – вычитают из них.

2. Порядок выполнения работы

1. Рассчитать температуру вспышки исследуемой жидкости, используя аналитические зависимости (10.1) и (10.2).
2. Вместе с преподавателем или лаборантом проверить комплектность прибора ПВНЭ.
3. Подключить нагреватель печи к сети через ЛАТР и отрегулировать скорость нагрева жидкости (5–6 °С/мин).

Процесс нагревания должен сопровождаться перемешиванием жидкости мешалкой (частота вращения – 90–120 мин⁻¹).

Испытания на вспышку начать проводить за 10–15 °С до предполагаемой температуры вспышки через каждый 1 °С для жидкостей с температурой вспышки до 104 °С и через каждые 2 °С для жидкостей с температурой вспышки более 104 °С.

В момент испытания на вспышку перемешивание прекратить. Зажечь фитиль, открыть заслонку поворотом рукоятки пружинного механизма. В момент четкого появления пламени над поверхностью жидкости зафиксировать показания термометра.

4. Рассчитать значение $t_{всп}$, определив поправку на барометрическое давление по формуле (10.6).

Определить значение НТПРП, подставив найденное значение температуры вспышки в формулу (10.3).

Таблица 10.3

Протокол измерений

Температура вспышки, °С		Барометрическое давление P_6 , мм рт. ст.	Температура вспышки с учетом барометрического давления $t_{всп}$, °С	Температура вспышки (справочные данные) $t_{всп.справ.}$, °С	НТПРП, °С		НКПРП, %	
расчетная $t_{всп.расч}$	экспериментальная $t_{всп.эсп}$				по расчету $t_{НТПРП.расч}$	по справочным данным $t_{НТПРП.справ}$	по расчету $Ф_{НКПРП.расч}$	по справочным данным $Ф_{НКПРП.справ}$

5. Рассчитать значение НКПРП, используя зависимость (10.5) между температурным и концентрационными пределами. Сравнить полученное значение со справочными данными.

6. Получить у преподавателя условие задачи для определения категории помещения, здания или зоны по пожаровзрывоопасности. Решить ее, используя значения, полученные в ходе работы.

7. Отключить ПВНЭ, вымыть латунный стакан, убрать рабочее место.

8. Результаты измерений занести в табл. 10.3.

Контрольные вопросы по теме занятия

1. Какие существуют показатели пожаровзрывоопасности веществ и материалов?
2. Как классифицируются ЛВЖ по температуре вспышки?
3. Как классифицируются помещения по взрывопожарной и пожарной опасности?
4. Какие существуют методы расчета температуры вспышки жидкостей?
5. В чем заключается метод определения температуры вспышки в закрытом тигле?
6. Какая связь существует между температурными и концентрационными пределами вспышки?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляков, Г. И. Охрана труда и техника безопасности : учебник для прикладного бакалавриата / Г. И. Беляков. – М. : Юрайт, 2017. – 404 с.

2. Карнаух, Н. Н. Охрана труда : учебник для прикладного бакалавриата / Н. Н. Карнаух. – М. : Юрайт, 2015. – 381 с.

3. Обеспечение пожарной безопасности на объектах АПК : практикум / сост.: Г. Ф. Назарова, С. А. Корчик. – Минск : БГАТУ, 2014. – 244 с.

4. Обеспечение пожарной безопасности. Пожарно-технический минимум : практическое пособие / А. В. Суриков [и др.] ; ГУО «Институт переподготовки и повышения квалификации» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – Минск : ИВЦ Минфина, 2016. – 368 с.

5. Охрана труда. Практикум : учебное пособие / А. С. Алексеенко [и др.] ; под общ. ред. А. С. Алексеенко. – Минск : ИВЦ Минфина, 2017. – 192 с.

6. Охрана труда. Практикум : учебно-методическое пособие / сост.: В. Г. Андруш [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2018. – 272 с.

7. Охрана труда [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Охрана труда» для специальностей 1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства, 1-74 06 02 Техническое обеспечение процессов хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, 1-74 06 03 Ремонтно-обслуживающее производство в сельском хозяйстве, 1-74 06 06 Материально-техническое обеспечение агропромышленного комплекса, 1-36 12 01 Проектирование и производство сельскохозяйственной техники, 1-54 01 01 Метрология, стандартизация и сертификация / Минсельхозпрод РБ, БГАТУ, ИТФ, кафедра управления охраной труда ; сост.: Л. Т. Ткачева, Т. П. Кот, Н. Н. Жаркова. – Электронные данные (16 443 152 байта). – Минск : БГАТУ, 2015. – Загл. с экрана.

8. Охрана труда [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Охрана труда» для специальностей 1-74 06 05 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (по направлениям), 1-53 01 01 Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям), направление специальности 1-53 01 01-09 Автоматизация технологических про-

цессов и производств (сельское хозяйство) / Минсельхозпрод РБ, БГАТУ, ИТФ, кафедра управления охраной труда ; сост.: В. Г. Андруш, С. А. Корчик, О. В. Абметко. – Электронные данные (14 538 840 байт). – Минск : БГАТУ, 2017. – Загл. с экрана.

9. Таранов, М. А. Электробезопасность эксплуатации сельских электроустановок : учебное пособие / М. А. Таранов, В. Я. Хорольский, Е. Е. Привалов. – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2014. – 96 с.

10. Тургиев, А. К. Охрана труда в сельском хозяйстве : учебное пособие / А. К. Тургиев. – 4-е изд., стер. – М. : Академия, 2013. – 256 с.

Нормативные правовые акты, технические нормативные правовые акты

11. ГОСТ 12.1.003–83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – Введ. 1984-07-01. – Минск : Госстандарт, 2008. – 12 с.

12. ГОСТ 12.1.005–88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Взамен ГОСТ 12.1.005–76 ; введ. 1989-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 52 с.

13. ГОСТ 12.1.012–2004. Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования. – Взамен ГОСТ 12.1.012–90 ; введ. 2009-08-01. – М. : Изд-во стандартов, 2009. – 20 с.

14. ГОСТ 12.1.044–89. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – Введ. 1991-01-01. – Минск : БелГИСС, 1991. – 104 с.

15. ГОСТ 30331.3–95 (МЭК 364-4-41–92). Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током. – Введ. 1999-06-01. – Минск : Госстандарт, 2011. – 20 с.

16. Конституция Республики Беларусь 1994 года (с изменениями и дополнениями, принятыми на республиканских референдумах 24 ноября 1996 г. и 17 октября 2004 г.). – Минск : Амалфея, 2013. – 48 с.

17. Об охране труда : Закон Республики Беларусь, 28 июня 2008 г., № 356-З : в ред. Закона Респ. Беларусь от 12.07.2013 г. № 61-3 //

КонсультантПлюс : Беларусь [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2018.

18. Об утверждении Санитарных норм, правил и гигиенических нормативов «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» : постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 16 ноября 2011 г. № 115 // КонсультантПлюс : Беларусь [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2019.

19. Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к контролю воздуха рабочей зоны», Гигиенических нормативов «Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны», «Ориентировочные безопасные уровни воздействия вредных веществ в воздухе рабочей зоны», «Предельно допустимые уровни загрязнения кожных покровов вредными веществами» : постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 11 октября 2017 г. № 92 : в ред. постановления Министерства здравоохранения Респ. Беларусь от 05.01.2018 г. № 4 // КонсультантПлюс : Беларусь [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2019.

20. Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях» и Гигиенических нормативов «Показатели микроклимата производственных и офисных помещений» : постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь, 30 апреля 2013 г., № 33 : в ред. постановления Министерства здравоохранения Респ. Беларусь от 28.12.2015 г. № 136 // КонсультантПлюс : Беларусь [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2019.

21. Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к организациям, осуществляющим сельскохозяйственную деятельность» : постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 8 февраля 2016 г. № 16 // КонсультантПлюс : Беларусь [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2019.

22. Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к производственной вибрации, вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий» и Гигиенического норматива «Предельно допустимые и допустимые уровни нормируемых параметров при работах с источниками производственной вибрации, вибрации в жилых помещениях, помещениях

административных и общественных зданий» : постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 26 декабря 2013 г. № 132 : в ред. постановления Министерства здравоохранения Респ. Беларусь от 15.04.2016 г. № 57 // КонсультантПлюс : Беларусь [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2019.

23. Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к условиям труда работающих и содержанию производственных объектов» и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства здравоохранения Республики Беларусь : постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 8 июля 2016 г. № 85 // КонсультантПлюс : Беларусь [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2019.

24. О пожарной безопасности : Закон Республики Беларусь, 15 июня 1993 г., № 2403-ХП : в ред. Закона Респ. Беларусь от 30.12.2015 г. № 334-З // КонсультантПлюс : Беларусь [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2019.

25. ТКП 181–2009 (02230). Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – Введ. 2009-09-01. – Минск : Минэнерго, 2014. – 534 с.

26. ТКП 295–2011 (02300). Пожарная техника. Огнетушители. Требования к выбору и эксплуатации. – Взамен НПБ 28-2001 ; введ. 2011-07-01. – Минск : Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, 2017. – 24 с.

27. ТКП 427–2012 (02230). Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок. – Введ. 2013-03-01. – Минск : Минэнерго, 2013. – 166 с.

28. ТКП 45-2.04-153–2009. Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования. – Введ. 2009-01-01. – Минск : Минстройархитектуры, 2010. – 112 с.

29. ТКП 474–2013 (02300). Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – Введ. 2013-04-15. – Минск : Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, 2013. – 64 с.

30. Трудовой кодекс Республики Беларусь : Кодекс Республики Беларусь, 26 июля 1999 г., № 296-З : в ред. Закона Респ. Беларусь от 18.07.2019 г. № 219-З // КонсультантПлюс : Беларусь [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2019.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Нормы освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях промышленных предприятий (извлечение из ТКП 45-2.04-153–2009)

164

1	2	3	4	5	6	Искусственное освещение					Естественное освещение		Совмещенное освещение			
						7		9	10		11		12	13	14	
						всего	в том числе от общего		Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности и коэффициента пульсации		КЕО $e_n, \%$					
									P	$K_p, \%$	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении			при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28			
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	а	Малый	Темный	5000	500	–	20	10	–	–	6,0	2,0		
				4500	500	–	10	10								
			б	Малый	Средний	4000	400	1250	20	10						
				Средний	Темный	3500	400	1000	10	10						
			в	Малый	Светлый	2500	300	750	20	10						
				Средний	Средний	2500	300	750	20	10						
			Большой	Темный	2000	200	600	10	10							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15							
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	1500 1500 1250	200 200 200	400 400 300	20 20 10	10 10 10											
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30 включ.	II	а	Малый	Темный	4000 3500	400 400	– –	20 10	10 10	–	–	4,2	1,5							
				б	Малый Средний	Средний Темный	3000 2500	300 300	750 600	20 10					10 10						
			в	Малый	Светлый	2000	200	500	20	10											
				Средний Большой	Средний Темный	2000 1500	200 200	500 400	20 10	10 10											
			г	Средний	Светлый	1000	200	300	20	10											
				Большой Большой	Светлый Средний	1000 750	200 200	300 200	20 10	10 10											
			Высокой точности	От 0,30 до 0,50 включ.	III	а	Малый	Темный	2000 1500	200 200					500 400	40 20	15 15	–	–	3,0	1,2
							б	Малый Средний	Средний Темный	1000 750					200 200	300 200	40 20				
в	Малый	Светлый				750	200	300	40	15											
	Средний Большой	Средний Темный				750 600	200 200	300 200	40 20	15 15											
г	Средний	Светлый				400	200	200	40	15											
	Большой Большой	Светлый Средний																			
Средней точности	Св. 0,5 до 1,0 включ.	IV				а	Малый	Темный	750	200	300	40	20	4	1,5	2,4	0,9				
						б	Малый Средний	Средний Темный	500	200	200	40	20								

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200	200	40	20				
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	–	–	200	40	20				
Малой точности	Св. 1,0 до 5,0 включ.	V	а	Малый	Темный	400	200	300	40	20	3	1	1,8	0,6
			б	Малый Средний	Средний Темный	–	–	200	40	20				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	–	–	200	40	20				
Грубая (очень малой точности)	Более 5,0	VI	–	Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 0,5	VII	–	То же		–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Общее наблюдение за ходом производственного процесса: постоянное	–	VIII	а		То же	–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6
периодическое, при постоянном пребывании людей в помещении	–	VIII	б		То же	–	–	75	–	–	1	0,3	0,7	0,2
периодическое, при периодическом пребывании людей в помещении	–	VIII	в		То же	–	–	50	–	–	0,7	0,2	0,5	0,2
Общее наблюдение за инженерными коммуникациями	–	VIII	г		То же	–	–	20	–	–	0,3	0,1	0,2	0,1

Приложение 2

Предельно допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот и уровни звука постоянного шума, а также эквивалентные по энергии уровни звука непостоянного шума для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест с учетом условий тяжести и напряженности труда

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные по энергии уровни звука непостоянного шума, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
1. Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, обучение и воспитание, медицинская деятельность. Рабочие места проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, для приема пациентов в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2. Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории; рабочие места	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60

<i>1</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, в лабораториях										
3. Работа, выполняемая с часто получаемыми указаниями и акустическими сигналами; работа, требующая постоянного слухового контроля: операторская работа по точному графику с инструкцией; диспетчерская работа. Рабочие места в помещениях диспетчерской службы, кабинетах и помещениях наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону; в машинописных бюро, на участках точной сборки, на телефонных и телеграфных станциях, в помещениях мастеров, в залах обработки информации на вычислительных машинах	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
4. Работа, требующая сосредоточенности; работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами. Рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления, без речевой связи по телефону,	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин										
5. Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий (за исключением работ, перечисленных в п. 1–4)	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Подвижной состав железнодорожного и городского рельсового транспорта										
6. Рабочие места в кабинах машинистов тепловозов, электровозов, поездов метрополитена, дизель-поездов и автомотрис	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
7. Рабочие места в кабинах машинистов поездов дальнего следования и пригородных электропоездов, в кабинах водителей и обслуживающего персонала пассажирских помещений трамваев	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
8. Помещения для персонала вагонов поездов дальнего следования, служебные помещения рефрижераторных секций, вагонов-электростанций, помещения для отдыха багажных и почтовых отделений	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
9. Служебные помещения багажных и почтовых вагонов, вагонов-ресторанов, межобластных вагонов	100	87	79	72	68	65	63	61	59	70
Морские, речные, рыбопромысловые и другие суда										
10. Рабочая зона в помещениях машинного (энергетического) отделения судов с постоянной вахтой	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
11. Рабочие зоны в центральных постах управления судов	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
12. Рабочие зоны в служебных помещениях судов	89	75	66	59	54	50	47	45	44	55
13. Производственно-технологические помещения на судах рыбной промышленности	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
14. Служебные помещения: судов I группы	89	75	66	59	54	50	47	45	44	55
судов II и III группы	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
15. Общественные помещения: столовые и буфеты	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
пассажирские салоны судов III группы	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
остальные общественные помещения	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
16. Жилые помещения: судов I группы	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45
судов II группы	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
судов III группы	89	75	66	59	54	50	47	45	44	55
17. Помещения медицинского назначения	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Автобусы, троллейбусы, грузовые, легковые и специальные автомобили, а также грузопассажирские автомобили и другой автомобильный транспорт, предназначенный для перевозки пассажиров										
18. Рабочие места водителей и обслуживающего персонала грузовых автомобилей	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
19. Рабочие места водителей и обслуживающего персонала троллейбусов, а также грузопассажирских автомобилей и другого автомобильного транспорта, предназначенного для перевозки пассажиров	100	87	79	72	68	65	63	61	59	70
Сельскохозяйственные машины и оборудование, строительно-дорожные, мелиоративные и другие аналогичные виды машин										
20. Рабочие места водителей и обслуживающего персонала тракторов, самоходных шасси, прицепных и навесных сельскохозяйственных машин, строительно-дорожных и других аналогичных машин	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Пассажирские и транспортные самолеты и вертолеты										
21. Рабочие места в кабинах и салонах самолетов и вертолетов	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Приложение 3

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика хранящихся (обращающихся) веществ и материалов в помещении
А (взрыво- опасная)	Горючие газы (ГГ), легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа. Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа
Б (взрыво- опасная)	Горючие пыли или волокна, ЛВЖ с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости (ГЖ) в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пыле- или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В1–В4 (пожаро- опасные)	ГГ, ЛВЖ, ГЖ и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в т. ч. пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом взрываться и гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категории А или Б
Г1	ГГ, ЛВЖ, ГЖ, твердые горючие вещества и материалы, которые сжигаются или утилизируются в процессе контролируемого горения в качестве топлива
Г2	Негорючие вещества и материалы в горячем, расплавленном или нагретом состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии, горючие и трудногорючие вещества и материалы в таком количестве, что удельная пожарная нагрузка на участке их размещения в помещении не превышает 100 МДж/м ² , а пожарная нагрузка в пределах помещения – 1000 МДж

**Классы зон
в соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ)**

Класс зоны	Характеристика
Пожароопасные зоны	
П-I	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С
П-II	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие пыль или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м ³ к объему воздуха
П-IIа	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества
П-III	Расположенные вне помещений зоны, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С или твердые горючие вещества
Взрывоопасные зоны	
В-I	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы (ГГ) или пары легковоспламеняющейся жидкости (ЛВЖ) в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы, например при разгрузке или загрузке технологических аппаратов, хранения или переливании ЛВЖ, находящихся в открытых емкостях, и т. д.
В-Iа	Зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси ГГ (независимо от нижнего концентрационного предела воспламенения) или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей
В-Iб	Зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси ГГ или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей и которые отличаются одной из следующих особенностей: 1. Горючие газы в этих зонах обладают высоким нижним концентрационным пределом воспламенения (15 % и более) и резким запахом при предельно допустимых концентрациях по ГОСТ 12.1.005–88 (например, машинные залы аммиачных компрессорных и холодильных абсорбционных установок). 2. Помещения производств, связанных с обращением газообразного водорода, в которых по условиям технологического процесса исключается образование взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5 % свободного объема помещения, имеют взрывоопасную зону только в верхней части помещения. Взрывоопасная зона

Класс зоны	Характеристика
	<p>условно принимается от отметки 0,75 общей высоты помещения, считая от уровня пола, но не выше кранового пути, если таковой имеется (например, помещения электролиза воды, зарядные станции тяговых и статорных аккумуляторных батарей).</p> <p>П. 2 не распространяется на электромашинные помещения с турбогенераторами с водородным охлаждением при условии обеспечения электромашинного помещения вытяжной вентиляцией с естественным побуждением; эти электромашинные помещения имеют нормальную среду.</p> <p>К классу В-Іб относятся также зоны лабораторных и других помещений, в которых горючие газы и ЛВЖ имеются в небольших количествах, недостаточных для создания взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5 % свободного объема помещения, и в которых работа с горючими газами и ЛВЖ производится без применения открытого пламени. Эти зоны не относятся к взрывоопасным, если работа с горючими газами и ЛВЖ производится в вытяжных шкафах или под вытяжными зонтами</p>
В-Іг	<p>Пространства у наружных установок: технологических установок, содержащих горючие газы или ЛВЖ (за исключением наружных аммиачных компрессорных установок), надземных и подземных резервуаров с ЛВЖ или горючими газами (газгольдеры), эстакад для слива и налива ЛВЖ, открытых нефтелушек, прудов-отстойников с плавающей нефтяной пленкой и т. п.</p> <p>Пространства у проемов за наружными ограждающими конструкциями помещений со взрывоопасными зонами классов В-І, В-Іа и В-ІІ (исключение – проемы окон с заполнением стеклоблоками); пространства у наружных ограждающих конструкций, если на них расположены устройства для выброса воздуха из систем вытяжной вентиляции помещений со взрывоопасными зонами любого класса или если они находятся в пределах наружной взрывоопасной зоны; пространства у предохранительных и дыхательных клапанов емкостей и технологических аппаратов с горючими газами и ЛВЖ</p>
В-ІІ	<p>Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы (например, при загрузке и разгрузке технологических аппаратов)</p>
В-ІІа	<p>Зоны, расположенные в помещениях, в которых опасные состояния (как в В-ІІ), не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей</p>

Учебное издание

**ОХРАНА ТРУДА.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Учебное пособие

Составители:

Андруш Виталий Григорьевич,
Ткачева Людмила Тимофеевна,
Бренч Марина Валерьевна и др.

Ответственный за выпуск *В. Г. Андруш*

Редактор *Д. А. Значёнок*

Корректор *Д. А. Значёнок*

Компьютерная верстка *Д. А. Значёнок*

Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 21.02.2020. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 8,0. Тираж 99 экз. Заказ 1.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования

«Белорусский государственный аграрный технический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 1/359 от 09.06.2014.

№ 2/151 от 11.06.2014.

Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.