



НОВГОРОДСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ЯРОСЛАВА МУДРОГО

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Великий Новгород
2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ЯРОСЛАВА МУДРОГО»

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Учебно-методическое пособие

Великий Новгород
2022

УДК 614.8(075.8)
ББК 68.9я73
К63

Печатается по решению
РИС НовГУ

Рецензенты:

кандидат географических наук, доцент **С. Г. Давыдова**
(Российская академия народного хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации, Новгородский филиал,
г. Великий Новгород)

доктор биологических наук, профессор **Я. М. Абдушаева**
(Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого,
г. Великий Новгород)

Комплексная безопасность: учеб.-метод. пособие для
К63 лабораторных и практических занятий студентов всех направлений по
дисциплине «Безопасность жизнедеятельности». 2-е изд., испр. и доп. /
авт.-сост.: С. Н. Гладких, О. Н. Виноградова / под общ. ред. С. Н.
Гладких. Новгородский гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. – Великий
Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2022. – 160 с.
ISBN 978-5-89896-811-3

Учебно-методическое пособие к лабораторным работам и практическим занятиям предназначено для студентов всех направлений НовГУ по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности», формирует практические навыки работы с контрольно-измерительными приборами оценки условий производственной среды и среды обитания, способствует закреплению теоретического материала для разработки мероприятий по оздоровлению условий труда и предупреждению ЧС.

УДК 614.8(075.8)
ББК 68.9я73

ISBN 978-5-89896-811-3

© Новгородский государственный
университет им. Ярослава Мудрого,
2022

© С. Н. Гладких, О. Н. Виноградова,
составление, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1. Исследование загазованности воздушной среды производственных помещений. Оценка загазованности среды обитания.	
Защита от загазованности	8
Основные теоретические сведения	8
Мероприятия по защите от загазованности	12
Описание устройства газоанализатора УГ-2	15
Порядок выполнения работы	17
Литература	21
Приложения	22
Приложение 1. Основные термины и понятия	22
Приложение 2. Класс опасности вредных веществ в зависимости от их концентрации	22
Приложение 3. Предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ в воздухе рабочей зоны по ГН 2.2.5.1313-03	23
Приложение 4. Вредные газы и пары в воздушной среде, определяемые газоанализатором УГ-2	23
Приложение 5. Оказание первой помощи при поражении хлором	24
Приложение 6. Оказание первой помощи при поражении аммиаком	25
2. Исследование запыленности воздушной среды производственных помещений. Оценка запыленности среды обитания.	
Защита от запыленности	26
2.1. Определение концентрации пыли	26
Основные теоретические сведения	26
Описание установки для исследования запыленности воздуха	33
Порядок выполнения работы	35
2.2. Определение концентрации пыли в вентиляционных выбросах и оценка эффективности работы очистной установки	39
Экспериментальная часть. Описание лабораторной установки и приборов	42
Порядок выполнения работы	46
Литература	50

3. Обеспечение электробезопасности	52
3.1. Исследование защитного заземления электроустановок	52
Основные теоретические сведения	52
Описание лабораторной установки	56
Порядок выполнения работы.....	57
Литература.....	62
Приложение. Отчет по лабораторной работе «Исследование защитного заземления электроустановок»	63
3.2. Исследование эффективности защитного заземления и зануления	66
Основные теоретические положения	66
Экспериментальная часть. Характеристика лабораторного стенда ОТ 10.....	71
Порядок выполнения работы.....	72
Литература.....	79
3.3. Исследование процесса образования и накопления зарядов статического электричества.....	80
Общие теоретические положения	80
Экспериментальная часть. Описание лабораторной установки и измерительной техники	83
Порядок выполнения работы.....	85
Литература.....	87
4. Оценка микроклиматических условий среды обитания. Нормализация микроклиматических параметров	88
Основные теоретические сведения	89
Нормирование микроклимата.....	92
Нормализация параметров микроклимата	93
Условия, методы и приборы для определения параметров микроклимата. Описание лабораторной установки	97
Порядок выполнения работы.....	104
Литература.....	118
Приложение	119
5. Исследование освещенности рабочих мест. Оценка освещенности рабочего места. Нормализация освещенности.....	125
Основные теоретические сведения	125
Системы и виды освещения.....	126
Расчет искусственного освещения методом коэффициента	

использования светового потока	131
Описание системы освещения и измерительных устройств.....	135
Порядок выполнения работы.....	135
Литература	137
Приложение	139
6. Анализ производственного шума. Оценка шума на рабочем месте.	
Борьба с шумом. Защита от акустических колебаний	142
Основные теоретические сведения	142
Порядок проведения исследований и обработка полученных данных	150
6.1. Стенд для измерения уровней шума. Схема подключения источника шума.....	150
6.2. Проведение замеров уровня шума	151
6.3. Аналитический расчет снижения уровня шума.....	151
6.4. Определение снижения уровня шума на удаление 1 м от кожуха	152
6.5. Оформление результатов исследования	152
Литература	153
Приложения	154
Приложение 1. Допустимые уровни звукового давления и уровни звука на постоянных рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий, и на территории жилой застройки (Санитарные нормы СН 2.2.412.1.8.562-96)	154
Приложение 2	159

ВВЕДЕНИЕ

Комплексная безопасность – безопасность в условиях совокупного действия различных видов опасности. Социальный заказ в профессиональном образовании уникален тем, что в области комплексной безопасности по предупреждению чрезвычайных ситуаций (ЧС), он должен иметь опережающий характер. Обучение безопасности должно носить интегративный (от лат. *integer* – целый) характер, вплоть до создания единой методологии, методов и технологий исследований в области безопасности. Для достижения педагогического эффекта квалификационного принципа обучения в области комплексной безопасности необходимо совершенствование всех видов занятий на основе научных данных, дидактическое обоснование интегративных межмодульных процессов. Поиск методологических перспективных решений приоритетов формирования компетентности в области комплексной безопасности в производственных и непроизводственных условиях является одной из актуальных задач системы профессионального образования (СПО), что нашло отражение в новых Федеральных государственных образовательных стандартах (ФГОС).

Компетентность – умение активно использовать полученные личные и профессиональные знания и навыки в практической или научной деятельности, в рамках своей профессии и квалификации.

Квалификация – уровень знаний, умений, навыков и компетенций, характеризующий подготовленность к выполнению определенного вида профессиональной деятельности (ФЗ).

Цель обеспечения комплексной безопасности наиболее актуальна при принятии управленческих решений в производственных и непроизводственных условиях в момент проявления поражающих факторов ЧС.

В замкнутом пространстве любого помещения на организм человека воздействует совокупность различных факторов, особенно это проявляется при большом количестве людей. Наиболее актуальна защита от проявления поражающих факторов ЧС замкнутых пространств с большим скоплением людей.

В производственных и непроизводственных условиях на организм человека воздействуют факторы среды обитания, к которым относятся факторы микроклимата, загазованности, запыленности, освещенности, шума, электромагнитных полей, радиации и др.

В настоящее время малоизученными являются сочетание действий различных факторов.

Целью учебно-методического пособия является освоение студентами методик проведения замеров факторов среды обитания, идентификация факторов, формирование выводов и заключений, разработка предложений по защите от воздействий вредных факторов.

Таблица. Содержание лабораторных занятий с общим объемом часов по рабочему учебному плану – 14 ч.

№ раздела УЭМ	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, акад. часы	
		лабораторные работы	внеауд. СРС
2	Раздел 2.3. Исследование загазованности воздушной среды производственных помещений. Оценка загазованности среды обитания. Защита от загазованности	2	2
	Раздел 2.4. Исследование запыленности воздушной среды производственных помещений. Оценка запыленности среды обитания. Защита от запыленности	2	2
	Раздел 2.5. Обеспечение электробезопасности (Исследование эффективности способов защиты от электрического тока. Исследование защитного заземления электроустановок. Исследование эффективности защитного заземления и зануления)	4	4
3	Раздел 3.6. Оценка микроклиматических условий среды обитания. Нормализация микроклиматических параметров	2	2
	Раздел 3.7. Исследование освещенности рабочих мест. Оценка освещенности рабочего места Нормализация освещенности	2	2
	Раздел 3.8. Анализ производственного шума. Оценка шума на рабочем месте. Борьба с шумом	2	2
	Итого:	14	14

1. Исследование загазованности воздушной среды производственных помещений. Оценка загазованности среды обитания. Защита от загазованности

Цель работы: изучить устройство универсального газоанализатора УГ-2, ознакомиться с порядком нормирования концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны, освоить методику определения загазованности воздушной среды производственных помещений.

Оборудование и материалы: газоанализатор УГ-2, индикаторные трубки.

Основные теоретические сведения

Создание здоровых и безопасных условий труда является приоритетной задачей безопасности жизнедеятельности. Проведение оздоровительных мероприятий, снижающих до безопасного уровня вредное воздействие химических веществ на организм работающего, лежит в основе превентивных (профилактических) мероприятий профессиональных заболеваний.

Воздух представляет собой физическую смесь различных газов, образующих атмосферу Земли. Чистый, наиболее благоприятный для дыхания воздух содержит: азота – 78,08%, кислорода – 20,95%, аргона – 0,93%, диоксида углерода – 0,03%, прочих газов – 0,01%. Наряду с химическим составом, важное значение имеет ионный состав воздуха.

При эксплуатации оборудования и в ряде технологических процессов происходит выделение различных вредных веществ, загрязняющих воздух. В закрытых производственных помещениях загрязнителями воздуха могут быть окись углерода и углекислый газ, окислы азота, аммиак, кислоты, щелочи, растворители, лаки, углеводороды и другие аэрозоли.

В производственных помещениях воздух не бывает абсолютно чистым, в нем может содержаться различное количество вредных примесей в виде частичек твердых, жидких и газообразных веществ. Загрязнение воздушной среды в производственных помещениях происходит в результате обработки различных веществ, проведения технологических процессов и др. Так, пары выделяются в результате применения различных жидких веществ, например, растворителей, ряда кислот, бензина, ртути и т. д.; газы – чаще всего при проведении того или иного технологического процесса, например, при сварке, литье, термической обработке металлов.

Многие из паров и газов являются токсичными. Эти вещества, растворяясь в биологических средах, способны вступать с ними во

взаимодействие, вызывая нарушение нормальной жизнедеятельности – отравление, опасность которого зависит от продолжительности воздействия, концентрации, вида вещества, физического состояния человека в момент воздействия вредного вещества на организм, путей проникновения в организм, температуры производственной среды, индивидуальной чувствительности человека к воздействию яда.

Выполнение лабораторной работы «Исследование загазованности воздушной среды производственных помещений» позволит студентам практически научиться экспресс-методу определения различных газов в воздухе закрытых помещений.

Отравления, вызванные действием токсических веществ, могут быть *острые* и *хронические*. Острые отравления возникают при внезапном поступлении в организм больших доз токсического вещества. Хронические отравления развиваются постепенно, вследствие длительного воздействия токсических веществ малых концентраций и характеризуются стойкостью вызванных в организме изменений.

Пути проникновения в организм. Вредные вещества проникают в организм человека главным образом через дыхательные пути, кожу, слизистые и пищеварительный тракт.

Поступление вредных веществ *через дыхательные пути* – наиболее распространенный и опасный путь: огромная всасывающая поверхность легочных альвеол и незначительная толщина альвеолярных мембран создают исключительно благоприятные условия для проникновения газообразных и парообразных веществ в кровь. Кроме того, вредные вещества из легких попадают непосредственно в большой круг кровообращения, минуя обезвреживание в печени.

В некоторых производственных условиях имеет место одновременное воздействие на человека нескольких вредных веществ. Возможны три основных типа их одновременного действия: усиление одним веществом токсического действия другого (синергизм), ослабление одним веществом действия другого (антагонизм) и суммирование, когда собственное действие нескольких веществ просто складывается (аддитивное действие). В производственных условиях могут наблюдаться все три типа одновременного действия вредных веществ, однако чаще имеет место суммарный эффект.

Токсическое действие вредных веществ – это результат взаимодействия организма, вредного вещества и окружающей среды. Эффект **воздействия** различных веществ **зависит**:

- от количества попавшего в организм вещества;
- физико-химических свойств вещества;
- длительности поступления;

– химических реакций в организме;
– от пола, возраста, индивидуальной чувствительности;
– пути поступления и выведения;
– распределения в организме;
– метеорологических условий и других сопутствующих факторов окружающей среды.

По характеру воздействия на организм человека вредные вещества условно подразделяются на общетоксичные, раздражающие, сенсibiliзирующие, канцерогенные, мутагенные и вещества, влияющие на репродуктивную функцию:

1) *общетоксичные* (окись углерода, цианистые соединения, свинец, ртуть, бензол, мышьяк и его соединения и др.) – вызывают отравление всего организма;

2) *раздражающие* (хлор, аммиак, сернистый газ, окислы азота, озон и др.) – вызывают раздражение дыхательного тракта и слизистых оболочек;

3) *сенсibiliзирующие* (формальдегид, растворители и лаки на основе нитросоединений и др.) – действуют как аллергены;

4) *канцерогенные* (никель и его соединения, амины, окислы хрома, асбест и др.) – вызывают раковые заболевания;

5) *мутагенные* (свинец, марганец, радиоактивные вещества и др.) – приводят к изменению наследственной информации;

6) *вещества, влияющие на репродуктивную функцию (воспроизводство потомства)* (бензол и его производные, сероуглерод, хлоропрен, свинец, сурьма, марганец, ядохимикаты, никотин, соединения ртути и др.).

Многие вещества, которые считаются нетоксичными, в определенных условиях способны оказывать токсическое действие на человека. Так, инертные газы при нормальном атмосферном давлении снижают содержание кислорода в воздухе, а в условиях повышенного давления становятся сильными наркотиками. При этом надо учитывать, что, например, при высокой температуре воздуха расширяются сосуды кожи, усиливается потоотделение, учащается дыхание, что ускоряет проникновение вредных веществ в организм человека.

По степени воздействия на организм человека вредные вещества подразделяются на 4 класса (ГОСТ 12.1.007-76):

1 класс – *чрезвычайно опасные* вещества – свинец, ртуть;

2 класс – *высокоопасные* вещества – марганец, хлор;

3 класс – *умеренно опасные* – азота диоксид, ксилол;

4 класс – *малоопасные* – аммиак, бензин, ацетон.

Универсальным нормативом содержания загрязняющих веществ является ПДК – предельно допустимая концентрация.

По гигиеническим нормативам ГН 2.2.5.1313-03 с изменениями на 2022 год установлены предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны (ПДК_{рз}, мг/м³).

ПДК вредного вещества 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 последующих поколений.

Воздействие вредного вещества на уровне ПДК не исключает нарушения состояния здоровья у лиц с повышенной чувствительностью.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ одностороннего действия сумма отношений фактических концентраций каждого из них (K, K_1, \dots, K_n) в воздухе к их ПДК (ПДК, ПДК₁, ..., ПДК_n) не должна превышать единицы.

Для проведения анализов по определению загазованности воздушной среды существует ряд методов:

1. *Лабораторные.* Отобранная проба воздуха анализируется в лаборатории химическими или физико-химическими методами (фотоколориметрическими, хроматографическими, масс-спектрометрическими и др.). Используя данные методы, можно с достаточной точностью определить количество примесей в воздухе, но это требует значительных затрат времени.

2. *Автоматические.* Качество воздушной среды анализируется с помощью автоматических газоанализаторов. Они могут быть заблокированы со звуковой или световой сигнализацией.

3. *Экспресс-методы* для быстрого определения вредных веществ в воздухе производственных помещений. Для этого используются газоанализаторы: УГ-1 и УГ-2, кондуктометрические, диффузионные, спектрофотометрические и др.

В газоанализаторах УГ-1, УГ-2 (линейно-колориметрических) концентрация вредных веществ определяется по длине окрашенного столбика порошка-индикатора в трубке после аспирации (просасывания) воздуха. В качестве основы для индикатора применяют: силикагель, электрокорунд и другие наполнители.

Газоанализаторы кондуктометрические определяют степень изменения электропроводимости раствора-сорбента при поглощении им вредных веществ после аспирации загрязненного воздуха.

Газоанализаторы диффузионные определяют разницу в скорости диффузии различных газов через пористые перегородки.

Действие спектрографических газоанализаторов основано на получении спектральных линий, присущих данному веществу.

Спектрофотометрические газоанализаторы определяют длину волны в ультрафиолетовой области спектра вещества, растворенного в данной среде.

Контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений должен осуществляться непрерывно для веществ 1-го и 2-го классов опасности и периодически – для веществ 3-го и 4-го классов.

Мероприятия по защите от загазованности

При работе с вредными веществами необходимо выполнять определенные требования безопасности, предусматривать следующие мероприятия:

- *архитектурно-планировочные;*
- *инженерно-технологические;*
- *организационно-технические;*
- *лечебно-профилактические.*

Архитектурно-планировочные мероприятия:

- выбор места под застройку предприятия с учетом розы ветров (господствующего направления ветра), санитарно-защитных зон (СЗЗ);
- наличие зеленой изгороди (60% от СЗЗ).

Основные ***инженерно-технологические мероприятия*** по защите от вредных веществ в производстве:

- применение прогрессивных технологических процессов (организация мало- и безотходных производств, замкнутости технологических процессов; перевод местных котельных с твердого топлива и мазута на природный газ и т. п.);
- замена токсичных веществ менее токсичными;
- замена сухих веществ на мокрые;
- совершенствование оборудования и технологической оснастки, при работе которых исключались бы или резко уменьшались вредные выделения в окружающую среду;
- герметизация оборудования и коммуникаций (кислото-, газо- и щелоче-проводов), запорных приспособлений (вентилей, задвижек);
- рациональное размещение оборудования, при котором предотвращается проникновение вредных паров, газов и пыли с одного участка (окраски, сварки, испытания, горячей обработки, гальваники и т. п.) на другие;
- механизация и автоматизация (например, процессов восстановления деталей сваркой, наплавкой, электрохимическими покрытиями, эпоксидными смолами).
- применение для транспортировки пылящих материалов пневматического транспорта.

Снижение влияния вредных веществ на работающих достигается также путем применения:

- систем улавливания, утилизации, нейтрализации вредных веществ;
- постоянного контроля за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Организационно-технические мероприятия:

- обеспечение средствами коллективной и индивидуальной защиты;
- соблюдение режима труда и отдыха.
- использование *средств коллективной защиты (СКЗ)*:

- 1) механизация и автоматизация производственных процессов, дистанционное управление ими, что позволяет вывести работающего из опасной зоны, устранить тяжелый ручной труд;
- 2) устройство правильно организованной рациональной вентиляции и кондиционирования воздуха с целью его очистки, удаления или разбавления до допустимых концентраций вредных выделений;
- 3) ограждения;
- 4) плакаты с надписями;
- 5) знаки безопасности;
- 6) сигнализация и др.

При недостаточной эффективности перечисленных методов и средств коллективной защиты применяют *средства индивидуальной защиты (СИЗ)*:

- средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД);
- спецодежда;
- спецобувь;
- средства защиты рук, головы, лица, глаз;
- защитные дерматологические средства;
- изолирующие костюмы.

СИЗОД предназначены для защиты от воздействия вредных газов, паров, дыма, тумана и пылей, а также для обеспечения кислородом при его недостатке в окружающей атмосфере.

По принципу действия СИЗОД делятся на:

- фильтрующие;
- изолирующие.

Фильтрующие СИЗОД нельзя применять для защиты от неизвестных веществ, а также при уменьшении содержания кислорода менее 18%. В этих случаях надо применять изолирующие СИЗОД. Наибольшее распространение в промышленности получили противоаэрозольные фильтрующие *респираторы*:

патронные, лицевая часть и фильтрующий элемент которых выполнены в виде отдельных самостоятельных узлов, и фильтры-маски, где лицевая маска и есть фильтрующий элемент.

Спецодежда и спецобувь предназначены для защиты от вредных веществ, проникающих в организм через кожу, механических травм, химических и тепловых ожогов, низких и высоких температур, пыли, влаги, загрязняющих веществ. Защитные и эксплуатационные свойства спецодежды и спецобуви зависят от покроя (конструкции) и свойств применяемых материалов.

Для *защиты рук* от воздействия вредных жидкостей применяют не только рукавицы и перчатки, но и *изолирующие костюмы* – скафандры, имеющие автономную систему жизнеобеспечения.

Радикальное решение проблемы устранения воздействия на человека вредных веществ предусматривает выполнение комплекса требований к:

- технологическим процессам;
- применяемому оборудованию;
- строительным ограждающим конструкциям и отделочным материалам;
- надежности вентиляции и т. д.

Оправдывает себя метод размещения производственного оборудования в специальных кабинках с выносом приборов управления и контроля наружу.

Для защиты от вредных газо-, паро- и пылевывделений обязательны *устройства местной вытяжной вентиляции* непосредственно от мест их образования. Местные отсосы должны быть конструктивно встроены в оборудование и заблокированы с ним таким образом, чтобы агрегат не мог работать при выключенном отсосе.

Особые *требования* предъявляют и к *устройству помещений*, где ведутся работы с токсичными и легковоспламеняющимися веществами: стены, полы, поверхностные конструкции этих помещений должны быть гладкими, поглощать вредные вещества и позволять проводить легкую уборку и мытье. Производства, где наблюдается избыток явной теплоты и значительные выделения вредных веществ, следует размещать в одноэтажных зданиях. При необходимости размещения таких производств в многоэтажных зданиях обязательно должны быть предусмотрены эффективные мероприятия для предупреждения проникновения вредных веществ с одного этажа на другой. В случаях же объединения в одном здании (помещении) производств или участков с различными санитарно-гигиеническими условиями в проектах должны предусматриваться мероприятия по предупреждению распространения вредных факторов на лиц, не работающих с вредными веществами (изоляция помещений, воздушные души, сдувки и др.).

Работающим во вредных условиях выделяется спецпитание и предоставляется дополнительный отпуск.

Лечебно-профилактические мероприятия:

– предварительные медицинские осмотры, которые ставят своей целью выявить противопоказания при работе с загазованностью. Такими противопоказаниями являются, например, заболевания сердца, органов дыхания, аллергические заболевания, заболевания почек, печени;

– периодические медицинские осмотры, которые ставят своей целью выявить отклонения в состоянии здоровья и предупредить развитие профессиональной патологии.

Описание устройства газоанализатора УГ-2

Универсальный газоанализатор УГ-2 (рисунок 1.1) предназначен для качественного и количественного экспресс-определения содержания вредных газов (паров) – хлора, аммиака, сероводорода, сернистого ангидрида, окиси углерода, окислов азота, бензола, толуола, ксилола, ацетона, ацетилен, этилового эфира, бензина, углеводородов нефти и др. – в воздухе рабочей зоны производственных помещений.

Сущность метода определения вредных веществ с помощью УГ-2 заключается в анализе изменения окраски индикаторного порошка в результате реакции с вредным веществом (газом или паром) в анализируемом воздухе, просасываемом через трубку. Измерение концентрации вредного вещества производится по длине изменившего первоначальную окраску слоя индикаторного порошка в трубке (линейно-колористическая индикаторная трубка). Длина окрашенного столбика индикаторного порошка в трубке пропорциональна концентрации анализируемого газа в воздухе. По изменению цвета порошка-индикатора определяется наличие загазованности (см. Приложение 4).

Если в воздухе содержатся газы (пары), затрудняющие определение вредного вещества, то дополнительно к индикаторной трубке используется *фильтрующая трубка (патрон)* – стеклянная трубка, заполненная одним или несколькими поглотителями, служащими для улавливания газов (паров), мешающих измерению вредного вещества.

Газоанализатор состоит из воздухозаборного устройства для просасывания воздуха, набора индикаторных веществ в ампулах, индикаторных трубок, предварительно заполненных индикаторными

порошками, фильтрующего патрона, набора измерительных шкал, градуированных в мг/л или мг/м³, пыжей.

В комплекты **индикаторных веществ** УГ-2 (рисунок 1.1) входят: ампулы (4) с индикаторными и поглотительными порошками, необходимыми для изготовления индикаторных трубок и фильтрующих патронов; принадлежности (5) – трубка стеклянная индикаторная, стержень, воронка, заглушка, трубка резиновая, штырек, измерительные шкалы (2).

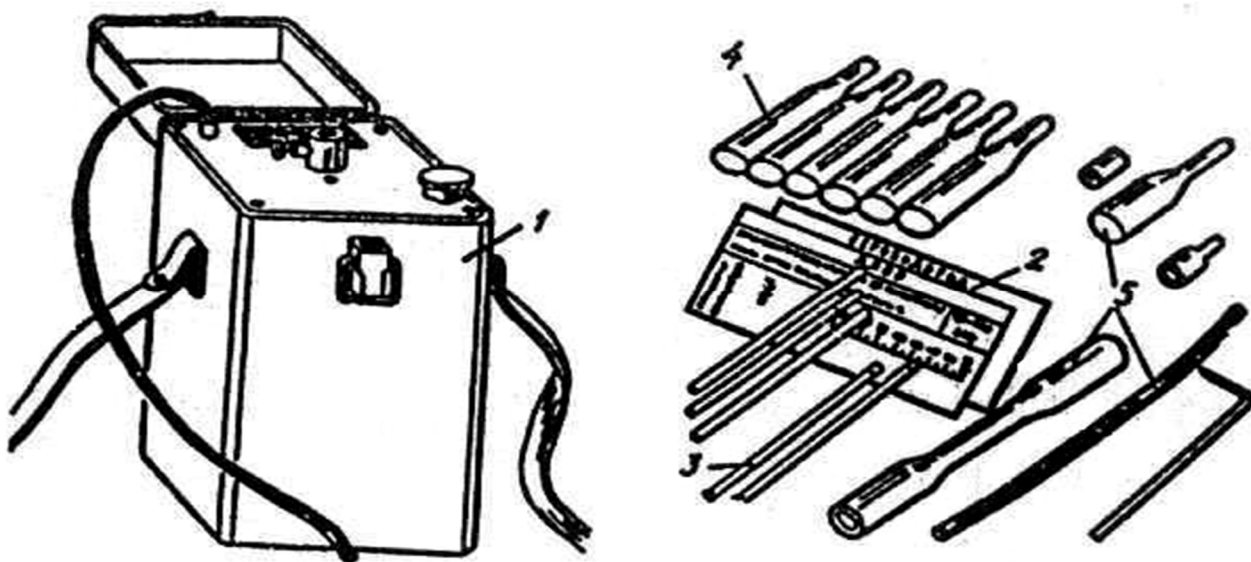


Рисунок 1.1. Универсальный газоанализатор УГ-2:

1 – воздухозаборное устройство; 2 – измерительная шкала;
3 – индикаторные трубки; 4 – ампулы; 5 – набор принадлежностей

Воздухозаборное устройство (рисунок 1.2) включает в себя резиновый сиффон (2) с двумя фланцами, стакан с пружиной (3), находящийся внутри корпуса (1). Во внутренних гофрах сиффона установлены распорные кольца (4) для придания жесткости сиффону и сохранения постоянства объема. На плате (9) имеется неподвижная втулка (7) для направления штока (6) при сжатии сиффона. На штуцер (11) с внутренней стороны надета резиновая трубка (10), которая через нижний фланец соединяется с внутренней полостью сиффона. Свободный конец резиновой трубки служит для присоединения индикаторной трубки при анализе. На цилиндрической поверхности штока расположены четыре продольные канавки с двумя углублениями (5) для фиксации двух положений штока фиксатором (8). Расстояние между углублениями на канавках подобрано таким образом, чтобы при ходе штока от одного углубления до другого сиффон забирал заданный объем исследуемого воздуха.

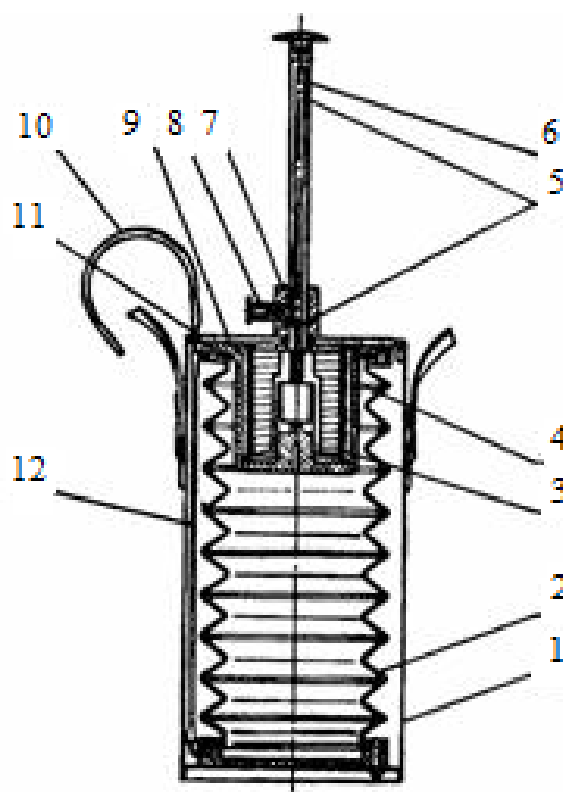


Рисунок 1.2. Воздухозаборное устройство УГ-2:

1 – корпус; 2 – сильфон; 3 – пружина; 4 – кольцо распорное;
5 – канавка с двумя углублениями; 6 – шток; 7 – втулка; 8 – фиксатор;
9 – плата; 10 – трубка резиновая; 11 – штуцер; 12 – трубка

Порядок выполнения работы

Измерение концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны проводят при следующих параметрах:

- барометрическое давление – от 90 до 104 кПа (680–780 мм рт. ст.);
- относительная влажность – 30–80%;
- температура – от 288 до 303 К (15–30 °С).

1. Подготовить индикаторную трубку соответственно анализируемому газообразному или парообразному веществу (бензол, толуол и др.):

а) вставить пыж из медной эмалированной проволоки в трубку и уложить на него тонким слоем (0,5 мм) ваты, надавливая на нее штырьком сверху;

б) насыпать в трубку индикаторный порошок из ампулы на длину 67–70 мм, слегка встряхивая трубку для уплотнения порошка или постукивая по стенке трубки стержнем;

в) поверх порошка снова уложить слой ваты и проволочный пыж для закрепления.

2. Выбрать шток в соответствии со шкалой объема прокачиваемого воздуха для данного газа (пара).

3. Выбранный шток вставить во втулку, повернув его гранью, на которой обозначен объем прокачиваемого воздуха, в сторону стопора.

Оттянув левой рукой стопор, правой нажимать на шток до тех пор, пока отпущенный стопор не зайдет в верхнее углубление в канавке штока. При нажатии на шток растягивается пружина и сжимается сильфон. Фиксируется такое положение стопором. Если стопор оттянуть, пружина, стремясь вернуться в стационарное состояние, растянёт сильфон.

4. Проверить герметичность сильфона:

а) резиновую трубку перегнуть и зажать зажимным устройством (сильфон при этом сжат);

б) отвести стопор штока: если шток сделает первоначально небольшой рывок и прекратит свое движение, значит, камера сильфона герметична, а если будет продолжать движение, то камера повреждена.

5. Продуть фильтрующий патрон (если он применяется при исследовании) испытываемым воздухом:

а) снять заглушку с узкого конца и герметически присоединить его к резиновой трубке прибора;

б) снять заглушку с широкого конца патрона и ввести его в испытываемую воздушную среду;

в) отвести стопор (вначале необходимо шток нажать и отпустить);

г) отсоединить фильтрующий патрон.

6. Очистить концы индикаторной трубки, присоединить ее к резиновой трубке прибора.

7. К другому концу трубки присоединить (узким концом) фильтрующий патрон.

8. Опустить фильтрующий патрон в сосуд с определяемым газом (по указанию руководителя занятий).

9. Взять пробу воздуха:

а) нажатием на шток сжать сильфон до фиксации стопора;

б) расстопорить шток (при этом просасывается воздух);

в) по окончании движения штока, когда он автоматически застопорится, сделать выдержку 1–2 мин, пока не будет заполнен остаточный вакуум в сильфоне;

г) отсоединить индикаторную трубку от прибора.

10. Для измерения концентрации вредного газа (пара) берется:

а) при малом объеме – «красная шкала» (большая концентрация);

б) при большом объеме (300–350 мл) – «черная шкала» (малая концентрация).

Отсчет концентрации ведется в соответствующей шкале.

Индикаторные трубки прикладываются к шкале так, чтобы низкая граница изменения окраски столбика совпадала с нулевым делением шкалы, на которой обозначен соответствующий объем просасываемого воздуха. Верхняя граница окрашенного столбика укажет на шкале концентрацию вещества в мг/м³. Результаты измерений записывают в нижеприведенный протокол (таблица 1.1).

Таблица 1.1. Протокол результатов лабораторной работы

№ п/п	Наименование исследуемого вещества	Объем просасываемого воздуха	Время анализа, мин	Результаты анализа, мг/м ³	ПДК в воздухе рабочей зоны по ГН 2.2.5.1313-03

При размытости границы раздела окрасок слоев исходного и прореагировавшего индикаторного порошка отсчет концентрации измеряемого вредного вещества по шкале проводят по нижней и верхней частям границы. За результат измерения принимают среднее значение.

Результат измерения концентрации вредного вещества приводят к нормальным условиям (C_H): температура – 293 К, атмосферное давление – 101,3 кПа (760 мм рт. ст.), относительная влажность – 60%.

Концентрацию C_H при нормальных условиях (мг/м³) вычисляют по формуле

$$C_H = \bar{C}_{t, \varphi, p} \frac{(273 + t) \cdot 101,3}{293 \cdot p} \cdot K_B,$$

где $\bar{C}_{t, \varphi, p}$ – результат измерения концентрации вредного вещества (мг/м³) при температуре окружающего воздуха, равной t (°C), относительной влажности φ (%) и атмосферном давлении p (кПа);
 t – температура в помещении на момент измерения, °C;
 p – атмосферное давление на момент измерения, кПа;

K_B – коэффициент, учитывающий влияние температуры и влажности окружающего воздуха на показания индикаторных трубок (для условий учебной лаборатории принимаем $K_B = 1$).

Требования безопасности

1. Измерение концентраций вредных веществ индикаторными трубками проводят студенты, прошедшие инструктаж и допущенные к лабораторной работе.

2. При вскрытии трубок необходимо соблюдать все меры предосторожности при работе со стеклом, применяя специальные приспособления и средства защиты.

Во избежание порезов рук или попадания осколков стекла в глаза при вскрытии ампул с индикаторным порошком необходимо:

- а) пользоваться защитными очками;
- б) при вскрытии ампулы надрезать ее только специальным приспособлением или напильником;
- в) при отламывании узкого конца после надреза ампулу закрыть полотенцем или ватой.

3. Во избежание попадания индикаторного вещества, содержащего в своем составе H_2SO_4 , на кожу или глаза при приготовлении индикаторных трубок необходимо:

- а) пользоваться защитными очками;
- б) все операции проводить над рабочим столом и с большой осторожностью.

4. Во избежание загазованности лаборатории сосуды с соответствующими загазованными средами открывать только для отбора пробы.

Контрольные вопросы

1. Классификация вредных веществ по характеру воздействия на организм человека.
2. От чего зависит токсическое действие вредных веществ?
3. Пути попадания вредных веществ в организм. Какой путь наиболее опасен и почему?
4. Виды отравлений.
5. Методы исследования загазованности.
6. Какие типы газоанализаторов существуют?
7. Каков принцип действия газоанализатора УГ-2?

8. Как и с какой целью проверяют герметичность сильфона?
9. Каковы назначение и работа воздухозаборного устройства?
10. Для чего применяется фильтрующий патрон?
11. Как определяют концентрацию газов (паров) с помощью газоанализатора УГ-2?
12. Что такое ПДК?
13. Средства защиты от загазованности (СКЗ и СИЗ).
14. Мероприятия по защите от загазованности.

Оформление и содержание отчета

1. Титульный лист.
 2. Цель работы.
 3. Схема газоанализатора УГ-2 и принадлежностей.
 4. Краткое описание работы газоанализатора УГ-2.
 5. Протокол результатов измерений (см. с. 19).
 6. Анализ полученных результатов и предельно допустимой концентрации ПДК_{рз} (см. Приложение 3).
 7. Выводы и предложения по защите от загазованности (см. Приложение 5).
- Дата и подпись студента, выполнившего работу.

Литература

1. ГОСТ 12.1.005-88. Межгосударственный стандарт. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Москва: Изд-во стандартов, 1988.
2. ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. Москва: Изд-во стандартов, 1999.
3. ГОСТ 12.1.014-84. ССБТ. Воздух рабочей зоны. Метод измерения концентраций вредных веществ индикаторными трубками. Москва: Изд-во стандартов, 2001.
4. ГН 2.2.5.1313-03. Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Москва: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Минздрава России, 2003.
5. Белов С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (Техносферная безопасность): учебник для вузов. Москва: Юрайт, 2016. 701 с.
6. Занько Н. Г., Малаян К. Р., Русак О. Н. Безопасность жизнедеятельности. Санкт-Петербург: Лань, 2008. 670 с.
7. Зотов Б. И., Курдюмов В. И. Безопасность жизнедеятельности на производстве: учебник для студентов вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: КолосС, 2006. 432 с.

Приложения

Приложение 1

Основные термины и понятия

Вредные вещества – вещества, которые при контакте с организмом человека могут вызвать профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами как в процессе воздействия вещества, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Рабочая зона – пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, в котором находятся места постоянного или временного (непостоянного) пребывания работающих.

Постоянное рабочее место – место, где работающий находится большую часть своего рабочего времени (более 50% или более 2 ч непрерывно). Если при этом работа осуществляется в различных пунктах рабочей зоны, постоянным рабочим местом считается вся рабочая зона.

Приложение 2

Класс опасности вредных веществ в зависимости от их концентрации

Наименование показателя	Концентрация веществ			
	1-й класс	2-й класс	3-й класс	4-й класс
Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	менее 0,1	0,1–1,0	1,1–10,0	более 10,0
Средняя смертельная доза при введении в желудок, мг/кг	менее 15	15–150	151–5000	более 5000
Средняя смертельная доза при нанесении на кожу, мг/кг	менее 100	100–500	501–2500	более 2500
Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/м ³	менее 500	500–5000	5001–50 000	более 50 000

**Предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ
в воздухе рабочей зоны по ГН 2.2.5.1313-03**

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³	Преимущественное агрегатное состояние в воздухе в условиях производства	Класс опасности	Особенности действия на организм
Бензин (растворитель, топливный)	100	П	4	–
Бензол+	5	П	2	К
Двуокись азота	2	П	3	О
Окись углерода	20	П	4	–
Ацетон	200	П	4	–
Этанол	1000	П	4	–
Аммиак	20	П	4	–
Сернистый ангидрид+	10	П	3	–
Диэтиловый эфир	300	П	4	–

Примечание. Использованы следующие обозначения:

«О» – вещества с остронаправленным механизмом действия, требующие автоматического контроля за их содержанием в воздухе;

«К» – канцерогены;

«П» – пары и/или газы;

«+» – соединения, при работе с которыми требуется специальная защита кожи и глаз (символ проставлен после наименования вещества).

**Вредные газы и пары в воздушной среде,
определяемые газоанализатором УГ-2**

Газ (пар)	Окраска индикаторного порошка		Продолжительность анализа, мин
	исходного	после воздействия	
Сероводород	белая	темно-розовая	2–5
Хлор	желтая	розовая	4–7
Аммиак	желтая	синяя	2–4
Окись азота	белая	красная	5–7
Двуокись азота	белая	красная	5–7
Сернистый газ	темно-серая	белая	3–5

Продолжение таблицы

Пары толуола	белая	темно-коричневая	7
Окись углерода	белая	коричневое кольцо	5–8
Ацетилен	белая	светло-коричневая	4–6
Пары бензола	белая	серо-зеленая	4–7
Пары ксилола	белая	красно-фиолетовая	7
Пары ацетона	синяя	желтая	7
Пары этилового эфира	желтая	зеленая	10
Пары бензина:			
а) топливный	белая	коричневая	7
б) растворитель	белая	коричневая	4
Пары углеводородов нефти	белая	коричневая	7

Приложение 5

Оказание первой помощи при поражении хлором

1. Одеть на пострадавшего промышленный противогаз марки В или ГП-5, ГП-7.
2. Если нет противогаза, надеть марлевую повязку, смоченную 2%-ным раствором соды.
3. Вынести пострадавшего на носилках на незараженную территорию и снять противогаз.
4. Освободить от стесняющей дыхание одежды.
5. При отсутствии дыхания сделать искусственное дыхание, преимущественно «рот в рот».
6. Для смягчения раздражения давать вдыхать аэрозоль 0,5%-го раствора пищевой соды, а также кислорода.
7. Промыть кожу и слизистые оболочки 2%-ным содовым раствором.
8. Давать обильное питье (теплая вода с содой, чай, кофе).
9. Предотвратить самостоятельное перемещение пострадавшего, обеспечить дальнейшее транспортирование только в лежачем положении.
10. Обеспечить полный покой пострадавшему, его согревание.

Оказание первой помощи при поражении аммиаком

1. Надеть на пострадавшего противогаз (марки К или М, при очень высоких концентрациях – изолирующий) или ватно-марлевую повязку, смоченную 5%-ным раствором лимонной кислоты или водой.
2. Вынести пострадавшего из зоны заражения, снять противогаз и зараженную одежду.
3. При ослаблении или остановке дыхания сделать искусственное дыхание, преимущественно «рот в рот».
4. При попадании аммиака в глаза промыть их проточной водой в течение 10–15 мин.
5. При попадании аммиака в желудок вызвать искусственную рвоту.
6. При обширных ожогах ввести обезболивающие средства, перевязать пострадавшего.
7. Госпитализировать.

2. Исследование запыленности воздушной среды производственных помещений. Оценка запыленности среды обитания. Защита от запыленности

2.1. Определение концентрации пыли

Цель работы: ознакомиться с общими характеристиками пыли, воздействием их на организм человека, пожароопасными свойствами пыли, оборудованием и приборами для изучения пыли, нормативными документами по нормированию пыли; научиться определять фактическую концентрацию пыли в воздухе, дисперсность частиц и их морфологию.

Приборы и оборудование: установка для исследования запыленности воздуха, аналитические весы, микроскоп, фильтры типа АФА или ФПП.

Основные теоретические сведения

Производственной пылью называют частицы твердых веществ, образующихся при различных производственных процессах (дроблении, размоле, транспортировке, просеивании, подаче в аппараты, расфасовке, затаривании и т. д.) и способные более или менее длительное время находиться во взвешенном состоянии в воздухе.

Продолжительность нахождения частиц во взвешенном состоянии зависит от их величины и прочности.

Классификация пыли

1. По размеру частиц:

- *крупнодисперсная* пыль с частицами размером 10 мкм;
- *средне дисперсная* – 10–0,1 мкм;
- *мелкодисперсная* – с частицами пыли менее 0,1 мкм – пыль такой крупности почти не оседает и по своим свойствам приближается к молекулам газа. Мелкодисперсные частицы пыли имеют огромную удельную поверхность, повышенные физическую и химическую активность и адсорбционную способность.

Физико-химические свойства пыли характеризуются ее происхождением и методом образования (размельчением, конденсацией, сгоранием).

2. По происхождению:

- *органическая;*
- *неорганическая;*
- *смешанная.*

К органической относят пыль растительного (древесная, льняная, мучная), животного (шерстяная, волосая, размолотых костей), химического (пластмасс, химических волокон и других органических продуктов) происхождения. К неорганической пыли относят пыль металлов (медная, чугунная, алюминиевая), различных минералов (известковая, цементная, асбестовая и др.). Пыль, состоящая из органических и неорганических частиц, называется смешанной.

3. По воспламеняемости и взрывоопасности пыль разделяют на:

- негорючую (песчаная, асбестовая и др.);
- горючую (древесная, хлопковая);
- взрывоопасную (угольная, алюминиевая, магниевая, мучная, сахарная и др.).

Мелкодисперсная пыль многих веществ способна образовать взрывоопасные смеси. В этом случае следует пользоваться термином «горючая пыль», которая определяется как дисперсная система, состоящая из твердых частиц размером менее 850 мкм, находящихся во взвешенном или осевшем состоянии в газовой среде, способная к самостоятельному горению в воздухе нормального состояния. Взрываемость пыли зависит от ее крупности, концентрации в воздушной среде, наличия кислорода в смеси, детонации взрыва и других факторов.

По степени взрываемости пыли делятся на три класса:

I – легковоспламеняющиеся пыли, в которых происходит быстрое распространение пламени. Источник тепла для них может быть относительно невелик (пламя зажженной спички);

II – легковоспламеняющиеся пыли, распространение пламени в которых требует высокотемпературного источника тепла или длительно действующего источника;

III – пыли, пламя которых в производственных условиях не распространяется. Они малоспособны образовывать в воздухе облако или содержат большое количество негорючих веществ. Горючие пыли становятся взрывоопасными, если нижний концентрационный предел их взрываемости не превышает 65 мг/м³.

Горючие пыли, находящиеся во взвешенном состоянии в газовой среде, характеризуются следующими показателями пожаровзрывоопасности:

- нижним концентрационным пределом распространения пламени (воспламенения) (НКПРП, НКПВ);
- минимальной энергией зажигания (W_{\min});
- максимальным давлением взрыва (P_{\max});

- скоростью нарастания давления при взрыве ($\Delta P/\Delta \tau$);
- минимальным взрывоопасным содержанием кислорода (МВСК).

Горючие пыли, находящиеся в осевшем состоянии в газовой среде, характеризуются следующими показателями пожаровзрывоопасности:

- температурой воспламенения;
- температурой самовоспламенения ($t_{св}$);
- температурой самовозгорания;
- температурой самонагревания;
- температурой тления;
- температурными условиями теплового самовозгорания;
- минимальной энергией зажигания (W_{min});
- способностью взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и другими веществами.

Показатели пожаровзрывоопасности некоторой горючей пыли, находящихся во взвешенном состоянии, и температура самовоспламенения горючей пыли в осевшем состоянии приведены в таблице 2.1.1.

Таблица 2.1.1. Показатели пожаровзрывоопасности пыли

Горючее вещество	НКПВ, г/м ³	W_{min} , мДж	$t_{св}$, °С	P_{max} , кПа	$\frac{\Delta P}{\Delta \tau}$, кПа/с	МВСК, % об.
Полимер метилметакрилата	30	20	–	590	14 000	8
Полимер акрилнитрила	25	20	–	630	77 330	13
Смола фенольная	25	10	460	550	12 000	–
Полистирол	25	15	488	720	29 000	10
Полипропилен	32,7	3,4	395	–	–	–
Полиэтилен	12	30	440	560	–	13
Витамин С	60	20	280	610	33 200	–
Витамин А	45	80	250	570	35 000	–
Алюминий	10	0,025	470	60	63 000	2
Древесная мука	13–25	20	255	770	17 000	17
Торфяная пыль	50	41	205	250	9200	11
Крахмал зерновой	40	30	625	770	–	10
Мука пшеничная в/с	28,8	50	380	650	13 000	11
Декстрин	40	–	400	680	19 300	10
Резиновая мука	74–79	2	377	550	20 000	14

В связи с вышеизложенным, необходимо регулярно определять концентрацию пыли в воздухе производственных помещений.

4. По химическому составу пыль может быть:

- *токсичной*;
- *нетоксичной* (раздражающей).

Токсичная пыль (свинцовая, хромовая, марганцевая и др.), попадая в органы пищеварения даже в относительно малом количестве, вызывает интоксикацию (отравление), может оказывать ядовитое воздействие на человека при вдыхании, проглатывании и оседании на открытых участках кожи. Растворяясь в слюне, задерживаясь на слизистых оболочках дыхательных путей и пищевого тракта, она действует как жидкий яд.

К раздражающей пыли относятся:

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

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

в) *древесная*, образующаяся при обработке древесины;

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

Раздражающая пыль – известковая, цементная и др. могут вызвать *раздражения слизистой оболочки глаз*. Возможны и *кожные заболевания* – особый вид экземы. По дисперсности наибольшую опасность для организма представляет мелкодисперсная пыль (частицы размером менее 0,1 мм). Она не задерживается в верхних дыхательных путях, а, проникая в легкие, оседает в них и приводит к развитию патологического процесса, который получил название пневмокониоза. Пневмокониозы – *пылевые заболевания легких*. Наиболее распространенными являются: силикоз, вызванный воздействием кварцевой пыли, антракоз – угольной, сидероз – железосодержащей, астестоз – асбестовой, амокиликоз – алюминиевой, талокоз – тальковой. Наибольшей агрессивностью из перечисленных видов пыли обладает кварцевая пыль.

В ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования» приведены предельно-допустимые концентрации (ПДК) пыли в воздухе рабочей зоны производственных помещений, мг/м³.

Концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч или при другой продолжительности, но не более 40 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не может вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья,

обнаруживаемых современными методами исследования в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений, называется **предельно допустимой концентрацией (ПДК)**.

ПДК пыли в воздухе рабочих помещений устанавливаются на основании специальных исследований и результатов профессиональных осмотров рабочих и утверждаются органами здравоохранения. Величины ПДК приведены в ГОСТ 12.1.005-88. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и СанПиН № 11-19-94 «Перечень регламентируемых в воздухе рабочей зоны вредных веществ».

Для населенных мест предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе примерно от 10 до 100 раз ниже, чем ПДК в воздухе производственных помещений, где человек находится ограниченное время.

Необходимо регулярно проводить исследование воздушной среды в производственных условиях. При исследовании отбирается проба воздуха непосредственно на рабочем месте, у источника пыли в окружающей атмосфере.

Образующаяся при раздавливании и размалывании твердых кусков пыль заряжается. Она может заряжаться и при адсорбции и ударе частиц друг о друга, а также при трении пылинок о твердую поверхность. Полярность зарядов зависит от химического состава и условий образования пылей.

Если во взвешенном состоянии частицы пыли имеют разноименные заряды, они притягиваются друг к другу, образуя хлопья, и быстро оседают. При столкновении двух разноименно заряженных частиц, образованных из плохо проводящих электричество материалов, происходит их слипание без потери электрических зарядов, что обуславливает возможность их последующего отделения от газового потока.

С увеличением влажности электростатически заряженная пыль легче и прочнее соединяется в крупные агломераты, данное явление свидетельствует о возможности широкого применения на практике увлажнения электростатически заряженной пыли.

Пути проникновения в организм. Пылевые частицы могут воздействовать на организм человека, проникая в него через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт и неповрежденную кожу. Характер воздействия пыли зависит как от пути проникновения, так и от ее свойств.

Частицы пыли крупнее 10 мкм, особенно с острыми зазубренными краями, внедряются в нежную слизистую оболочку и оседают в верхних дыхательных путях. Более легкие пылевые частицы проникают в легкие, так как фильтрующее значение носовых полостей человека в отношении таких частиц пыли весьма незначительно.

Вредное воздействие пыли зависит от формы и характера поверхности пылинок, на которых могут быть острые, иглообразные и даже крючкообразные выступы. Раздражение и ранение пылинками слизистых оболочек дыхательных путей вызывает болезненное покраснение, которое может перейти в воспаление и катаральное состояние. При глубоком проникновении частиц некоторых видов мелкодисперсной пыли через легочные пузырьки и легочную ткань в лимфатические железы может возникнуть заболевание легких, называемое **силикозом**, которое нередко переходит в туберкулез вследствие разрушения легочной ткани. Особенно опасна в этом отношении пыль, содержащая свободный диоксид кремния.

Пыль способна адсорбировать из воздуха некоторые ядовитые вещества, поэтому сама может оказаться ядовитой. Например, угольная пыль и сажа могут адсорбировать оксид углерода, пары толуола, бензола, бензпирен и др.

Профессиональные отравления и заболевания обычно наблюдаются только при определенной концентрации токсичного вещества в воздухе.

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

Постоянное рабочее место – место, где работающий находится большую часть своего рабочего времени (более 50% или более 2 ч непрерывно). Если при этом работа осуществляется в различных пунктах рабочей зоны, постоянным рабочим местом считается вся рабочая зона.

Основные меры по снижению запыленности

- герметизации производственного оборудования;
- устройство местных отсосов непосредственно у источников пылевыведения;
- устройство общеобменных вентиляционных систем;
- автоматизация и роботизация технологических процессов с выделением большого количества пыли;
- рационализация технологических процессов, устраняющая образование пыли, паров и газов или удаляющая вредные вещества из технологического процесса;
- улавливание и нейтрализация промышленных выбросов;
- санитарно-гигиеническое содержание производственных помещений и выполнение работающими правил личной гигиены;
- использование индивидуальных средств защиты и ношение спецодежды;
- профессиональный отбор лиц для работы во вредных цехах и их периодический медицинский осмотр;
- инструктаж и обучение работающих безопасным приемам труда.

При работе в сильно запыленных помещениях надлежит пользоваться индивидуальными средствами защиты: респираторами (маска со специальными фильтрами); кислородно-изолирующими приборами; устройствами, подающими свежий воздух для вдыхания извне, а также противопыльными очками и спецодеждой.

Предельно допустимые концентрации пыли некоторых веществ приведены в таблице 2.1.2.

Таблица 2.1.2. Предельно допустимые концентрации пыли

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³
Алюминий и его сплавы (в пересчете на алюминий)	2
Алюминия оксид в виде аэрозоля дезинтеграции (глинозем, электрокорунд, монокорунд)	6
Доломит	8
Оксид железа с примесью оксидов марганца до 3%	6
Известняк	6
Карбид кремния (карборунд)	6
Магнезит	10
Силикат и силикатсодержащие пыли:	
а) асбест природный и искусственный, а также смешанные асбестопородные пыли при содержании в них асбеста более 10%	2
б) асбестоцемент	6
в) тальк, слюда-флагонит, мусковит	4
г) цемент, оливик, апатит, форстерит	6
Пыли растительного и животного происхождения:	
а) с примесью диоксида кремния более 10% (зерновая, лубяная, хлопковая, льняная, пуховая, шерстяная и др.)	2
б) с примесью диоксида кремния от 2 до 10%	4
в) с примесью диоксида кремния менее 2% (мучная, крахмальная, хлопчатобумажная, древесная и др.)	6
Углеродсодержащие пыли:	
а) кокс нефтяной, песковый, сланцевый, электродный	6
б) каменный уголь с содержанием диоксида кремния менее 2%	10
Чугун	6
Фосфорит	6

В соответствии с СанПиН, предельно допустимое содержание аэрозолей в воздухе рабочей зоны (в том числе и для смесей аэрозолей в сумме) не должно превышать 10 мг/м^3 .

Кроме вредного действия на организм человека, пыль повышает износ оборудования (главным образом трущихся частей), увеличивает брак продукции.

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

Для отбора проб воздуха существует несколько методов:

аспирационный – основан на просасывании воздуха через пористые материалы или через жидкости – воду, масла;

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

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

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

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

В настоящей работе используется один из наиболее распространенных в практике *аспирационный метод* отбора проб воздуха. Под названием "аспирационный" понимают способ, в основе которого лежит просасывание воздуха через фильтрующие материалы: хлопчатобумажная вата, минеральная вата, шерсть, бумажные фильтры. Практически наибольшее распространение находят фильтры марок АФА, ФПП, изготовленные из полимерных фильтрующих материалов.

Запыленность воздуха характеризуется массой пыли, содержащейся в единице объема (мг/м^3).

Описание установки для исследования запыленности воздуха

Установка состоит из пылевой камеры 8 и приборного отсека 1 (рисунок 2.1.1). Пылевая камера служит для имитации производственного помещения с запыленным воздухом.

Поворотом ручки бункера-дозатора 9 исследуемая пыль вносится в пылевую камеру, где распыляется с помощью вентилятора. На правой стенке

камеры установлен фонарь, который позволяет визуально определить наличие пыли в камере. На передней стенке пылевой камеры имеется штуцер 11, служащий для отбора проб воздуха. Отбор воздуха производится патроном, в который вставляются аэрозольные фильтры АФА-В-10 или АФА-В-18, изготовленные из перхлорвинилового фильтрующего материала (ткани Петрянова).

В приборном отсеке установлены аспиратор, позволяющий отбирать пробы воздуха с различной скоростью, и блок управления. В свою очередь, аспиратор состоит из воздуходувки и 4-х ротаметров 6 (отсчет скорости движения воздуха производится по верхнему краю поплавков).

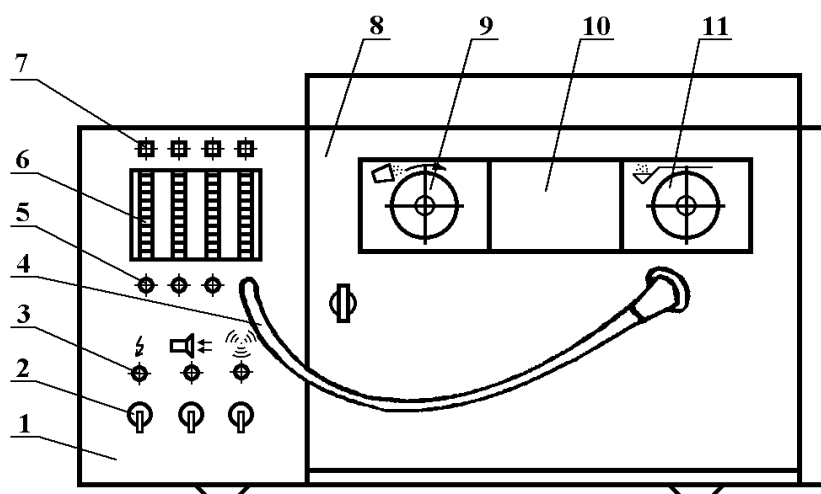


Рисунок 2.1.1. Установка для исследования запыленности воздуха:

1 – приборный отсек; 2 – тумблер; 3 – индикаторная лампа; 4 – прободоотборная трубка; 5 – штуцер; 6 – ротаметр; 7 – вентиль; 8 – пылевая камера; 9 – ручка бункера-дозатора; 10 – смотровое окно; 11 – прободоотборный штуцер

Весы лабораторные аналитические представляют собой прецизионный прибор, с которым необходимо обращаться весьма аккуратно и в соответствии с нижеприведенной инструкцией.

Перед каждым взвешиванием необходимо проверять установку нуля. Для этого включают тумблер «Весы» и, не открывая дверцы весов, осторожно, плавным поворотом ручки арретира (большая ручка внизу), совмещенной с выключателем, против часовой стрелки включают весы.

Если нулевая отметка шкалы не совпадает с отметкой экрана, необходимо совместить их корректирующей ручкой шкалы (малая ручка внизу).

Отключить весы поворотом ручки арретира по часовой стрелке. Лево́й рукой положить взвешиваемый фильтр на левую чашку весов.

Установить на лимбах 400–500 мг. Включить весы, плавно поворачивая арретир против часовой стрелки и придерживая его. Если шкала уходит за пределы поля зрения в плюсовую сторону, то необходимо увеличить количество миллиграммов на лимбе, в случае зашкаливания в минусовую сторону – уменьшить количество миллиграммов.

Поворот лимбов производить только при выключенных весах.

Необходимо подобрать такое количество миллиграммов на обоих лимбах, чтобы весы уравнились на плюсовом участке шкалы от 0 до +10. Суммируя результаты на большом и малом лимбах и на шкале, записать массу взвешиваемого фильтра с точностью до 0,1 мг (например, 426,7 мг).

Выключить весы поворотом ручки арретира, оставив положение ручек лимбов без изменения. Снять фильтр с чашки весов, вставить в патрон, произвести просасывание воздуха и снова взвесить фильтр.

После окончания взвешивания выключить весы, убрать взвешиваемый фильтр с чашки весов, закрыть дверцу и отключить весы от сети. Деления большого и малого лимбов поставить на нуль.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с установкой. Выяснить у преподавателя, какая пыль загружена в камеру, соединить установку с электрической сетью, для чего необходимо вставить вилку в розетку. Включить тумблер «Сеть».

2. Взвесить фильтр на аналитических весах с точностью до 0,1 мг и вставить его в патрон, не присоединяя к пылевой камере.

3. Включить тумблер «Аспиратор» и вращением ручки вентиля ротаметра 7, к которому подсоединен патрон с фильтром, установить скорость прохождения воздуха 15 л/мин. Вентили трех других ротаметров должны быть закрыты. Отключить тумблер аспиратора.

4. Подсоединить взвешенный фильтр к пылевой камере с помощью пробоотборной трубки 4. Включить тумблер «Вентилятор» на 5–10 с, в результате чего в камере создается запыленная среда.

5. Включить аспиратор на 1 или 2 мин по секундомеру и произвести отбор пробы воздуха.

6. Достать фильтр из патрона и взвесить его.

7. Запыленность воздуха определить из выражения

$$C = \frac{(g_2 - g_1) \cdot 1000}{V \cdot t}, \quad (2.1.1)$$

где g_1 – масса чистого фильтра, мг; g_2 – масса фильтра с пробой, мг; V – скорость отбора пробы, л/мин; t – продолжительность отбора пробы, мин.

Результаты замеров заносятся в таблицу 2.1.3.

Полученные результаты сопоставить с нормами ГОСТ 12.1.005-88 и нижним пределом взрываемости.

Таблица 2.1.3. Результаты определения запыленности воздуха

Масса фильтра, мг		Продолжительность отбора t, мин	Показания ротаметра V, л/мин	Объем воздуха, м ³	Концентрация пыли, мг/м ³		
Начальная	Конечная				фактическая	ПДК	Нижний предел взрываемости

8. Установку отключить от электросети, для чего необходимо вынуть вилку из розетки. Тумблеры поставить в положение «Выкл.».

Определение дисперсного состава пыли

Недостатком аспирационного и других существующих методов является то, что они не могут дать полной гигиенической оценки пыли. Одно и то же массовое содержание пыли может быть при наличии в воздухе как небольшого количества крупных частиц, так и множества мелких. Однако поведение пыли в воздухе и действие ее на организм в зависимости от дисперсности совершенно различны.

Характер опасности пыли в зависимости от ее дисперсного состава представлен на рисунке 2.1.2. Как видно из рисунка, частицы пыли размером 10–12 мкм практически не поступают в легкие и, следовательно, не представляют собой опасности. Максимальная задержка пыли в легких наблюдается для размеров частиц 1–2 мкм.

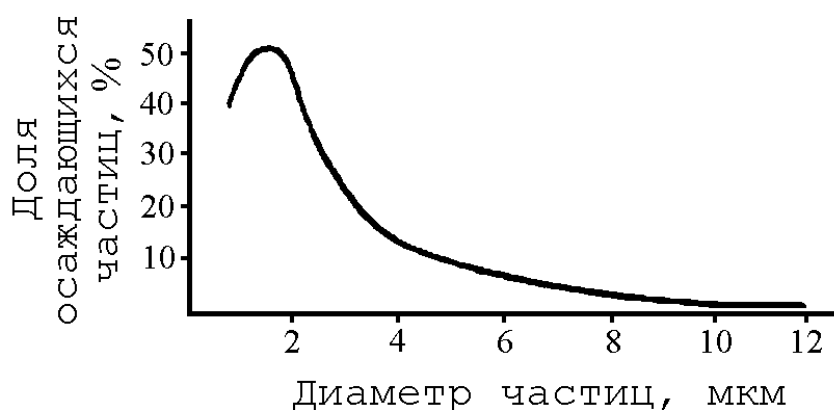


Рисунок 2.1.2. Задержка пылевых частиц в легких в зависимости от дисперсного состава пыли

Поэтому данные о массовом содержании пыли в воздухе должны быть дополнены определением ее дисперсности. Для характеристики дисперсности пыли определяют процентное содержание частиц, имеющих размеры до 2 мкм, от 2 до 5 мкм, от 5 до 10 мкм и больше 10 мкм.

Подготовка препаратов методом просветления заключается в следующем. Фильтры АФА, использованные ранее для определения массового содержания пыли в воздухе, укладывают фильтрующей поверхностью на предметное стекло и препарат держат в течение нескольких минут над парами ацетона, подогреваемого на водяной бане, спиртовой или газовой горелке. Ткань фильтра расплавляется, приобретая вид прозрачной пленки, в которой под микроскопом хорошо видны фиксированные пылевые частицы.

Определение дисперсности методом микроскопии проводится с помощью окулярного микрометра (рисунок 2.1.3). Он представляет собой линейку, нанесенную на стекле округлой формы, диаметр которого соответствует внутреннему диаметру трубки окуляра микроскопа.

Перед определением размеров пылевых частиц предварительно определяют цену деления линейки с помощью объектива-микрометра (2). Он представляет собой закрепленный в металлической пластинке стеклянный круг, на поверхности которого нанесены линии с интервалом в 10 мкм (всего на расстоянии 1 мм нанесено 100 линий). Объектив-микрометр помещают на оптический столик микроскопа и находят указанные линии под малым увеличением, центруют в поле зрения, после чего переводят под большое увеличение или иммерсию. Далее извлекают окуляр микроскопа, снимают верхнюю крышку, помещают в него окулярную микрометрическую линейку, закрывают крышку окуляра и устанавливают его в микроскоп. После чего совмещают линии объектива-микрометра с краем окулярной микрометрической линейки так, как это показано на рисунке 2.1.3, и высчитывают цену делений линейки.

Далее пылевой препарат устанавливают на столик микроскопа вместе с объективом-микрометром и производят измерения при тех оптических условиях, при которых определена цена делений окулярного микрометра. Для этого подводят по очереди каждую пылинку подряд без выбора под линейку, определяя размер у 25–30 пылинок по наибольшему их диаметру.

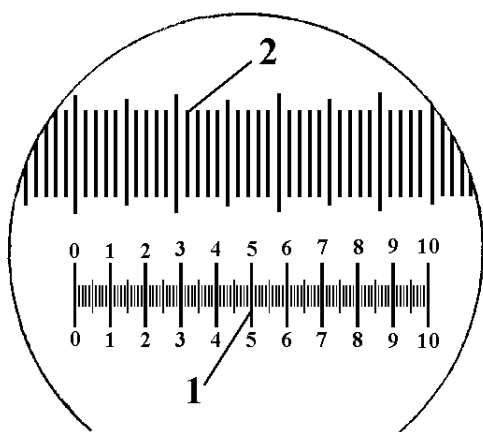


Рисунок 2.1.3. Измерение величины окулярной микрометрической линейки:
1 – окулярная микрометрическая линейка; 2 – объектив-микрометр

Результаты отмечают каким-либо знаком в таблице 2.1.4.

Таблица 2.1.4. Результаты определения дисперсного состава пыли

Величина пылинок, мк	До 2	От 2 до 5	От 5 до 10	Больше 10	Всего пылинок	Средний диаметр
Количество пылинок						
Процентное содержание					100	

Пользуясь графиком (рисунок 2.1.2), определяют возможную задержку исследуемой пыли в легких человека.

Определение морфологии частиц пыли

Морфологические особенности частиц изучают методом обычной микроскопии на тех же препаратах, которые использовались для определения дисперсности пыли. При этом описывают форму частиц (округлая, неправильная, игло- или овальнообразная и т. д.), их процентное соотношение в пыли, характер поверхности, наличие волокнистых структур, конгломератов частиц, различных включений и др. Морфологическая оценка позволяет сделать выводы об устойчивости аэрозоля, вещественном составе пыли, их происхождении и возможном воздействии на организм человека.

Контрольные вопросы

1. Что представляют собой промышленные пыли (аэрозоли)?
2. Как классифицируются промышленные пыли?
3. Как воздействуют пыли на организм человека и от каких факторов зависит степень их воздействия?

4. Что такое ПДК пыли в воздухе рабочей зоны?
5. Какие мероприятия по борьбе с пылью можно предложить в общем случае и для конкретного производства (по специальности)?
6. Что такое горючая пыль? Ее виды.
7. Как подразделяются промышленные пыли по взрываемости?
8. Какие существуют методы отбора проб пыли из воздуха рабочей зоны?

2.2. Определение концентрации пыли в вентиляционных выбросах и оценка эффективности работы очистной установки

Методы измерения концентрации пыли делятся на две группы:

- 1) основанные на предварительном осаждении частиц пыли и исследовании осадка;
- 2) без предварительного осаждения.

К методам первой группы относятся: весовой, денситометрический, пьезоэлектрический, а также метод, основанный на измерении перепада давления на фильтре.

Весовой метод является общепринятым, и все существующие и вновь разрабатываемые пылемеры, основанные на других методах измерений, градуируют, используя весовой метод. Весовой метод дает погрешность порядка 10%, величина погрешности в значительной степени зависит от класса применяемого оборудования и контрольно-измерительных приборов.

Денситометрический метод включает все операции весового метода, кроме взвешивания пробы, которое заменено определением оптической плотности пылевого осадка.

Пьезоэлектрический метод основан на измерении собственной частоты колебаний пьезокристалла во время осаждения частиц пыли на его поверхности.

К методам второй группы относятся: **электрические методы**, основанные на способности частиц пыли электризоваться; **акустический метод**, основанный на измерении параметров акустического поля при наличии частиц пыли между источником и приемником звука; **оптические методы**, основанные на явлении поглощения света движущимся пылегазовым потоком и рассеяния света движущимися частицами пыли.

При весовом методе измерения концентрации пыли в газовом потоке отбор проб производится с помощью внутренней или внешней фильтрации (рисунок 2.2.1).

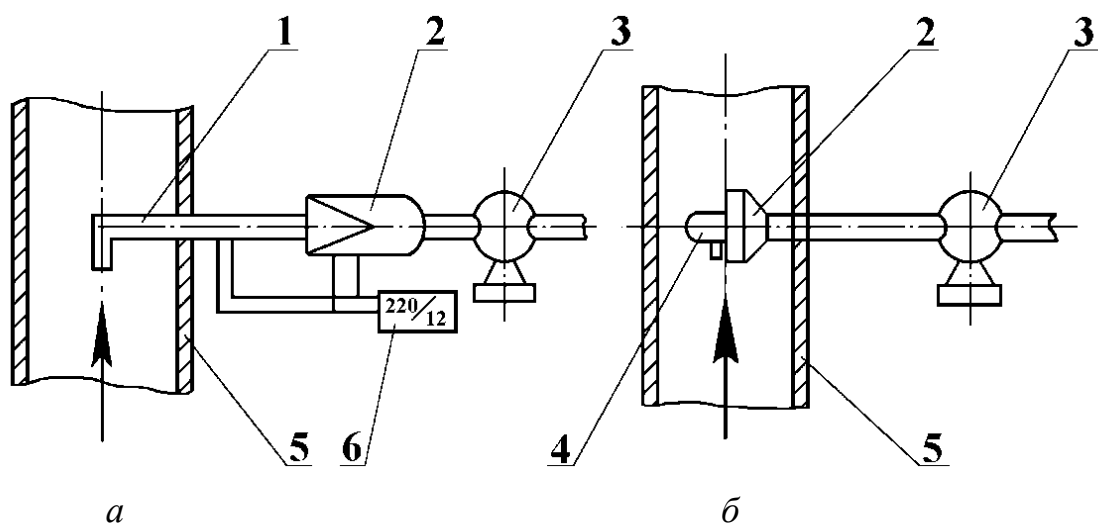


Рисунок 2.2.1. Схема отбора проб:

a – внешняя фильтрация; *б* – внутренняя фильтрация;

1 – заборная трубка; 2 – фильтр; 3 – воздуходувка с ротаметром;

4 – стеклянный алонж; 5 – воздуховод; 6 – трансформатор 220/12

При внешней фильтрации фильтрующее устройство располагается вне воздуховода, при внутренней – внутри его.

Для получения достоверных результатов необходимым условием является выполнение ряда требований:

а) носик пылезаборной трубки должен быть направлен навстречу газовому потоку соосно с основным его направлением; отклонение не должно превышать 5° ;

б) скорость газа во входном отверстии наконечника пылезаборной трубки должна быть равна скорости пылегазового потока в измеряемой точке (изокинетический отбор пробы газа);

в) допускается превышение скорости отбора пробы над скоростью газового потока не более 10%.

Если скорость отбора превышает скорость газового потока, более крупные частицы пыли из внешней части отбираемого объема газа по инерции пройдут мимо входного отверстия пробоотборного устройства. Полученная величина концентрации пыли окажется заниженной, а отобранная пыль будет более мелкой. При отборе с пониженной скоростью произойдет обратное явление – полученная величина запыленности окажется завышенной, а отобранная пыль будет более крупной. Отклонение входного отверстия пробоотборного устройства от положения, перпендикулярного направлению газового потока, даже при соблюдении изокинетичности, дает заниженные результаты запыленности, а отобранная пыль будет более мелкой.

Достоверность результатов зависит также от места расположения пылезаборной трубки в газоходе. Измерения желательно проводить на вертикальных участках газоходов, т. к. на горизонтальных участках большей протяженности концентрация пыли в нижней части сечения газохода выше, чем в верхней, а пыль более грубодисперсна. Участки круглого сечения предпочтительнее квадратных, а квадратные – прямоугольных. Скорость газа в измеряемом сечении трубопровода должна быть не менее 4 м/с.

Даже при соблюдении всех перечисленных требований сохраняется некоторая неравномерность в распределении пылегазового потока, поэтому пробы следует отбирать в различных местах сечения. Отбор проб производят в тех же точках, где проводятся измерения скорости газового потока.

Рекомендуется одинаковое время отбора пробы в каждой точке газохода. Его рассчитывают, деля общее время отбора одной пробы на число точек измерения вдоль диаметра газохода.

Для обеспечения изокINETичности отбора пробы диаметр отверстия наконечника пробоотборной трубки d , мм, определяется расчетом:

$$d = 10^3 \sqrt{\frac{4W}{\pi \cdot V}}, \quad (2.2.1)$$

где W – расход газа через заборную трубку, м³/с; V – скорость отбора пробы (равна скорости газового потока в точке отбора пробы), м/с.

Зная скорость газа в газоходе и диаметр наконечника пробоотборной трубки, расход газа при отборе пробы можно определить по номограмме (рисунок 2.2.2).

Конструкция пробоотборных трубок должна отвечать условиям работы. При работе с горячими газами (300–400 °С) трубку следует охлаждать водой или воздухом, а в случае возможной конденсации в трубке водяного пара ее нужно обогревать.

Перед проведением измерений фильтры высушивают в сушильном шкафу при температуре 80 °С в течение 20–30 мин или выдерживают в эксикаторе с плавленым хлористым кальцием в течение 2–3 ч и взвешивают.

Запыленность Z , г/м³, рассчитывают по формуле:

$$Z = \frac{(\partial + a + e) \cdot 1000}{V \cdot t}, \quad (2.2.2)$$

где ∂ – привес пыли на фильтре после отбора пробы, г; a – количество пыли, осевшей в заборной трубке, г; e – поправка на изменение массы контрольного фильтра, г; V – расход газа при отборе пробы, л/мин; t – время отбора пробы, мин.



Рисунок 2.2.2. Номограмма равных скоростей движения газа в газоходе и носике пробоотборного устройства

Весовой метод используется также при определении эффективности очистки газов в пылеулавливающих аппаратах.

Эффективность очистки газов может быть определена по содержанию пыли в газах до поступления в газоочистной аппарат и на выходе из него:

$$\eta = \frac{W_{\text{ВХ}} \cdot Z_{\text{ВХ}} - W_{\text{ВЫХ}} \cdot Z_{\text{ВЫХ}}}{W_{\text{ВХ}} \cdot Z_{\text{ВХ}}} = 1 - \frac{W_{\text{ВЫХ}} \cdot Z_{\text{ВЫХ}}}{W_{\text{ВХ}} \cdot Z_{\text{ВХ}}}, \quad (2.2.3)$$

где $W_{\text{ВХ}}$, $W_{\text{ВЫХ}}$ – объемный расход газов, поступающих в газоочистной аппарат и выходящих из него, м³/с; $Z_{\text{ВЫХ}}$, $Z_{\text{ВХ}}$ – концентрация пыли в газах, выходящих из газоочистного аппарата и поступающих в него, кг/м³.

Если объем газа, поступающего в аппарат и выходящего из него, не изменяется, то формула примет вид

$$\eta = 1 - \frac{Z_{\text{ВЫХ}}}{Z_{\text{ВХ}}}. \quad (2.2.4)$$

Экспериментальная часть.

Описание лабораторной установки и приборов

Лабораторная вентиляционная установка (рисунок 2.2.3) состоит из центробежного вентилятора (1), воздухопроводов разного диаметра (2), (3), циклона (4), дозирующего устройства (5). Напорный воздухопровод имеет горизонтальные и вертикальные участки, по одному расширяющемуся (диффузор) и сужающемуся (конфузор) патрубку и три колена под углом 90°. На вертикальном и горизонтальном участках трубопроводов предусмотрены

точки замера скорости воздушных потоков. Кроме того, скорость воздуха измеряется в проеме вытяжного шкафа с регулируемым сечением рабочего пространства.

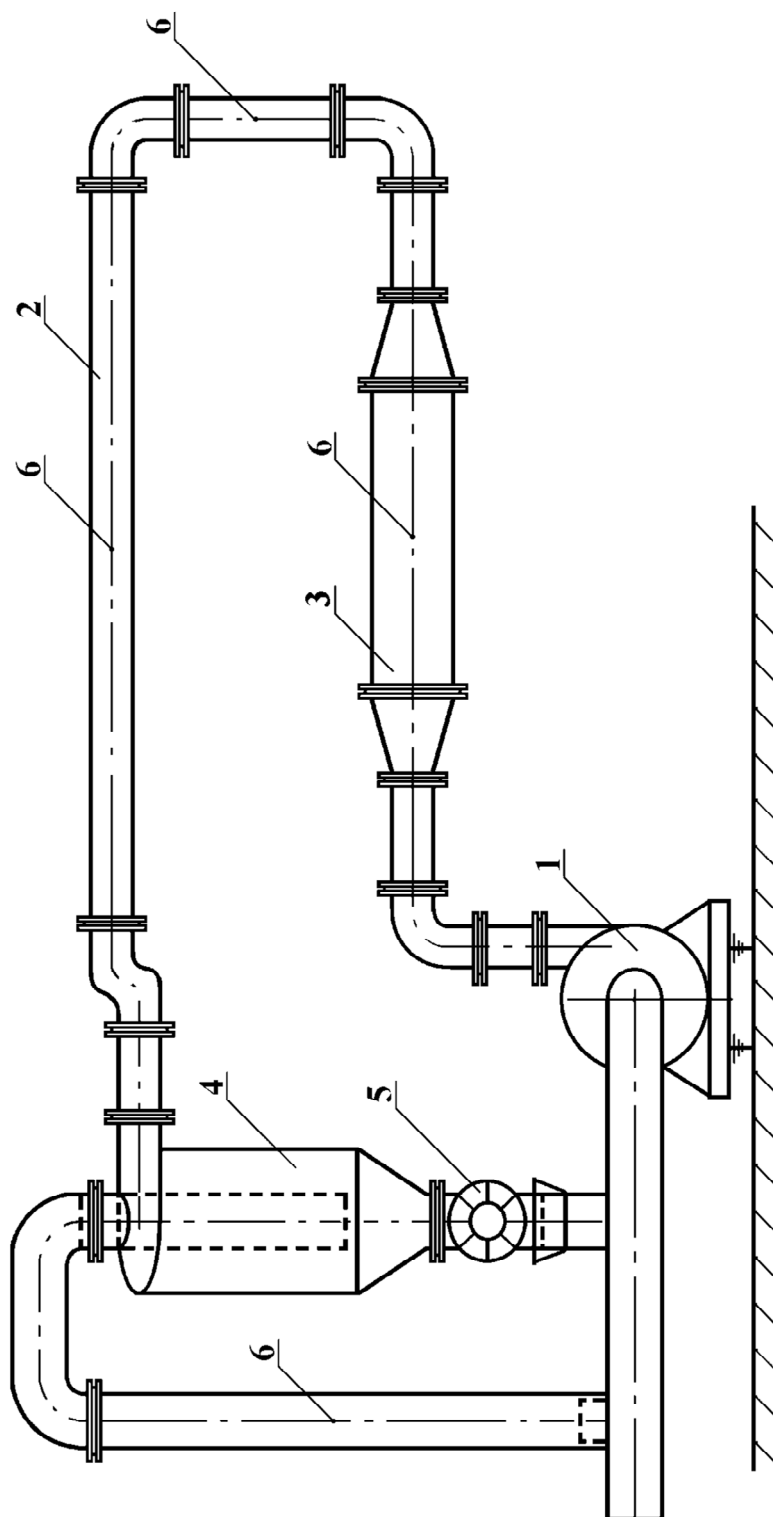


Рисунок 2.2.3. Схема экспериментальной установки:
1 – вентилятор; 2, 3 – воздуховоды; 4 – циклон;
5 – дозатор; 6 – точки измерений

Для выполнения работы применяют следующие приборы: анемометр с секундомером, микроанометр ММН-240, комбинированный приемник давления для измерения динамических давлений потока воздуха.

Анемометры предназначены для измерения скорости движения воздуха в приточных и вытяжных отверстиях, воздуховодах, проемах стен и т. п. В данной работе они используются для осуществления замеров скорости воздуха в проеме вытяжного шкафа. На практике применяются ручные крыльчатые анемометры с пределами измерений скоростей воздуха 0,2–5 м/с и чашечные, предназначенные для измерения скоростей от 1 до 20 м/с.

При измерении крыльчатка или чашечка, находящиеся в потоке воздуха, приводятся во вращательное движение. Счетный механизм отсчитывает на циферблате число оборотов крыльчатки или чашечек за 1–8 мин. Затем по числу оборотов за одну секунду с помощью тарифовочного графика, который прилагается к каждому анемометру, определяют скорость. Включение и выключение механизма анемометра производится арретиром.

Тарифовочные графики для определения скорости движения потока воздуха до 1 м/с и 1–5 м/с с помощью ручного крыльчатого анемометра АСО-3 приведены на рисунке 2.2.4, а с помощью чашечного анемометра МС-13 – на рисунке 2.2.5.

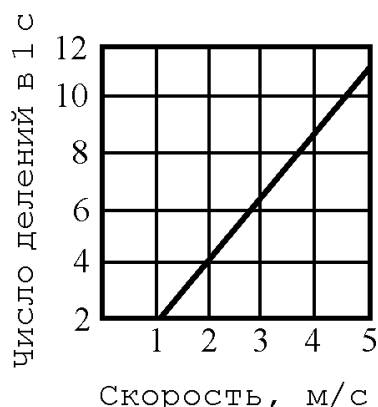
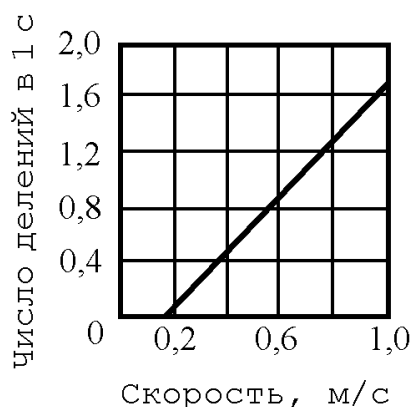


Рисунок 2.2.4. Графики для определения скорости движения воздуха с помощью крыльчатого анемометра АСО-3

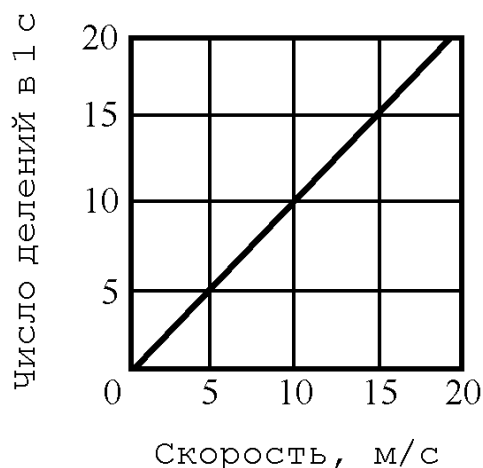


Рисунок 2.2.5. График для определения скорости движения воздуха с помощью чашечного анемометра МС-13

Микроманометр ММН-240 представляет собой одноколенный спиртовой манометр с наклонно расположенной стеклянной трубкой (рисунок 2.2.6). На планке, где капиллярную трубку устанавливают под разными углами, нанесены цифры 0,2; 0,3; 0,4; 0,6 и 0,8, соответствующие синусу угла наклона. На стеклянной капиллярной трубке выгравированы миллиметровые деления шкалы до 300 мм. Микроманометр обычно заполняют этиловым спиртом плотностью 809,6 кг/м³.

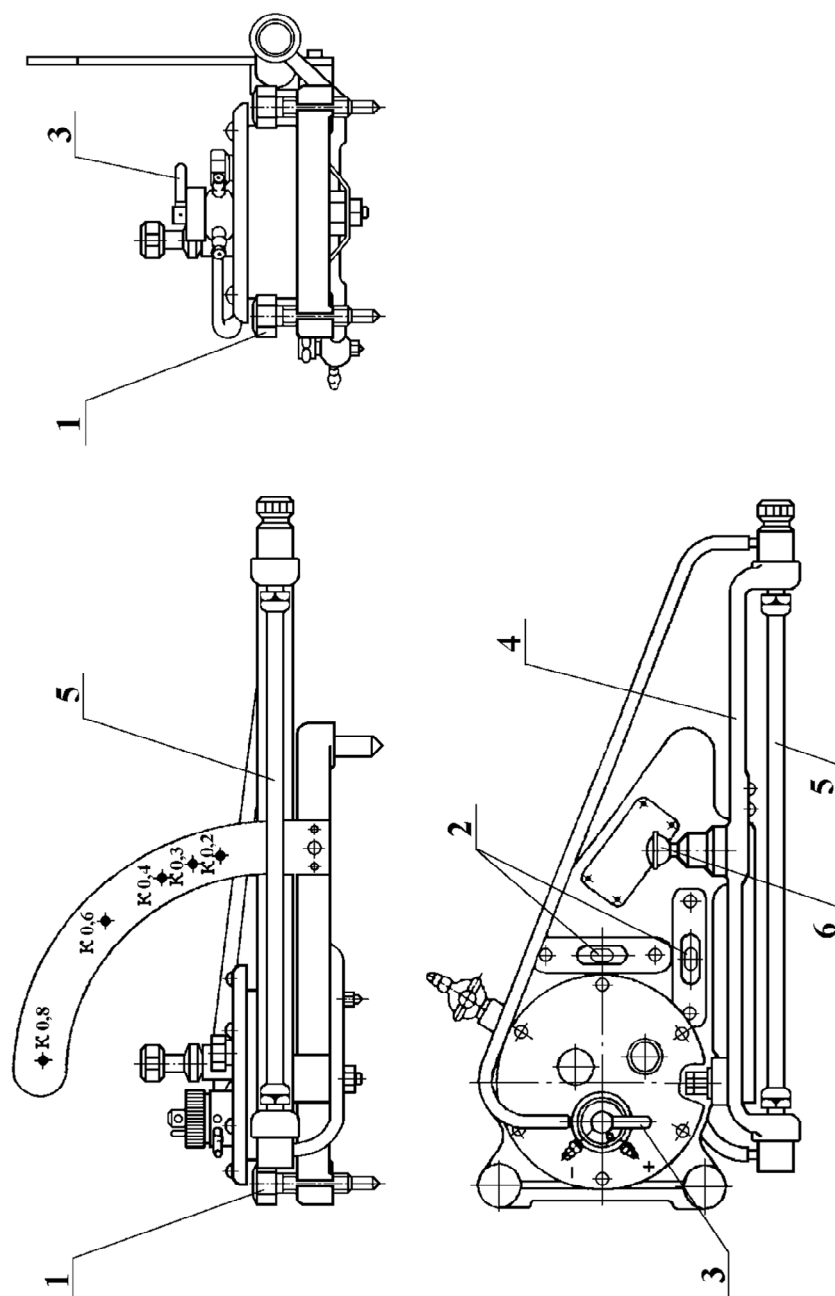


Рисунок 2.2.6. Микроманометр многопредельный с наклонной трубкой ММН-240: 1 – регулировочные ножки; 2 – уровни; 3 – трехходовой кран; 4 – кронштейн; 5 – измерительная трубка; 6 – регулятор уровня

Комбинированный приемник давления (пневмометрическая трубка) служит для измерения динамических давлений потока при скоростях движения воздуха более 5 м/с и статических давлений в установившихся потоках (рисунок 2.2.7).

Пневмометрическая трубка состоит из двух металлических трубок, вставленных одна в другую. Входное отверстие внутренней трубки находится в центре короткого конца напорной головки, выходное – на противоположном конце; оно обозначается знаком (+) и служит для замеров динамического и общего давления.

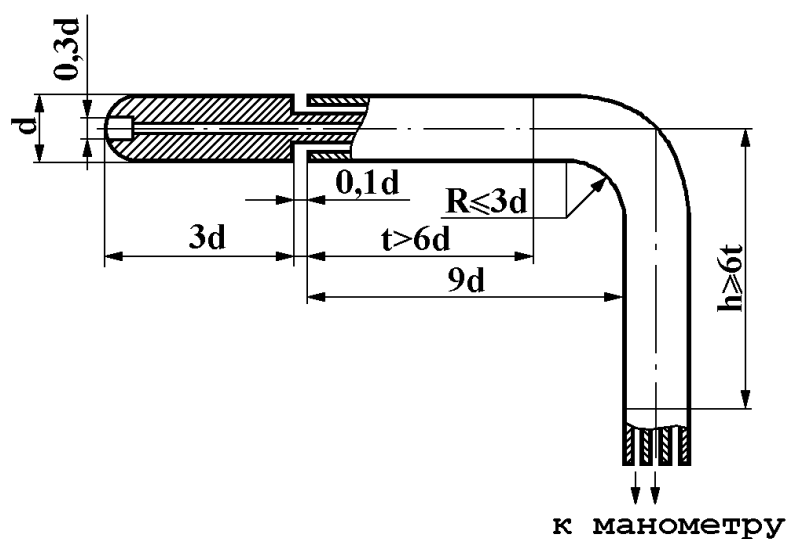


Рисунок 2.2.7. Пневмометрическая трубка

Порядок выполнения работы

Измерение скорости воздуха с помощью анемометра АСО-3

Перед началом работы включают с помощью арретира передаточный механизм анемометра и записывают начальное показание счетчика по трем шкалам. После этого анемометр устанавливают ветроприемником навстречу воздушному потоку и осью крыльчатки вдоль направления потока. Через 10–15 с одновременно включают механизм анемометра и секундомер.

Анемометр держат в воздушном потоке в течение 1–2 мин. После этого механизм анемометра и секундомер выключают, записывают конечные показания счетчика и время экспозиции в секундах. Делением разности конечного и начального показаний счетчика на время экспозиции определяют число делений, приходящихся на одну секунду.

Скорость потока определяется по градуировочному графику (рисунок 2.2.4) следующим образом. На вертикальной оси графика отыскивают

число, соответствующее числу делений шкалы счетчика анемометра в секунду. От этой точки проводят горизонтальную линию до пересечения с прямой графика. Из точки пересечения опускают вертикальную линию до пересечения с горизонтальной осью. Точка пересечения дает искомую скорость воздушного потока.

Среднюю скорость движения воздуха V_{cp} , м/с, определяют по формуле

$$V_{cp} = \sum_{i=1}^n V_i / n, \quad (2.2.5)$$

где n – количество точек измерений (по рисунку 2.2.7).

Объем воздуха, поступающего во всасывающий проем вытяжного шкафа, рассчитывают по формуле (2.2.2).

Результаты замеров и расчетные данные заносят в таблицу 2.2.1.

Определение скорости движения воздуха с помощью микроманометра ММН-240

Пользоваться микроманометром (рисунок 2.2.6) рекомендуется в следующем порядке:

- 1) установить прибор на устойчивом столе;
- 2) отрегулировать регулировочными ножками (1) горизонтальное положение прибора, чтобы в каждом уровне (2) пузырек стоял в центре;
- 3) повернуть пробку трехходового крана (3) против часовой стрелки до упора, поставив кронштейн (4) с измерительной трубкой (5) на необходимый наклон, и регулятором уровня (6) откорректировать нуль;
- 4) резиновым шлангом соединить прибор с пневмометрической трубкой, соблюдая полярность, указанную на приборе и пневмометрической трубке;
- 5) пневмометрическую трубку установить через отверстие в трубопроводе навстречу потоку воздуха строго параллельно направлению его движения; если прибор сбился – отрегулировать его регулировочными ножками (1);
- 6) провести замеры динамического давления в точках сечения трубопровода (рисунок 2.2.3) в соответствии с требованиями ГОСТ 12.3.018-79.

В воздуховодах круглого поперечного сечения измерения можно производить по одной оси (диаметру), а при недостаточно выровненном потоке – по двум взаимно перпендикулярным диаметрам.

Истинное значение динамического давления P_d связано с видимой длиной столба спирта l в измерительной трубке выражением

$$P_d = 0,1 \cdot K_n \cdot l, \quad (2.2.6)$$

где K_n – постоянная прибора; значения ее указаны на дуге прибора. Постоянная 0,1 использована в формуле (2.2.6) для перевода значения P_d в Н/м².

Среднюю скорость и объем проходящего через воздуховод воздуха рассчитывают по формулам (2.2.2) и (2.2.5).

Результаты замеров и расчетные данные заносят в таблицу 2.6.

Определение запыленности воздуха и эффективности работы очистного устройства (циклона)

Измерение запыленности воздуха выполнить на вертикальном участке воздуховода и непосредственно за циклоном перед выбросом газа в отводной воздуховод или в атмосферу.

По заданному преподавателем диаметру наконечника пробоотборной трубки с помощью номограммы (рисунок 2.2.2) определить расход газа при отборе пробы (в л/мин).

Взвесить фильтр и собрать установку для проведения измерений в соответствии с рисунком 2.2.1, а. Обогрев пробоотборной трубки, высушивание фильтров не производят, т. к. за короткий промежуток времени отбора пробы температура и влажность воздуха в помещении практически остаются постоянными.

Вставить пробоотборную трубку в воздуховод так, чтобы наконечник был направлен по ходу движения газа и находился в первой точке отбора. Установить по ротаметру необходимый расход газа и повернуть пробоотборную трубку отверстием навстречу газовому потоку. Произвести отбор пробы в тех точках по сечению воздуховода, где ранее измеряли скорость газового потока. Время отбора в каждой точке должно быть одинаковым, его рассчитывают по формуле

$$t = T/n, \quad (2.2.7)$$

где T – общее время отбора пробы, мин; n – число проб по сечению воздуховода.

Закончив отбор пробы, вынуть пробоотборную трубку из воздуховода и выключить воздуходувку. Взвесить фильтр и рассчитать запыленность газового потока по формуле (2.2.2). Так как отбор производится при постоянных температуре и влажности в помещении, поправками «а» и «в» можно пренебречь. Аналогичные измерения выполнить для второй точки (после циклона).

По формуле (2.2.3) определить эффективность работы очистного устройства.

Результаты замеров и расчетов занести в таблицу 2.2.1.

Таблица 2.2.1. Результаты замеров скорости и расчет расхода воздуха через проем вытяжного шкафа

Точки замеров	Условия проведения замеров	Данные для определения скорости воздуха						Разность показаний счетчика	Время работы анемометра, с	Число делений в 1 с	Скорость воздуха, м/с	Площадь проема, м ²	Расход воздуха, м ³ /ч	Кратность воздухообмена, 1/ч
		начальные показания счетчика по шкале			конечные показания счетчика по шкале									
		единицы	сотни	тысячи	единицы	сотни	тысячи							
1.	Устр-во выкл. Устр-во вкл.													

Таблица 2.2.2. Результаты замеров скорости и расчет расхода воздуха через воздуховод

Точки замеров	Показания микроманометра		Постоянная прибора K_p	Динамический напор, Н/м ²	Скорость движения воздуха, м/с	Площадь сечения воздуховода, м ²	Расход воздуха, м ³ /ч	Кратность воздухообмена, 1/ч
	начальный отсчет меникса	в точках воздуховода						

Таблица 2.2.3. Результаты замеров запыленности воздуха и расчет степени очистки воздуха от пыли в циклоне

Точки замеров	Начальная масса фильтра, г	Расход воздуха через фильтр, л/мин	Время отбора пробы, мин	Конечная масса фильтра, г	Привес пыли на фильтре, г	Запыленность воздуха до очистки, г/м ³	Запыленность воздуха после очистки, г/м ³	Степень очистки воздуха в циклоне, %

Контрольные вопросы

1. Виды и назначение производственной вентиляции.
2. В чем заключается принципиальное различие используемых систем вентиляции? Выбор систем вентиляции.
3. Устройство местной, вытяжной и общеобменной систем вентиляции.
4. Какую систему вентиляции называют смешанной? Сущность системы кондиционирования.
5. Определение воздухообмена. Нормативные документы, регламентирующие санитарно-гигиенические условия труда.
6. Расчетные формулы воздухообмена при избытке пылевых, газовых, паровых и тепловых выделений. Определение кратности воздухообмена.
7. Что характеризует статическое, динамическое и полное давление воздушного потока? Какой из этих параметров используется для расчета скорости воздушного потока?
8. Методика измерения средней скорости воздушного потока в круглом и квадратном сечениях трубопроводов.
9. Методика и методы определения концентрации пыли в воздушных выбросах.
10. Устройство лабораторной установки и используемые для измерения приборы. Назначение и пределы измерений скоростей воздушных потоков с помощью анемометра и микроанометра. Назначение и устройство пневмометрической трубки.

Литература

1. ГОСТ 12.1.005-88. Межгосударственный стандарт. ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования. Москва: Изд-во стандартов, 1988.
2. СП 2.2.1.1312-03. Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий. Москва: Федеральный центр госсанэпиднадзора Министерства России, 2003.
3. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Переиздание. Москва: ФГУП ЦПП, 2017.
4. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. Москва: Информационное агентство, 2016.
5. Алиев Г. М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: справочник. Москва: Металлургия, 1986. 544 с.

6. Белов С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (Техносферная безопасность): учебник для вузов. Москва: Юрайт, 2016. 701 с.

7. Гусев В. М., Ковалев Н. И., Попов В. П., Потрошков В. А. Теплотехника, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: учебник для вузов / под ред. В. М. Гусева. Ленинград: Стройиздат, 1981. 343 с.

8. Сацура В. М. Методические указания к лабораторной работе по теме «Исследование эффективности работы вентиляционной установки» курса «Охрана труда», для студентов всех специальностей / сост. В. М. Сацура; науч. ред. Л. А. Минич; Белорусский технологический ин-т им. С. М. Кирова. Минск: БТИ им. С. М. Кирова, 1985. 18 с.

3. Обеспечение электробезопасности

3.1. Исследование защитного заземления электроустановок

Цель работы: изучить принцип действия, овладеть методикой расчета и измерения заземляющих устройств.

Оборудование: лабораторный стенд, измеритель заземления М-416.

В методических указаниях рассмотрены вопросы защиты человека от поражения электрическим током с применением защитного заземления.

Работа состоит из двух частей. В первой части исследуется влияние сопротивления заземления на величину тока, протекающего через человека. Во второй – определяется удельное сопротивление грунта, по полученным данным рассчитываются элементы и ожидаемое сопротивление заземления электроустановки, которое затем собирается и контролируется на макете.

Основные теоретические сведения

Причины несчастных случаев от воздействия электрического тока

Основными причинами воздействия электрического тока на человека являются:

- случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- прикосновение к нетокоевущим частям оборудования, оказавшимся под напряжением в результате повреждения изоляции, падения токоведущего провода на металлические части оборудования, замыкания фазы сети на корпус;
- появление напряжения на отключенных токоведущих частях в результате ошибочного включения отключенной установки под напряжение;
- возникновение шагового напряжения в результате замыкания фазы на землю, выноса потенциала протяженным токопроводящим предметом (трубопроводом, рельсами и т. п.), неисправности в устройствах рабочего или защитного заземления. В соответствии с ГОСТ 12.0.003–74* эксплуатация электроустановок сопровождается воздействием физических вредных и опасных производственных факторов: повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; повышенный уровень электромагнитных излучений.

Классификация электроустановок

В соответствии с ПУЭ электроустановки в отношении мер электробезопасности разделяются на:

- электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с глухозаземленной или эффективно заземленной нейтралью;
- электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор или резистор нейтралью;
- электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью;
- электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью.

Заземление – преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

При прикосновении человека к оказавшимся под напряжением нетоковедущим частям электрооборудования (при разрушении изоляции, замыкании на корпус и др.) может произойти поражение его электрическим током.

Для предотвращения этого широко применяется **защитное заземление** – преднамеренное электрическое соединение с землей металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Задача защитного заземления – снизить до минимума разность потенциалов между корпусом оборудования, к которому прикоснулся человек, и землей, на которой он стоит. Эта разность потенциалов называется *напряжением прикосновения*. Чем меньше напряжение прикосновения, тем меньший ток будет протекать через человека.

Защитное заземление применяется в сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтрально и выше 1000 В с любым режимом нейтрали.

Величина максимально допустимого сопротивления заземления электроустановок регламентируется Правилами устройства электроустановок (ПЭУ) в зависимости от мощности источника электроснабжения и составляет 10 Ом для источников мощностью 100 кВт и менее 4 Ом во всех остальных случаях (таблица 3.1.1).

Значения $R_{дон}$ выбраны с таким расчетом, чтобы при попадании напряжения на металлические нетоковедущие части электроустановки и прикосновении к ним человека ток через него не превышал 6 мА, т. е. был меньше неотпускающего.

Конструктивно заземление выполняется в виде нескольких стержневых заземлителей, погруженных в землю на определенную глубину и соединенных параллельно *полосой связи*. Такая система применяется потому, что одиночный заземлитель, как правило, имеет сопротивление значительно больше, чем $R_{дон}$.

Таблица 3.1.1. Максимально допустимые величины сопротивления заземляющих устройств

Название заземляющего устройства	Сопротивление заземлителя (не более), Ом
Заземление нейтрали трансформаторов и электроустановок напряжением выше 1000 В с большими (более 500 А) точками замыкания на земле	0,5
Заземление электрооборудования в установках напряжением выше 1000 В с малыми (менее 500 А) точками замыкания на землю	10
Заземление нейтрали трансформаторов и генераторов в установках напряжением до 1000 В (с глухо заземленной нейтралью) и заземление электрооборудования в установках до 1000 В с изолированной нейтралью при суммарной мощности параллельно работающих генераторов или трансформаторов: – до 100 кВА ; – свыше 100 кВА	10 4
Повторное заземление нулевого провода в установках напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью при суммарной мощности параллельно работающих генераторов или трансформаторов: – выше 100 кВА – до 100 кВА, при числе повторных заземлителей не менее трех	10 30

Типы заземляющих устройств

Для заземления электроустановок применяются *естественные* и *искусственные* заземляющие устройства.

В качестве *естественных* применяются оболочки кабелей, водопроводные трубы, различные металлические конструкции, имеющие соединения с землей.

Искусственное заземление конструктивно в виде нескольких одиночных заземлителей, выполняемых из стальных труб, стержней или уголков, погруженных под землю на определенную глубину и соединенных параллельно полосой связи.

Заземлители стараются располагать рассредоточено по контуру объекта, чтобы в аварийных ситуациях уменьшить разность потенциалов между оказавшимся под напряжением корпусами электроустановок и землей, что снизит вероятность поражения работающих с электрическим током.

Основными показателями, характеризующими пригодность устройства, является величина его электрического сопротивления, которая зависит от ряда

факторов: длины, диаметра и глубины заложения заземлителя, их количества, длины соединенной полосы и глубины ее заземления и др.

В большей мере сопротивление заземления зависит от удельного сопротивления грунта ρ , которое измеряется в Ом•м.

Удельное сопротивление грунта – это сопротивление одного кубического метра грунта, к противоположным граням которого приложены измерительные электроды.

Удельное сопротивление грунта зависит от вида почв (песок, глина, суглинок и др.) и времени года. Наибольшую величину оно имеет зимой в северных районах при промерзании почвы и в южных районах, когда почва наиболее сухая.

Приближенные значения сопротивлений некоторых грунтов приведены в таблице 3.1.2.

Таблица 3.1.2. Приближенные значения удельных сопротивлений различных грунтов

№ п/п	Вид грунта	Удельное сопротивление, Ом·см	
		Возможные пределы колебаний	При влажности по 10–12% к массе грунта
1	Песок	$(4-7) \cdot 10^4$	$7,0 \cdot 10^4$
2	Супесок	$(1,5-4) \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^4$
3	Суглинок	$(0,4-1,5) \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^4$
4	Глина	$(0,08-0,7) \cdot 10^4$	$0,4 \cdot 10^4$
5	Каменистая глина	—	$2,0 \cdot 10^4$
6	Чернозем	$(0,09-5,3) \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^4$
7	Каменистый чернозем	$(1,5-4,0) \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^4$
8	Садовая земля	—	$0,4 \cdot 10^4$
9	Торф	—	$0,2 \cdot 10^4$
10	Мергель, известняк	—	$(10-20) \cdot 10^4$
11	Крупнозернистый песок с валунами	—	—

Надежность работы заземляющего устройства зависит от правильности расчета, исполнения и его технического состояния.

Сопротивление заземления необходимо периодически (не реже 1 раза в год), контролировать, так как из-за коррозии заземлителей или их механических повреждений оно может превысить допустимую величину.

Поэтому возникает необходимость определения фактических параметров заземляющих устройств и самого тщательного контроля их технического

состояния как перед вводом в эксплуатацию, так и в процессе эксплуатации. Это осуществляется путем внешнего осмотра и электрических измерений, объединенных общим понятием испытаний.

Согласно требованиям ПУЭ программа испытаний заземляющих устройств включает в себя:

- 1) измерение сопротивления заземляющего устройства;
- 2) проверку наличия цепи между заземлителями и заземлёнными элементами.
- 3) проверку состояния всех элементов заземляющего устройства;
- 4) измерение удельного электрического сопротивления грунта и др.

Описание лабораторной установки

Работа выполняется на лабораторном стенде, верхняя (наклонная) панель которого разделена на две части. Левая часть – для исследования влияния сопротивления заземления на величину тока, протекающего через человека.

Правая часть – для определения удельного сопротивления грунта ρ имитации по результатам измерения и расчета заземления электроустановки B контроля величины его сопротивления (R_z). Для определения ρ и измерения R_z имеется измеритель заземления М-416.

Левая половина стенда состоит из вторичной обмотки питающего трансформатора 10 кВ/0,4 кВ и потребителя – электродвигателя переменного тока 380 В. Сеть 3 – проводная с нейтралью. Одна из фаз сети из-за пробоя изоляции имеет контакт с корпусом электродвигателя.

Стенд включается в сеть выключателем B_c . Имеющееся в схеме заземление R_z подключается к электродвигателю выключателем, его сопротивление измеряется ползунком C . Контакт человека корпусом электродвигателя обеспечивается при включении выключателя $B_{чел}$. При этом напряжение прикосновения (U_{np}) и ток, протекающий через него ($J_{чел}$), измеряются имеющимися в схеме вольтметром и миллиамперметром.

На стенде лабораторной установки обозначены сопротивления изоляции фаз ($R_{из}$) и пути тока через человека ($J_{чел}$), и заземление (J_3).

Правая половина стенда состоит из гнезд 1, 2, 3, 4 для определения удельного сопротивления грунта, выключателей («чернозем», «глина», «суглинок») для подключения заданного вида грунта, схемы заземления электроустановки и гнезд R_x , $R_{зонд}$, $R_{всп}$ для измерения сопротивления заземления электроустановки.

Схема заземления собирается по результатам расчетов. Необходимое количество одиночных заземлителей подключается выключателями T_1-T_{10} , их сопротивление с учетом коэффициента использования заземлителей R_0/η_v устанавливается имеющимися ниже потенциометрами по шкале 0–70 Ом.

Влияние полосы связи устанавливается потенциометром $\eta_{\text{п}}$ по шкале 0,34–0,45.

На нижней (горизонтальной) панели стенда расположены слева направо: схемы размещения электродов группового заземлителя, исходные данные, схемы подключения М-416 при измерении R_3 и необходимые сведения по натуральным и десятичным логарифмам.

При работе М-416 его клеммы 1, 2, 3, 4 проводами соединяются с гнездами 1, 2, 3, 4 (при измерении R_1 для определения удельного сопротивления грунта ρ) или с гнездами R_x $R_{\text{зонд}}$ $R_{\text{всп}}$ (при измерении R_3); переключателем П установить масштаб (начинать с x_1), нажать кнопку K_n и, вращая ручку расхода R , вывести стрелку прибора в центр подвижной шкалы (на отметку «0» на корпусе). Измеренное сопротивление равно произведению показаний подвижной шкалы на масштаб.

Порядок выполнения работы

1. До начала лабораторной работы изучить методические указания к ней и подготовить форму отчета.
2. Получить у преподавателя вариант выполнения работы (таблица 3.1.3) и необходимые исходные данные.

Таблица 3.1.3. Варианты выполнения работы

Номер варианта	Наименование грунта	Климатическая зона РФ (см. таблицу 3.1.4)	Наибольшее допустимое сопротивление $R_{\text{дон}}$, Ом
1	Чернозем	1	4
2	Чернозем	2	4
3	Глина	3	4
4	Глина	4	4
5	Глина	1	10
6	Глина	2	10
7	Суглинок	3	10
8	Суглинок	4	10

3. Изучить инструкцию по технике безопасности на рабочем месте и содержание стенда.

4. Установить в исходное положение все выключатели и ручки потенциометров лабораторного стенда. Ползунок C должен находиться в верхнем крайнем положении, ручки потенциометров без усилия повернуть по часовой стрелке до упора.

5. Исследовать влияние сопротивления заземления на направление прикосновения и величину тока, проходящего через человека.

Для этого:

– Включить левую часть стенда выключателем B_c .

– Выключателем $B_{чел}$ подключить к корпусу электродвигателя схему, имитирующую человека, и зафиксировать напряжение прикосновения U_{np} и величину тока, проходящего через человека $J_{чел}$.

– Выключателем B_3 подключить к корпусу электродвигателя заземление и измерить U_{np} и $J_{чел}$ при наличии R_3 .

– Уменьшая ползунком C сопротивление заземления, зафиксировать соответственно U_{np} и $J_{чел}$; по полученным результатам построить графики $U_{np} = f(R_3)$; $J_{чел} = f(R_3)$.

Сделать выводы:

– при каком R_3 получена максимально допустимая величина $J_{чел}$ (≤ 6 мА – отпускающий ток);

– какой должна быть величина R_3 , чтобы через человека, при его прикосновении к следующим частям, оказывающимся под напряжением, не проходили неотпускающие токи;

– установить в исходное положение выключатели B_3 , $B_{чел}$, B_c и ползунок C .

6. Рассчитать, собрать схему и измерить сопротивление заземления электроустановки.

Для этого:

– определить величину удельного сопротивления грунта ρ в следующем порядке:

1) подсоединить прибор М-416 к гнездам 1, 2, 3, 4 в левом верхнем углу правой половины стенда, включить выключатель заданного вида грунта и зафиксировать показания прибора R_1 ;

2) рассчитать величину удельного сопротивления грунта по формуле

$$\rho = 2\pi L R_1 \alpha, \text{ Ом}\cdot\text{м},$$

где L – расстояние между двумя любыми электродами прибора М-416, равное 30 м.

α – коэффициент модели лабораторного стенда, равный 0,1.

– Рассчитать сопротивление растеканию тока одиночно трубчатого заземлителя, Ом, по формуле:

$$R_0 = \frac{\rho \cdot \Psi}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H+l}{4H-l} \right),$$

где l – длина заземлителя, равная 3 м;

d – диаметр трубы заземлителя, равный 0,0254 м;

H – расстояние от поверхности земли до середины заземлителя, равное $h+l/2$, где $h = 0,8$ м;

Ψ – коэффициент сезонности (берется по таблице 3.1.4 в зависимости от варианта).

Таблица 3.1.4. Значение коэффициента сезонности

Параметр характеристики климатической зоны	Климатические зоны, зависящие от средней многолетней низкой температуры и продолжительности замерзания вод			
Коэффициент сезонности для вертикального электрода длиной 3 м	1	2	3	4
	1,7	1,5	1,3	1,1

– Рассчитать количество одиночных заземлителей, необходимых, чтобы величина сопротивления заземлителя электроустановки R_3 была ниже допустимой ($R_{доп}$).

Для этого сначала рассчитывается предварительное количество заземлителей n' по приближенной формуле без учета полосы связи:

$$n' = \frac{R_0}{R_{доп} \cdot \eta},$$

где η – коэффициент использования, показывающий, насколько возрастает сопротивление одиночного заземлителя R_0 при использовании его в группе (в этом случае оно будет R_0 / η , принимаем $\eta = 0,6$).

Затем, зная n' по таблице 3.1.5, определяем коэффициенты использования вертикальных заземлителей η_v и полосы связи η_n .

После этого, пользуясь полученными значениями η_v и η_n , производим уточненный подсчет числа заземлителей n по формуле:

$$n = \frac{R_0 \cdot \eta_n}{R_{доп} \cdot R_n \cdot \eta_v} \left(\frac{R_n}{\eta_n} - R_{доп} \right),$$

где R_n – сопротивление растеканию тока горизонтальной полосы связи.

Таблица 3.1.5. Значения коэффициентов η_v и η_n

Число размещенных в группе вертикальных заземлителей / Коэффициенты использования при $a = 1$	2	4	6	10	20
Коэффициент использования вертикальных заземлителей η_v	0,85	0,69	0,61	0,55	0,47
Коэффициент использования полосы связи η_n	0,85	0,45	0,40	0,34	0,27

Примечание: a – отклонение расстояния между одиночными заземлителями.

С учетом исходных данных вариантов и ожидаемого количества одиночных вертикальных заземлителей его можно принять (для упрощения расчетов) ~ 40 Ом.

Полученное дробное значение n округляем до большего целого числа.

– Определить ожидаемое сопротивление заземления электроустановки $R_{з\text{расч}}$ по формуле:

$$R_{з\text{расч}} = \frac{R_0 \cdot R_n}{R_0 \cdot \eta_n + R_n \cdot \eta_v \cdot n}.$$

– Собрать схему заземления электроустановки, для чего:

1) включить тумблерами T_1-T_{10} необходимое количество одиночных вертикальных заземлителей;

2) установить по шкале потенциометров включенных заземлителей расчетное значение R_0 / η_v .

3) для учета влияния полосы связи установить по шкалам потенциометра η_n необходимое значение коэффициента использования полосы связи (из таблицы 3.1.5).

Подключить прибор М-416 к гнездам R_x , $R_{зонд}$, $R_{всп}$ и измерить сопротивление заземления электроустановки $R_з$.

Сравнить полученное значение $R_з$ с $R_{доп}$ и сделать вывод о возможности эксплуатации электроустановок при данном $R_з$. Задача (по п. 6) считается решенной, если выполнено условие $R_з \leq R_{доп}$.

Сравнение значений $R_{з\text{расч}}$ и $R_з$ позволит судить о точности и качестве проделанной работы.

Установить в исходное положение выключатели и ручки потенциометров правой стороны лабораторного стенда и отключить от него прибор М-416.

7. Оформить и представить преподавателю результаты проделанной работы (форма отчета дана в приложении).

Правила техники безопасности при выполнении работы

1. Перед началом работ на стенде произвести его визуальный осмотр, о выявленных неисправностях сообщить преподавателю. Категорически запрещается самостоятельное устранение неисправностей.
2. Запрещается самостоятельно включать (выключать) стенд в сеть через вилку. Все переключения делать только тумблерами B_c на панели стенда.
3. Запрещается передвигать стенд с рабочего места.
4. В целях исключения перегрузки силового трансформатора и выхода из строя стенда необходимо включать схемы поочередно, отключая ненужные для работы.
5. При появлении дыма, запаха гари немедленно отключить лабораторную установку и сообщить преподавателю о случившемся.
6. По окончании работы обязательно убедиться, что стенд отключен от сети и сдать рабочее место преподавателю.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные причины воздействия электрического тока на человека?
2. Что называется защитным заземлением?
3. В чем заключается задача заземления?
4. Какие требования предъявляются к защитному заземлению?
5. В каких электрических сетях применяется защитное заземление?
6. Какие виды заземлений используются в электроустановках?
7. Что называется заземляющим устройством?
8. От чего зависит сопротивление заземления?
9. От чего зависит сопротивление грунта?
10. Что такое удельное сопротивление грунта?
11. Какова периодичность проверки сопротивления заземления?
12. Что включает в себя программа испытаний заземления?
13. Каковы нормативные сопротивления заземляющих устройств в электроустановках до 1 кВ?
14. Каковы нормативные сопротивления заземляющих устройств в электроустановках выше 1 кВ?

Литература

1. ГОСТ 12.0.003–74* Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. Переиздание. Москва: Изд-во стандартов, 2004.
2. ГОСТ 12.1.009-76. ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения. Переиздание. Москва: Изд-во стандартов, 1999.
3. ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд., 2002.
4. Беляков Г. И. Безопасность жизнедеятельности на производстве (Охрана труда): учебник для вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2006. 512 с.
5. Курдюмов В. И., Зотов Б. И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. Москва: Юрайт, 2019. 249 с.
6. Наумова Т. В. Расчет защитного заземления: метод. указания к практическим занятиям. Москва: МГТУ ГА, 2010. 20 с.
7. <http://www.zandz.ru/> – Сайт проекта «Заземление и защита».

ОТЧЕТ по лабораторной работе «Исследование защитного заземления электроустановок»

Цель работы _____

1. Исходные данные к варианту

Вид сети _____

Мощность источника питания $P_{ист}$, кВА _____

Допустимое сопротивление заземления, $R_{доп}$, Ом _____

Вид грунта _____

Климатическая зона _____

2. Исследование влияния сопротивления заземления на напряжение прикосновения $U_{пр}$ и величину тока, проходящего через человека $I_{чел}$.

Таблица 1. Влияние сопротивления заземления на напряжение прикосновения и ток

R_3 , Ом					
$U_{пр}$, В					
$I_{чел}$, мА					

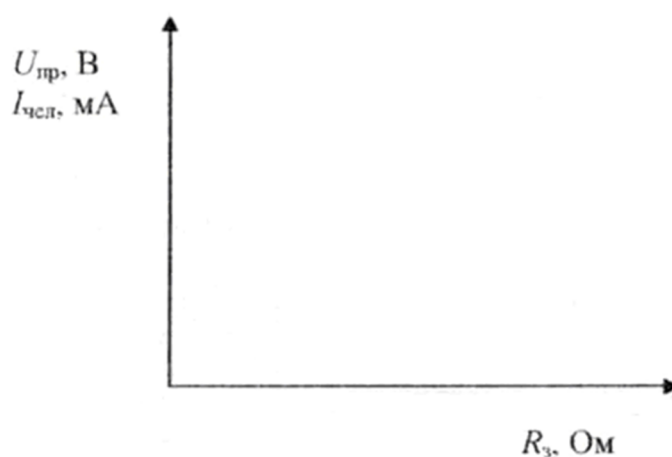


Рисунок 1. Зависимость тока, проходящего через человека, от величины сопротивления заземления

Вывод: предельно допустимый (отпускающий) ток, проходящий через тело человека,

$I_{чел} = 6$ мА, получен при $R_3 =$ _____ Ом;

$U_{пр}$ при этом было _____ В;

сопротивление заземления R_3 должно быть менее _____ Ом.

3. Определение сопротивления заземления электроустановки

3.1. Определение величины удельного сопротивления грунта, Ом*м:

$$\rho = 2\pi \cdot L \cdot R \cdot \alpha.$$

$$R_0 = \frac{\rho \cdot \Psi}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H+l}{4H-l} \right).$$

3.2. Расчет сопротивления одиночного трубчатого заземлителя, Ом:

3.3. Предварительный расчет количества заземлителей:

$$n' = \frac{R_0}{R_{\text{доп}} \cdot \eta}.$$

3.4. Уточненный расчет количества заземлителей:

$$n = \frac{R_0 \cdot \eta_{\text{п}}}{R_{\text{доп}} \cdot R_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{в}}} \left(\frac{R_{\text{п}}}{\eta_{\text{п}}} - R_{\text{доп}} \right).$$

3.5. Расчет ожидаемого сопротивления заземления электроустановки, Ом:

$$R_{\text{з расч}} = \frac{R_0 \cdot R_{\text{п}}}{R_0 \cdot \eta_{\text{п}} + R_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot n}.$$

3.6. Измерение сопротивления заземления электроустановки.

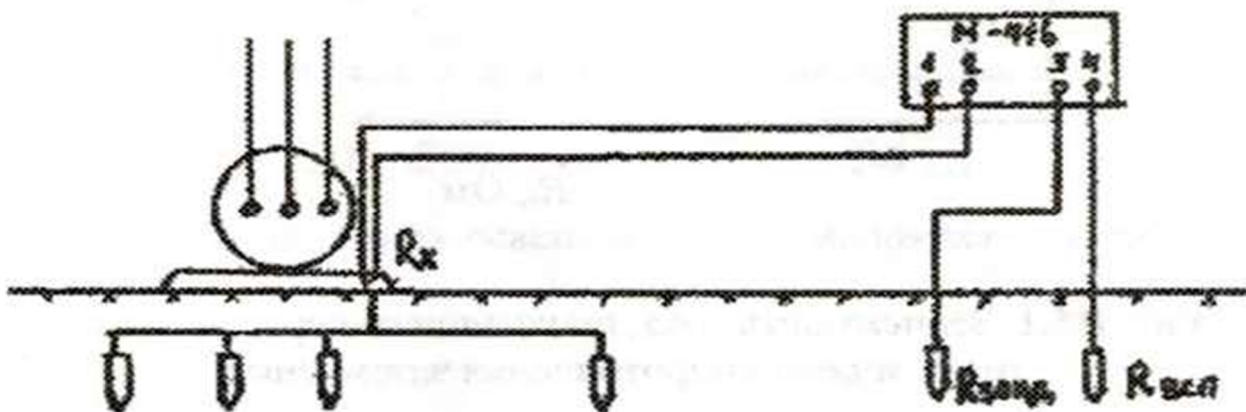


Рисунок 2. Схема измерения

Измеренное сопротивление $R_3 = \underline{\hspace{2cm}}$ Ом

3.7. Вывод:

- измеренное R_3 (меньше, больше, равно) $R_{\text{доп}}$, поэтому электроустановку эксплуатировать (можно, нельзя);
- расхождение между $R_{3\text{расч}}$ и R_3 составляет _____ Ом, следовательно, точность выполнения работы _____

Выполнил: студент группы _____

Работу принял _____

3.2. Исследование эффективности защитного заземления и зануления

Цель: Познакомиться с факторами, влияющими на опасность поражения человека электрическим током; исследовать эффективность защитного заземления и зануления.

Приборы и оборудование: лабораторный стенд ОТ 10.

Основные теоретические 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 его прохождения через ткани.

Статистика электротравматизма показывает, что до 85% смертельных поражений людей электрическим током приходится в результате прикосновения пострадавшего непосредственно к токоведущим частям, находящимся под напряжением. При этом в сетях с номинальным напряжением до 1000 В величина тока, протекающего через человека, а следовательно, и опасность поражения зависит от условий включения человека в электрическую цепь и характеристики сети (режима нейтрали).

В зависимости от режима нейтрали и наличия нулевого провода различают следующие трехфазные сети (рисунок 3.2.1): а) трехпроводные с изолированной нейтралью; б) трехпроводные с заземленной нейтралью; в) четырехпроводные с изолированной нейтралью; г) четырехпроводные с заземленной нейтралью.

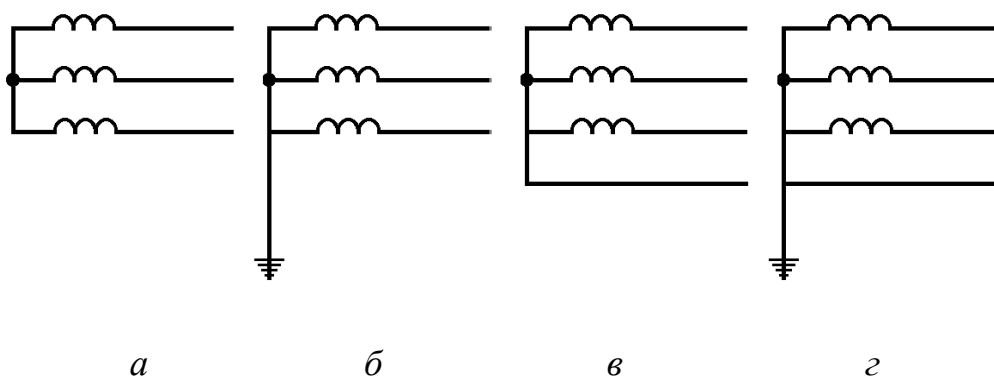


Рисунок 3.2.1. Конструктивное исполнение трехфазной электрической сети

Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) предусмотрено применение при напряжениях до 1000 В лишь двух сетей: **трехпроводной с изолированной нейтралью** и **четырёхпроводной с заземленной нейтралью**. Две другие электрические сети практически применяются очень редко.

При **двухфазном** включении (рисунок 3.2.2), независимо от вида сетей, человек попадает под полное линейное напряжение сети, и величина тока, проходящего через тело человека, определяется по формуле

$$J_{\text{чел}} = U_{\text{л}} / R_{\text{чел}} , \quad (3.2.1)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение сети, В; $R_{\text{чел}}$ – условное сопротивление тела человека, 1000 Ом.

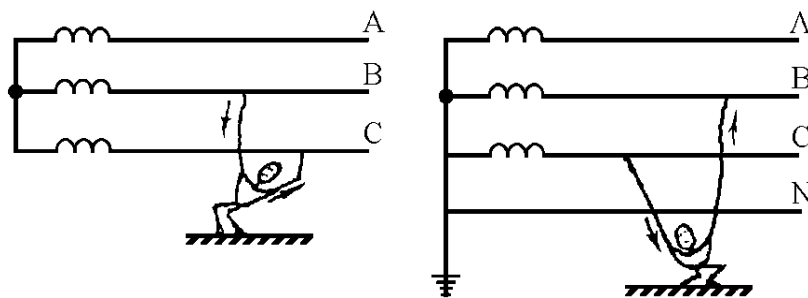


Рисунок 3.2.2. Схема двухфазного включения человека в электрическую сеть

При **однофазном** включении в сеть с изолированной нейтралью (рисунок 3.2.3, а) величина тока, проходящего через человека, определяется по формуле

$$J_{\text{чел}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} R_{\text{чел}} + (R_{\text{из}} / \sqrt{3})} , \quad (3.2.2)$$

где $R_{\text{из}}$ – сопротивление изоляции фаз, Ом; $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение, В.

Условия безопасности в этом случае находятся в прямой зависимости от сопротивления изоляции фаз относительно земли: чем лучше изоляция, тем меньше ток, протекающий через человека. Однако в аварийном режиме, когда одна из фаз замыкает на землю или корпус оборудования (рисунок 3.2.3, б) или сопротивление изоляции мало, человек может оказаться под полным линейным напряжением.

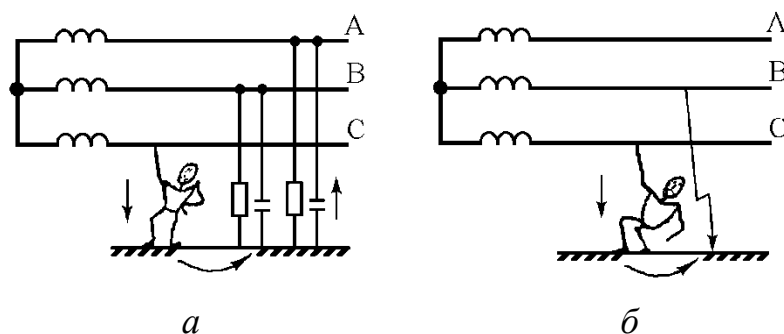


Рисунок 3.2.3. Схема однофазного включения в сеть с изолированной нейтралью: *а* – при хорошей изоляции; *б* – при аварийном режиме

В этом случае через человека пройдет ток, определяемый по формуле 3.2.1.

При однофазном включении в сетях с заземленной нейтралью (рисунок 3.2.4) человек попадает под фазное напряжение независимо от величины сопротивления изоляции фаз.

Величина тока, проходящего через человека, в этом случае определяется по формуле

$$J_{\text{чел}} = U_{\text{ф}} / R_{\text{чел}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + R_{\text{о}}, \quad (3.2.3)$$

где $U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение, В; $R_{\text{об}}$ – сопротивление обуви, Ом; $R_{\text{п}}$ – сопротивление пола, Ом; $R_{\text{о}}$ – сопротивление заземления нейтрали, Ом.

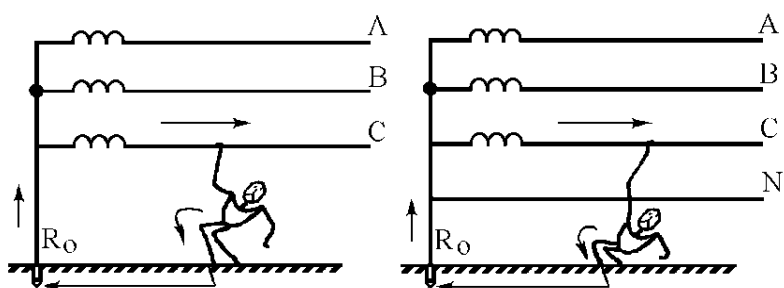


Рисунок 3.2.4. Схема однофазного включения в сетях с заземленной нейтралью

Таким образом, при прочих равных условиях однофазное включение человека в сеть с изолированной нейтралью менее опасно, чем в сеть с заземленной нейтралью. В случае аварии, когда одна из фаз замкнута на землю или сопротивление изоляции проводов мало, сеть с изолированной нейтралью может оказаться более опасной, так как в этом случае напряжение между фазой и землей в сети с изолированной нейтралью может возрасти с фазного до линейного.

Для предотвращения поражений человека электрическим током при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся в результате аварии под напряжением, применяют различные меры защиты: защитное заземление, зануление, защитное отключение и выравнивание потенциалов.

В сетях с напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью применяется защитное заземление (рисунок 3.2.5).

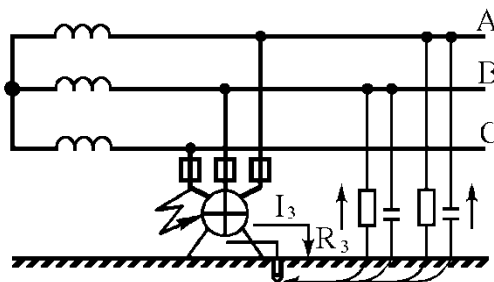


Рисунок 3.2.5. Схема защитного заземления оборудования

Ток замыкания на землю в таких сетях не превышает 10 А. В соответствии с ПУЭ сопротивление заземления не должно превышать 4 Ом. Напряжение, под которое может попасть человек в результате замыкания на корпус, определяется по формуле

$$U = J_{\text{зам}} \cdot R_3, \quad (3.2.4)$$

где $J_{\text{зам}}$ – ток замыкания на землю, А; R_3 – сопротивление заземляющего устройства, Ом.

В сетях с глухозаземленной нейтралью (рисунок 3.2.6) заземление как средство защиты не применяется.

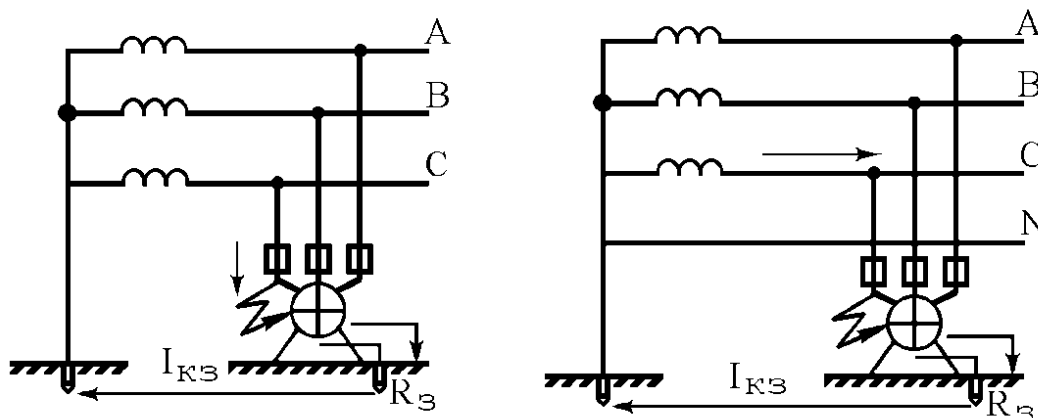


Рисунок 3.2.6. Схема заземления оборудования в сети с глухозаземленной нейтралью

В этих сетях напряжение замкнувшей фазы распределяется между сопротивлениями заземления нейтрали и заземления оборудования. Отсюда напряжение на заземленном оборудовании относительно земли зависит только от соотношения этих сопротивлений:

$$U = \frac{U_{\phi} \cdot R_3}{R_0 + R_3}, \quad (3.2.5)$$

где R_3 – сопротивление заземления оборудования, Ом; R_0 – сопротивление заземления нейтрали, Ом.

Если $R_3 = R_0$, то $U = 0,5 U_{\phi}$, В.

Следовательно, защитное заземление оборудования в сети с глухозаземленной нейтралью безопасность не обеспечивает. Поэтому на практике такие сети не применяются.

Для защиты от поражения электрическим током в сетях с глухозаземленной нейтралью применяется зануление (рисунок 3.2.7).

Занулением называется преднамеренное соединение металлических частей, корпусов оборудования, аппаратов, приборов, нормально не находящихся под напряжением, с нулевым проводом.

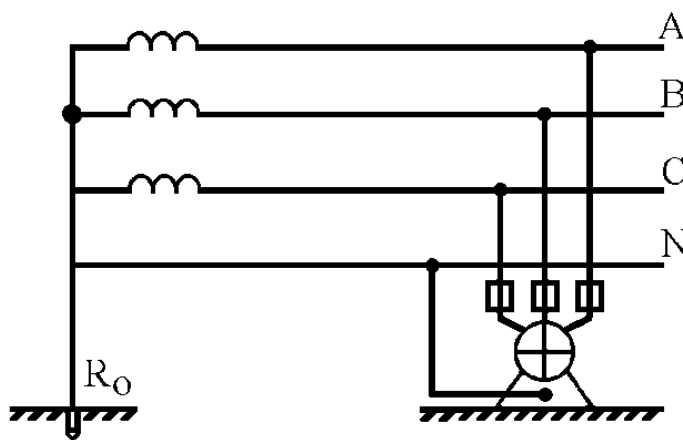


Рисунок 3.2.7. Схема зануления оборудования

Основная задача зануления состоит в том, чтобы превратить замыкание фазы на корпус в однофазное короткое замыкание и вызвать тем самым отключение поврежденного оборудования от сети. В течение всего времени, пока не сгорел предохранитель или не сработал автомат защиты, замыкание на один зануленный корпус (рисунок 3.2.8) вызывает на всем зануленном оборудовании напряжение (относительно земли), опасное для человека, которое определяется по формуле

$$U = J_{\text{к.з.}} \cdot R_{\text{н}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{н}} + R_{\phi}} \cdot R_{\text{н}} = \frac{U_{\phi}}{1 + (R_{\phi} / R_{\text{н}})}, \quad (3.2.6)$$

где $J_{\text{к.з.}}$ – ток короткого замыкания, А; R_{ϕ} – сопротивление фазного провода, Ом; $R_{\text{н}}$ – сопротивление нулевого провода, Ом;

При отношении $\frac{R_{\phi}}{R_{\text{н}}} = 0,5$, согласно ПУЭ, $U_{\text{к}} = \frac{220}{1 + 0,5} = 146 \text{ В}$.

Безопасность может быть достигнута лишь при весьма кратковременном действии тока, т. е. при быстром срабатывании защиты.

Допустимые значения тока, протекающего через тело человека, и напряжения, приложенного к телу человека, в зависимости от времени действия даны в таблице 3.2.1.

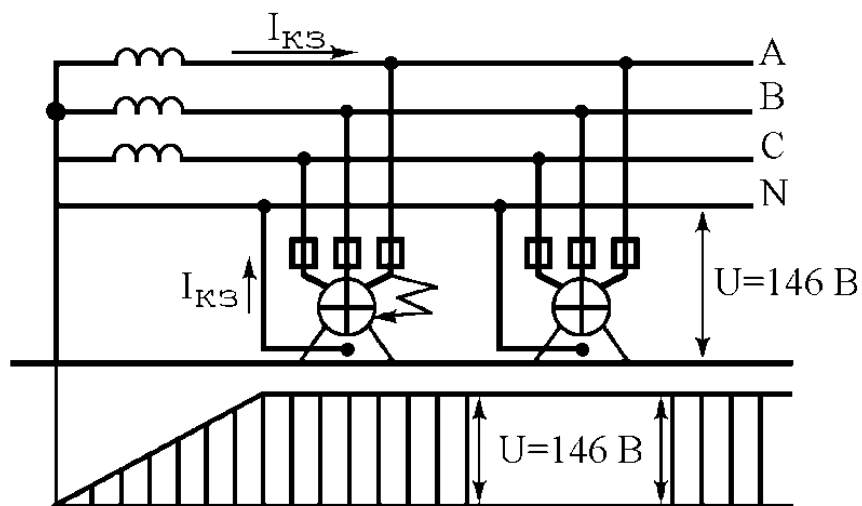


Рисунок 3.2.8. Схема замыкания фазы на корпус зануленного оборудования

Таблица 3.2.1. Зависимость допустимых значений напряжения электрического тока, приложенного к телу человека, от времени его воздействия

Время воздействия, с	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0
Допустимые напряжения, В	160	120	110	90	80	60	50

Экспериментальная часть.

Характеристика лабораторного стенда ОТ 10

Исследования степени опасности поражения человека электрическим током проводятся на лабораторном стенде ОТ 10, принципиальная схема которого приведена на рисунке 3.2.9.

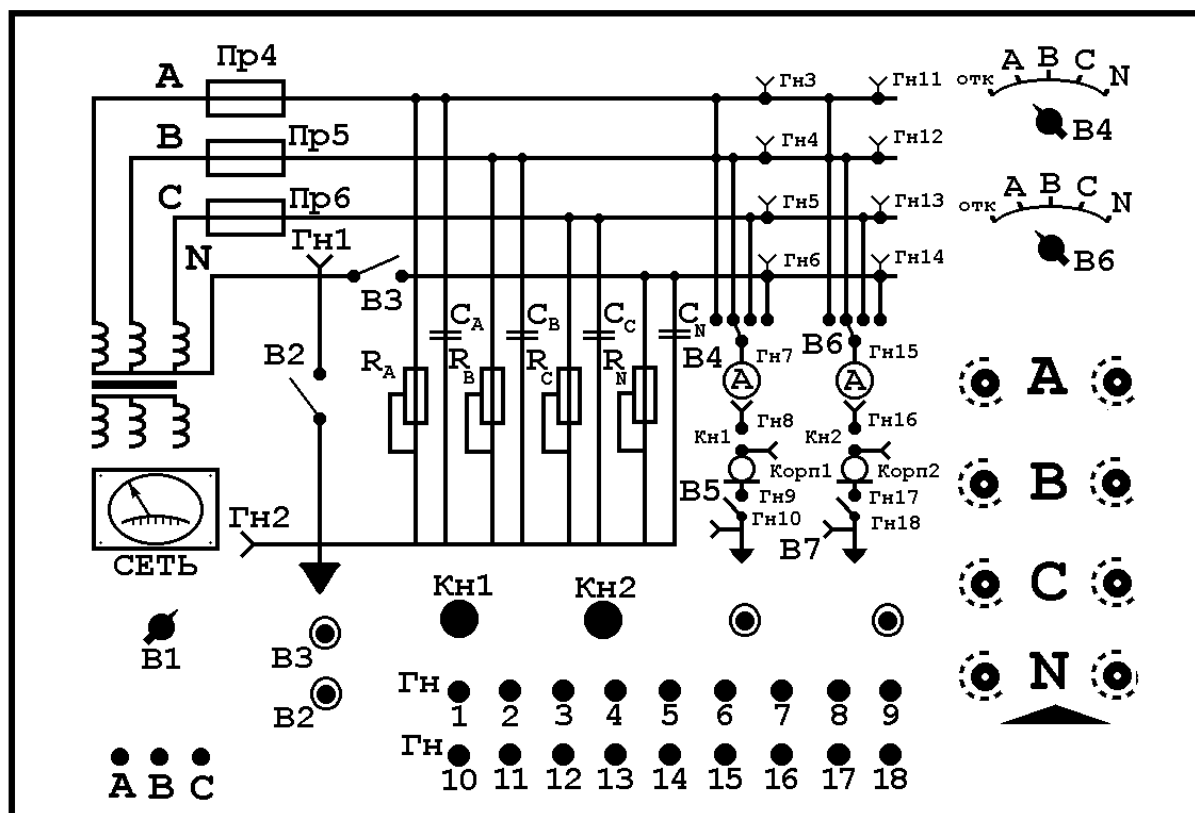


Рисунок 3.2.9. Пульт управления стендом

Стенд позволяет моделировать две исследуемые трехфазные сети с изолированной нейтралью и четырехпроводную сеть с глухозаземленной нейтралью. При этом существующие в реальных сетях распределенные сопротивления изоляции и емкости проводов по отношению к земле заменены в схеме стенда сосредоточенными сопротивлениями (R_A , R_B , R_C , R_N) и емкостями (C_A , C_B , C_C , C_N). Сопротивления и емкости проводов можно изменять с помощью регулируемых резисторов и конденсаторов, что дает возможность имитировать на стенде каждую из исследуемых сетей с нужными параметрами.

Порядок выполнения работы

1. Исследование сети с изолированной нейтралью и определение эффективности защитного заземления

1. Все переключатели стенда (B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7) (рисунок 3.2.9) установить в положение «Откл.» (вниз).

Переменные резисторы R_{ϕ} , имитирующие сопротивление фаз относительно земли, установить в крайнее правое положение до упора поворотом по часовой стрелке, что соответствует максимальной изоляции фаз от земли и друг от друга. Резисторы, имитирующие емкость фаз C_{ϕ} , повернуть влево до упора, что соответствует минимальной емкости цепи (цепи небольшой

протяженности, минимум ответвлений). Этим самым моделируется трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью (рисунок 3.2.10).

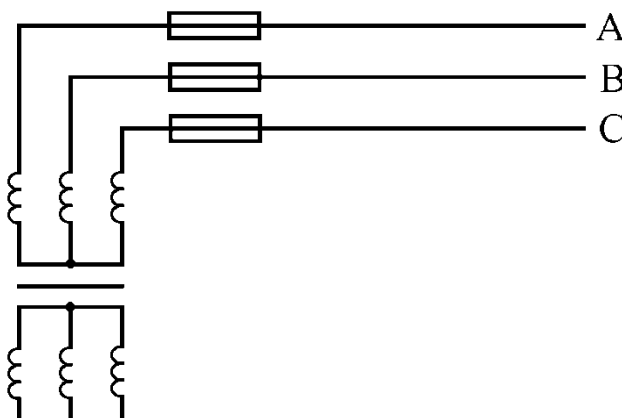


Рисунок 3.2.10. Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью

2. Подать в сеть напряжение. Для этого переключатель В1 поставить в положение «Сеть». Подачу напряжения контролировать по сигнальным лампам, включенным в соответствующие фазы (А, В, С).

3. Определить напряжение фаз относительно земли. Для этого гнездо вольтметра 11 соединить с землей (гнездо 2), а гнездо вольтметра 12 поочередно с фазами (гнезда 3, 4, 5). Записать показания вольтметра, как и последующие показания, в таблицу 3.2.2.

4. Определить напряжение на корпусе оборудования (корп. 1) относительно земли при нормальном режиме работы. Для этого гнездо вольтметра 11 соединить с землей (гнездо 2), а гнездо вольтметра 12 – с гнездом 9.

Рассчитать ток, протекающий через человека при прикосновении к корпусу оборудования, работающего в нормальном режиме, по формуле

$$J_{\text{чел}} = U / R_{\text{чел}} . \quad (3.2.7)$$

Расчетное сопротивление тела человека принять в 1000 Ом. Величина тока, смертельная для человека, 0,1 А. Сделать вывод об опасности поражения.

5. Измерить напряжение на корпусе оборудования 1 относительно земли при замыкании одной из фаз на корпус. Для этого гнездо 7 соединить с гнездом 8. Гнездо 11 вольтметра соединить с гнездом 2, а гнездо 12 – с гнездом 9 корп. 1. Переключатель В4 поставить в положение А. Нажав кнопку «Кн1», замкнуть фазу А на корпус оборудования (корп. 1). Одновременно записать показания вольтметра.

Рассчитать ток, протекающий через человека при прикосновении к корпусу оборудования в этом случае, по формуле (3.2.7). Сделать вывод об опасности поражения.

6. Выяснить влияние сопротивления изоляции фаз на величину напряжения на корпусе. Для этого, не меняя предыдущих соединений, нажатием кнопки «Кн1» замкнуть фазу А на корпус оборудования (корп. 1). Одновременно, вращая против часовой стрелки резистор R_{ϕ} , имитирующий сопротивление фазы В, проследить за изменением напряжения на корпусе оборудования. Записать максимальное напряжение. Вернуть резистор фазы В в крайнее правое положение.

Рассчитать ток, протекающий через человека в этом случае по формуле (3.2.7). Сделать вывод об опасности поражения при изменении сопротивления фаз относительно земли.

7. Выяснить влияние емкости фаз на величину напряжения на корпусе при пробое одной из фаз на корпус. Для этого, не меняя предыдущих соединений, нажать кнопку «Кн1», замкнуть фазу А на корпус оборудования (корп. 1). Одновременно, вращая по часовой стрелке резистор, имитирующий емкость C_{ϕ} фазы В, проследить за изменением напряжения на корпусе оборудования. Записать максимальное напряжение. Вернуть резистор, имитирующий емкость фазы В, в крайнее левое положение.

Рассчитать ток, проходящий через человека в этом случае, по формуле (3.2.7). Сделать вывод об опасности поражения.

8. Определить напряжение на корпусе оборудования относительно земли (корп. 1), если уже имеет место замыкание одной из фаз на землю и произошел пробой второй фазы на корпус оборудования. Для этого, не меняя предыдущих соединений, гнездо 15 соединить с гнездом 18. Переключатель В6 поставить в положение «С» (т. е. произвести замыкание фазы С на землю). Нажав кнопку «Кн1», замкнуть фазу А на корпус оборудования. Записать напряжение на корпусе оборудования (корп. 1) относительно земли.

Рассчитать ток, протекающий через человека в этом случае, по формуле (3.2.7). Сделать вывод об опасности поражения.

9. Выяснить влияние сопротивления изоляции фаз на величину напряжения на корпусе оборудования относительно земли, если уже имеет место замыкание одной из фаз на землю и произошел пробой второй фазы на корпус. Измерения проводить аналогично п. 6. Рассчитать ток, протекающий через человека. Сделать вывод.

10. Выяснить влияние емкости фаз на величину напряжения на корпусе оборудования относительно земли, если уже имеет место замыкание одной фазы на землю и произошел пробой второй фазы на корпус. Измерения проводить аналогично п. 7. Рассчитать ток, протекающий через человека. Сделать соответствующий вывод.

Разъединить гнезда 15 и 18. Переключатель В6 поставить в положение «Откл.».

11. Заземлить корпус оборудования. Для этого включить переключатель В5.

12. Определить напряжение на корпусе заземленного оборудования относительно земли при замыкании одной из фаз на корпус. Для этого, нажав кнопку «Кн1», замкнуть фазу А на корпус. Записать показания вольтметра.

Рассчитать ток, протекающий через человека при замыкании фазы на заземленный корпус, по формуле (3.2.7). Сделать вывод об опасности поражения человека при наличии защитного заземления.

13. **Обесточить сеть! Переключатели В4 и В5 поставить в положение «Откл.». Отсоединить провода.**

2. Исследование сети с глухозаземленной нейтралью и определение эффективности защитного заземления и зануления

1. Смоделировать на стенде трехфазную четырехпроводную сеть с глухозаземленной нейтралью (рисунок 3.2.11). Для этого необходимо включить переключатели В2 и В3.

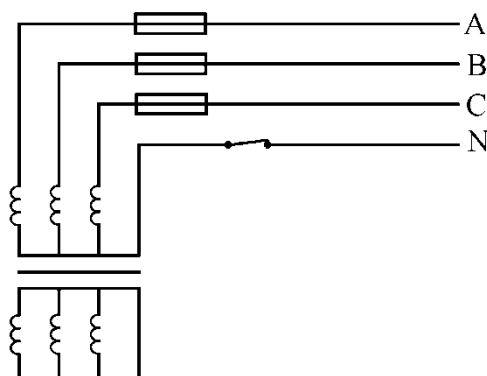


Рисунок 3.2.11. Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью

2. Подать в сеть напряжение. Для этого переключатель В1 поставить в положение «Сеть». Подачу напряжения контролировать по сигнальным лампам, включенным в соответствующие фазы (А, В, С).

3. Для определения напряжения фазных и нулевого проводов относительно земли гнездо вольтметра 11 соединить с землей (гнездо 2), а гнездо вольтметра 12 – поочередно с фазами и нулевым проводом (гнезда 3, 4, 5, 6).

4. Определить напряжение на корпусе оборудования (корп. 1) относительно земли при нормальном режиме работы. Для этого гнездо вольтметра 11 соединить с землей (гнездо 2), а гнездо вольтметра 12 – с гнездом 9.

Рассчитать ток, протекающий через человека при прикосновении к корпусу оборудования, работающего в нормальном режиме, по формуле (3.2.7). Сделать вывод об опасности поражения.

5. Измерить напряжение на корпусе оборудования относительно земли при замыкании одной из фаз на корпус. Для этого гнездо 7 соединить с гнездом 8.

Гнездо вольтметра 11 соединить с гнездом 2, а гнездо 12 – с гнездом 9 корп. 1. Переключатель В4 поставить в положение А. Нажав кнопку «Кн1», замкнуть фазу А на корпус оборудования (корп. 1). Одновременно снять показания вольтметра.

Рассчитать ток, протекающий через человека в этом случае, по формуле (3.2.7). Сделать вывод об опасности поражения.

6. Выяснить влияние сопротивления изоляции фаз на величину напряжения на корпусе оборудования при пробое одной из фаз на корпус. Для этого, не меняя предыдущих соединений, нажав кнопку «Кн1», замкнуть фазу А на корпус оборудования (корп. 1). Одновременно, вращая против часовой стрелки резистор R_{ϕ} , имитирующий сопротивление фазы В, проследить за изменением напряжения на корпус оборудования. Сделать соответствующий вывод.

7. Выяснить влияние емкости фаз на величину напряжения на корпусе оборудования при пробое одной из фаз на корпус. Для этого, не меняя предыдущих соединений, нажав кнопку «Кн1», замкнуть фазу на корпус оборудования. Одновременно, вращая по часовой стрелке резистор, имитирующий емкость C_{ϕ} фазы В, проследить за изменением напряжения на корпусе оборудования. Сделать вывод.

8. Заземлить корпус оборудования. Для этого включить переключатель В5.

9. Определить напряжение на корпусе заземленного оборудования относительно земли при замыкании одной из фаз на корпус. Для этого, нажав кнопку «Кн1», замкнуть фазу А на корпус. Записать показания вольтметра.

Рассчитать ток, протекающий через человека в этом случае, по формуле (3.2.7). Сделать вывод об опасности поражения человека при наличии защитного заземления.

10. Отсоединить корпус оборудования от заземляющего устройства. Для этого выключить переключатель В5.

11. Занулить корпус оборудования. Для этого отключить вольтметр, разъединив гнезда 9 и 12, 2 и 11. Соединить гнезда 6 и 9.

12. Замкнуть одну из фаз на зануленный корпус оборудования. Фазу, в цепи которой сработала защита, контролировать по сигнальной лампочке.

13. С помощью секундомера определить время срабатывания защиты. Сделать вывод о надежности защиты человека занулением корпусов оборудования.

В содержании отчета должны быть приведены табличные данные, полученные в эксперименте, и расширенные выводы об опасности поражения человека электрическим током в зависимости от конструкции сети, режима нейтрали и различных аварийных ситуаций.

Таблица 3.2.2. Результаты измерений

Режимы работы		Схема исследуемой сети	
		трехфазная трехпроводная электрическая сеть с изолированной нейтралью	трехфазная четырёхпро- водная сеть с заземленной нейтралью
Напряжение фаз относительно земли		$U_A =$ $U_B =$ $U_C =$	$U_A =$ $U_B =$ $U_C =$ $U_N =$
Нормальный режим работы оборудования	Напряжение на корпусе относительно земли, В	$U_k =$	$U_k =$
	Величина тока, проходящего через человека при прикосновении к корпусу, А	$J_{чел} =$	$J_{чел} =$
Аварийный режим (одна из фаз замыкает на корпус). Изоляция хорошая	Напряжение на корпусе относительно земли, В	$U_k =$	$U_k =$
	Величина тока, проходящего через человека при прикосновении к корпусу, А	$J_{чел} =$	$J_{чел} =$
Аварийный режим (одна из фаз замыкает на корпус)	Напряжение на корпусе относительно земли при уменьшении сопротивления изоляции одной из оставшихся фаз, В	$U_k =$	$U_k =$
	Величина тока, проходящего через человека при прикосновении к корпусу в этом случае, А	$J_{чел} =$	$J_{чел} =$
	Напряжение на корпусе относительно земли при увеличении емкости электрической сети, В	$U_k =$	$U_k =$
	Величина тока, проходящего через человека в этом случае, А	$J_{чел} =$	$J_{чел} =$

Продолжение таблицы 3.2.2

Аварийный режим (одна из фаз замыкает на корпус и произошел пробой второй фазы на землю)	Напряжение на корпусе относительно земли, В	$U_k =$	В этом случае произойдет короткое замыкание между нулевым проводом и фазой, пробившей на землю
	Величина тока, проходящего через человека в этом случае, А	$J_{чел} =$	
	Напряжение на корпусе относительно земли при уменьшении сопротивления изоляции оставшейся фазы, В	$U_k =$	
	Величина тока, проходящего через человека в этом случае, А	$J_{чел} =$	
	Напряжение на корпусе относительно земли при увеличении емкости электрической сети, В	$U_k =$	
	Величина тока, проходящего через человека в этом случае, А	$J_{чел} =$	
Аварийный режим (одна из фаз замыкает на корпус), корпус оборудования заземлен	Напряжение на корпусе относительно земли, В	$U_k =$	$U_k =$
	Величина тока, проходящего через человека, А	$J_{чел} =$	$J_{чел} =$
Аварийный режим (одна из фаз замыкает на корпус), корпус оборудования заземлен	Фаза, замыкание которой произошло на корпус (А, В, С)	—	
	Фаза, в цепи которой сработала защита	—	
	Время срабатывания, с	—	

Контрольные вопросы

1. В каких случаях при прикосновении к электрическому оборудованию возможно поражение электрическим током?
2. От каких факторов зависит величина напряжения, под которое попадает человек, прикоснувшись к корпусу оборудования, находящегося под напряжением?

3. Какая из разрешенных ПУЭ к применению сетей менее опасна при однофазном включении в нее человека?
4. В каких случаях применяется защитное заземление оборудования?
5. Эффективность работы заземляющего устройства.
6. Величина сопротивления заземляющего устройства.
7. В каких сетях применяется защитное зануление оборудования?
8. В чем заключается защитное действие зануления оборудования?
9. Как меняется в случае однофазного замыкания на корпус оборудования в трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью напряжение на корпусе оборудования по отношению к земле при уменьшении величины сопротивления изоляции оставшихся фаз?
10. Как меняется опасность поражения электрическим током при заземлении корпуса электрооборудования в трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью?

Литература

1. Лабораторный практикум по охране труда / под ред. Н. Д. Золотницкого. Москва: Высшая школа, 1979. 215 с.
2. Медведев В. С., Попов Б. Г. Лабораторные работы по курсу «Охрана труда». Москва: Химия, 1972. 112 с.
3. Матуско Ф. Я. Защитные устройства в электроустановках. Москва: Энергия, 1973. 198 с.
4. Стенд для исследования защитных заземляющих устройств. ОТ 10. Паспорт. Одесса, 1976.

3.3. Исследование процесса образования и накопления зарядов статического электричества

Цель работы: исследовать процесс образования электрических зарядов при пневматическом транспортировании диэлектрических материалов; научиться оценивать опасность искровых разрядов с заряженных поверхностей материалов, оборудования.

Приборы и оборудование: лабораторная установка, измеритель электрических зарядов ПК2-3А.

Общие теоретические положения

Интенсификация технологических процессов, увеличение скоростей транспортировки и переработки твердых и жидких диэлектрических материалов приводят к появлению зарядов статического электричества на перерабатываемом материале и поверхностях оборудования.

В основе образования статического электричества лежат очень сложные процессы, зависящие от множества факторов. Наиболее распространена гипотеза **контактной электризации** веществ и материалов. Согласно этой гипотезе, электризация возникает при соприкосновении двух разнородных веществ в силу неуравновешенности атомных и молекулярных сил на поверхности соприкосновения. При этом происходит перераспределение электронов или ионов веществ с образованием **двойного электрического слоя** с противоположными знаками зарядов. Величина контактной разности потенциалов зависит от диэлектрических свойств соприкасающихся поверхностей, их состояния, величины давления, сжимающего поверхности, от влажности и температуры поверхности и окружающей среды.

При разделении поверхностей, между которыми возникла контактная разность потенциалов, каждая из них сохраняет свой заряд, а контактная разность потенциалов по мере уменьшения емкости между поверхностями может достичь десятков и сотен киловольт, и при достижении порогового значения, определяемого электрической прочностью газовой среды, возникает **искровой заряд** (рисунок 3.3.1).

Основными величинами, характеризующими способность различных веществ электризоваться, являются их **диэлектрическая проницаемость ϵ** и **удельное сопротивление ρ** . Материалы с одинаковым удельным электрическим сопротивлением, а также с ρ менее 10^7 Ом·см практически не электризуются.

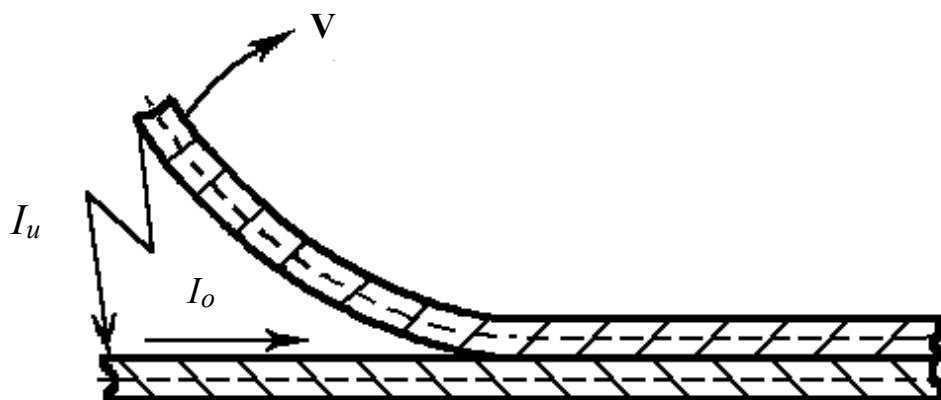


Рисунок 3.3.1. Схема электрических явлений при разделении поверхностей контакта твердых тел:

V – скорость разделения поверхностей; I_o – ток, обусловленный омической проводимостью разделяющихся поверхностей; I_u – ток ионизации в зазоре между разделяющимися поверхностями

Величина заряда на поверхности материала зависит также от скорости разделения поверхностей, т. е. от интенсивности технологического процесса.

Основная опасность электризации в производственных процессах – возможность воспламенения горючей смеси искровыми разрядами. Однако разряд статического электричества, ощущаемого человеком как болезненный укол, может явиться косвенной причиной несчастного случая.

Воспламеняющая способность искровых разрядов зависит от их энергии W , Дж, которая при разряде с проводящей поверхности может быть рассчитана по формуле

$$W = 0,5 \cdot CU^2,$$

где C – электрическая емкость заряженной поверхности, Ф; U – потенциал заряженной поверхности, В.

Условием воспламенения взрывоопасной смеси искрой разряда статического электричества является превышение энергии, выделяемой при искровом разряде, над минимальной энергией, необходимой для воспламенения смеси.

Минимальная энергия воспламенения различных горючих смесей приведена в таблицах 3.3.1 и 3.3.2.

Таблица 3.3.1. Минимальная энергия, необходимая для воспламенения паро- и газозвдушных смесей

Вещества, входящие в состав смеси	Минимальная энергия воспламенения, мДж
Сероуглерод	0,009
Водород	0,019
Оксид этилена	0,06
Ацетилен	0,19
Бензол	0,2
Ацетон	0,6
Этиловый спирт	0,65
Бутан, этан	0,25
Пропан	0,26
Метан	0,28
Этиловый спирт	0,45
Сероводород	7,0
Оксид углерода	8,0

Таблица 3.3.2. Минимальная энергия, необходимая для воспламенения некоторых пылевоздушных смесей

Вещества, входящие в состав смеси	Минимальная энергия воспламенения, мДж
Стеарат алюминия, ацетилцеллюлоза, сера, цирконий	15,0
Древесная мука	20,0
Магний	20,0
Резина	30,0
Уголь	40,0
Алюминий	50,0
Казеин	60,0
Полиэтилен	80,0
Полистирол	120,0

В производственных условиях часто встречаются случаи возникновения разрядов между заряженным диэлектриком и заземленным проводником. Энергия искрового разряда с заряженной диэлектрической поверхности значительно меньше энергии разряда с проводящей поверхности, т. к. разряжается не вся заряженная поверхность диэлектрика, а лишь небольшой участок малой емкости, для которого напряженность электрического поля достигла пробивного значения. Энергия разряда с диэлектрической поверхности может быть определена лишь экспериментально.

На воспламеняющую способность электрической искры влияет ряд факторов. Наиболее существенные из них – концентрация, температура и давление взрывоопасной смеси.

Предупреждение накопления зарядов статического электричества на проводящих объектах достигается заземлением оборудования. При этом сопротивление заземляющих устройств не должно превышать 100 Ом.

Для предотвращения накопления зарядов статического электричества на диэлектриках применяют индукционные, высоковольтные и радиоизотопные нейтрализаторы.

Экспериментальная часть

Описание лабораторной установки и измерительной техники

Лабораторная установка для исследования процесса образования и накопления зарядов статического электричества выполнена из органического стекла и работает по замкнутому циклу движения твердой фазы (рисунок 3.3.2). В качестве транспортируемого материала используется гранулированный полипропилен или другой диэлектрический материал.

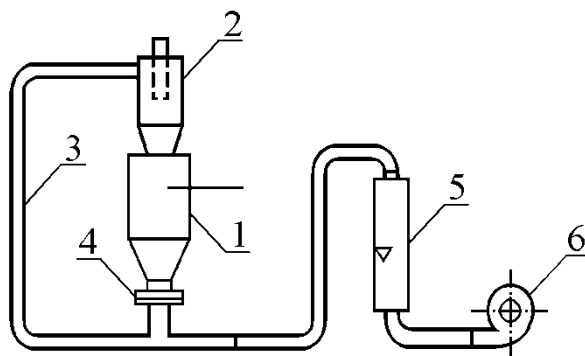


Рисунок 3.3.2. Схема лабораторной установки:

1 – бункер; 2 – циклон; 3 – трубопровод; 4 – шибер; 5 – ротаметр;
6 – воздуходувка

Частицы транспортируемого материала захватываются потоком воздуха и по трубопроводу 3 подаются в циклон 2, где происходит отделение их от воздушного потока. Ударяясь о стенки трубопровода и циклона, частицы материала приобретают электрический заряд и, ссыпаясь в бункер 1, передают его металлической футеровке бункера.

Измеритель электрических зарядов ПК2-3А (рисунок 3.3.3) предназначен для измерения потенциала поверхностной плотности и определения знака заряда.

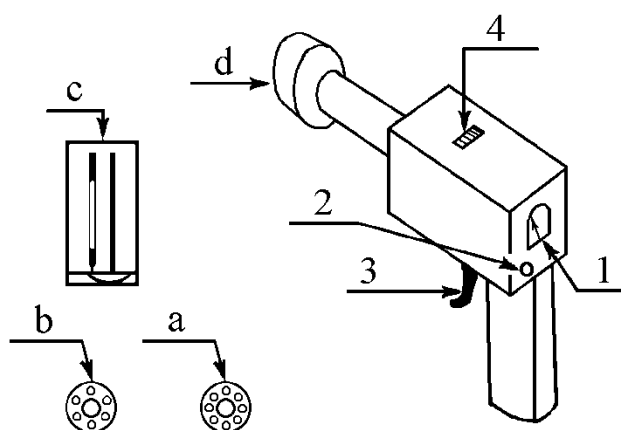


Рисунок 3.3.3. Измеритель электрических зарядов:

1 – стрелочный прибор; 2 – кнопка; 3 – курок; 4 – регулятор; *a* – насадка № 3; *b* – насадка № 2; *c* – насадка № 1; *d* – насадка № 4

Пределы измерения потенциала – от 0 до 50 кВ с поддиапазонами: 0–1,0 кВ; 10–50 кВ. Пределы измерения плотности заряда – от 0 до 20 мкКл/м. Прибор имеет две сменные насадки и два дополнительных диска с комбинированными отверстиями для расширения пределов измерения потенциала. Насадки и диски применяются в соответствии с нижеприведенной таблицей 3.3.3.

Таблица 3.3.3. Сведения о насадках и дисках

Назначение и номер насадки	Пределы измерения потенциала, кВ	Пределы измерения плотности заряда
№ 1 × 0,1 (<i>c</i>)	0–1	–
№ 2 (диск) × 1 (<i>b</i>)	0–10	–
№ 3 (диск) × 5 (<i>a</i>)	0–59	–
№ 4 × 2 (<i>d</i>)	–	0–20 мкКл/м

При измерении поверхностной плотности заряда необходимо выполнить следующие действия.

1. На переднюю цилиндрическую часть прибора (рисунок 3.3.3) надеть насадку *d* (№ 4), предназначенную для измерения плотности заряда.

2. Включить питание прибора нажатием курка 3. Нажать кнопку 2 и установить стрелку на нуль посредством регулятора 4. Отпустить кнопку. При этом стрелка прибора должна остаться в середине шкалы на нуле. Если в

момент отпускания кнопки 2 стрелка отойдет от нуля, необходимо операцию установки нуля повторить.

3. Прибор с насадкой поднести к заряженной поверхности так, чтобы насадка касалась заряженной поверхности.

Для измерения потенциала заряженной поверхности необходимо на переднюю цилиндрическую часть прибора (рисунок 3.3.3) надеть насадку *с* (№ 1). При этом шкала прибора соответствует 1 кВ, и поэтому показания прибора должны быть умножены на 0,1.

Установить нуль (аналогично п. 2).

Прибор с насадкой № 1 поднести к заряженной поверхности до соприкосновения с ней. Если стрелка прибора зашкаливает, необходимо расширить пределы измерения прибора. Для этого устанавливают диск *b* (№ 2) или *a* (№ 3) в насадку *с* (№ 1). При этом цифровые показания шкалы прибора умножаются на 1 с диском *b* и на 5 – с диском *a*.

Определение знака электростатических зарядов производится по отклонению стрелки прибора от середины шкалы (нуля): вправо «+», влево «-».

Порядок выполнения работы

Исследование процесса образования электростатических зарядов

1. Включить установку в электрическую сеть, подачу напряжения контролировать по индикаторной лампочке.

2. Установить скорость воздушного потока в трубопроводе, равную скорости витания транспортируемого материала (расход воздуха – около 5000 л/мин – контролируется по показаниям ротаметра). Скорость воздушного потока регулируется изменением напряжения, подаваемого на электродвигатель воздуходувки.

3. Приоткрыть шибер трубопровода подачи материала из бункера установки.

4. Произвести измерение поверхностной плотности зарядов, потенциалов и знака заряда на поверхности бункера.

5. Увеличить скорость воздуха и количество транспортируемого материала, установив расход воздуха соответственно 600, 700 л/мин и приоткрыв шибер. Произвести аналогичные измерения. Результаты измерений занести в таблицу 3.3.4.

Таблица 3.3.4. Поверхностная плотность зарядов, потенциалов и знак заряда на поверхности бункера

Расход воздуха, л/мин	Знак заряда	Плотность зарядов, мкКл/м	Потенциал, кВ
500			
600			
700			

6. Построить графики зависимости поверхностной плотности заряда и величин потенциала от скорости воздуха и количества транспортируемого материала. Сделать соответствующие выводы.

7. Отключить установку.

Оценка опасности искровых разрядов с заряженных поверхностей материалов, оборудования

Приняв емкость разрядной цепи (бункер) $C_{\text{раз}} = 0,5 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$, рассчитать энергию разряда статического электричества $W_{\text{раз}}$ для каждого измеренного значения потенциала по формуле

$$W_{\text{раз}} = 0,5 \cdot C_{\text{раз}} U^2,$$

где U – максимальное значение потенциала при определенном расходе воздуха, В.

Из таблиц 3.3.1, 3.3.2 определить вещества, взрывоопасные смеси которых с воздухом могут воспламениться от данных разрядов статического электричества.

В отчете привести конкретные выводы об опасности статического электричества.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит опасность разряда статического электричества?
2. Какие величины можно измерить с помощью прибора ПК2-3А?
3. Единицы измерения поверхностной плотности заряда и энергии разряда статического электричества.
4. Причина образования статического электричества. По какой формуле можно определить энергию разряда статического электричества?
5. От чего зависит величина заряда на поверхности материала?
6. В чем заключается опасность разряда статического электричества? Основные пути его нейтрализации.
7. Какие материалы наиболее подвержены электризации?

Литература

1. ГОСТ 12.1.018-79. ССБТ. Статическое электричество. Искробезопасность. Общие требования. Москва: Изд-во стандартов, 1980.
2. Методическое руководство к лабораторным работам по охране труда / под ред. П. А. Долина. Москва: Высшая школа, 1973. 48 с.
3. Прибор для измерения электрических зарядов ПК2-3А. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Ленинград, 1982.
4. Черкасов В. Н. Защита взрывоопасных сооружений от молнии и статического электричества. Москва: Стройиздат, 1984. 42 с.

4. Оценка микроклиматических условий среды обитания.

Нормализация микроклиматических параметров

Содержание работы: студенты при помощи приборов измеряют параметры микроклимата в аудитории, на рабочих местах; сравнивают полученные результаты с санитарно-гигиеническими требованиями; делают вывод о характере микроклимата; разрабатывают мероприятия по нормализации микроклиматических параметров.

Цель работы: ознакомление с нормированием микроклиматических условий на рабочем месте и получение навыков работы с приборами для измерения параметров микроклимата. Разработка мероприятий по нормализации микроклиматических параметров производственных помещений и среды обитания.

Задачи:

1. Изучить методику проведения замеров микроклиматических параметров.
2. Ознакомиться с приборами для измерений микроклиматических параметров производственных помещений и среды обитания.
3. Ознакомиться с нормативными документами, определяющими санитарно-гигиенические требования к микроклимату производственных помещений и среды обитания.
4. Разработать мероприятия, нормализующие микроклиматические параметры производственных помещений и среды обитания.

Оборудование:

- спиртовой термометр;
- психрометр Ассмана;
- психрометр Августа;
- чашечный анемометр;
- крыльчатый анемометр;
- барометр;
- прибор комбинированный «ТКА-ПКМ» (люксметр + яркомер + измеритель температуры и относительной влажности воздуха);
- прибор комбинированный «ТКА-ПКМ» (комплектация 24);
- измеритель индекса тепловой нагрузки среды (ТНС-индекс).

Основные теоретические сведения

Одним из необходимых условий высокой производительности труда, нормальной жизнедеятельности человека является обеспечение оптимальных микроклиматических условий на рабочем месте.

Микроклимат производственных помещений – метеорологические условия внутренней среды этих помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения.

Человек постоянно находится в процессе теплового взаимодействия с окружающей средой. Чтобы физиологические процессы в его организме протекали нормально, выделяемое организмом тепло должно отводиться в окружающую среду. И если достигнуто соответствие между количеством этой теплоты и охлаждающей способностью среды, среда характеризуется как *комфортная*. Способность человеческого организма поддерживать постоянную температуру тела при изменении параметров микроклимата и при выполнении различной по тяжести работы называется **терморегуляцией**. Микроклимат оказывает большое влияние на самочувствие и работоспособность человека. Для хорошего теплового самочувствия важно определить соотношение параметров микроклимата, и наоборот, аномальное значение параметров микроклимата приводит к перенагреву или переохлаждению.

Терморегуляция организма обеспечивается отдачей тепла, потоотделением, конвекцией, теплоизлучением. Нарушение теплообмена ведет к перегреву или переохлаждению организма, что может отрицательно влиять на здоровье и производительность труда.

Перегрев. При температуре воздуха более 30 °С и значительном тепловом излучении от нагретых поверхностей, наступает нарушение терморегуляции организма, что может привести к перегреву организма, особенно, если потеря пота в смену приближается к 5 л. Наблюдается нарастающая слабость, головная боль, шум в ушах, искажение цветного восприятия (окраска всего в красный или зеленый цвет), тошнота, рвота, повышается температура тела. Дыхание и пульс учащаются, артериальное давление вначале возрастает, затем падает. В тяжелых случаях наступает тепловой, а при работе на открытом воздухе – солнечный удар. Возможна судорожная болезнь, являющаяся следствием нарушения водно-солевого баланса и характеризующаяся слабостью, головной болью, резкими судорогами, преимущественно в конечностях. В настоящее время в производственных условиях такие тяжелые формы перегревов практически не

встречаются. При длительном воздействии теплового излучения может развиться профессиональная катаракта. Но даже если не возникают такие болезненные состояния, перегрев организма сильно сказывается на состоянии нервной системы и работоспособности человека. Исследованиями, например, установлено, что к концу 5-часового пребывания в зоне с температурой воздуха около 31 °С и влажностью 80–90% работоспособность снижается на 62%. Значительно снижается мышечная сила рук (на 30–50%), уменьшается выносливость к статическому усилию, примерно в 2 раза ухудшается способность к тонкой координации движений. Производительность труда снижается пропорционально ухудшению метеорологических условий.

Охлаждение. Длительное и сильное воздействие низких температур может вызвать различные неблагоприятные изменения в организме человека. Местное и общее охлаждение организма является причиной многих заболеваний: миозитов, невритов, радикулитов и др., а также простудных заболеваний. Любая степень охлаждения характеризуется снижением частоты сердечных сокращений и развитием процессов торможения в коре головного мозга, что ведет к уменьшению работоспособности. В особо тяжелых случаях воздействие низких температур может привести к обморожениям и даже смерти.

Влажность воздуха определяется содержанием в нем водяных паров. Различают абсолютную, максимальную и относительную влажность воздуха.

Относительная влажность W определяется отношением абсолютной влажности к максимальной и выражается в процентах:

$$W = \frac{W_{абс}}{W_{max}} \times 100 \% .$$

Абсолютная влажность $W_{абс}$ – масса водяных паров, содержащихся в данном объеме воздуха при данной температуре.

Максимальная влажность W_{max} – это максимально возможное содержание водяных паров при данной температуре.

Физиологически оптимальной является относительная влажность в пределах 40–60%. Повышенная влажность воздуха (более 75–85%) в сочетании с низкими температурами оказывает значительное охлаждающее действие, а в сочетании с высокими – способствует перегреванию организма. Относительная влажность менее 25% также неблагоприятна для человека, так как приводит к высыханию слизистых оболочек и снижению защитной деятельности мерцательного эпителия верхних дыхательных путей.

Подвижность воздуха. Человек начинает ощущать движение воздуха при его скорости примерно 0,1 м/с. Легкое движение воздуха при обычных температурах способствует хорошему самочувствию, сдувая обволакивающий человека насыщенный водяными парами и перегретый слой воздуха.

В то же время большая скорость движения воздуха, особенно в условиях низких температур, вызывает увеличение теплотерь конвекцией и испарением и ведет к сильному охлаждению организма. Особенно неблагоприятно действует сильное движение воздуха при работах на открытом воздухе в зимних условиях. Человек ощущает воздействие параметров микроклимата комплексно. На этом основано введение так называемых эффективной и эффективно-эквивалентной температур. Эффективная температура характеризует ощущения человека при одновременном воздействии температуры и движения воздуха. Номограмма для нахождения эффективно-эквивалентной температуры и зоны комфорта была построена опытным путем.

Тепловое излучение свойственно любым телам, температура которых выше абсолютного нуля.

Тепловое воздействие облучения на организм человека зависит от длины волны и интенсивности потока излучения, величины облучаемого участка тела, длительности облучения, угла падения лучей, вида одежды человека.

Наибольшей проникающей способностью обладают красные лучи видимого спектра и короткие инфракрасные лучи с длиной волны 0,78–1,4 мкм, которые плохо задерживаются кожей и глубоко проникают в биологические ткани, вызывая повышение их температуры, например длительное облучение такими лучами глаз – ведет к помутнению хрусталика (профессиональной катаракте). Инфракрасное излучение вызывает также в организме человека различные биохимические и функциональные изменения.

В производственных условиях встречается тепловое излучение в диапазоне длин волн от 100 нм до 500 мкм. В горячих цехах это в основном инфракрасная радиация с длиной волны до 10 мкм. Интенсивность облучения рабочих горячих цехов меняется в широких пределах: от нескольких десятых долей до 5,0–7,0 кВт/м². При интенсивности облучения более 5,0 кВт/м² в течение 2–5 мин человек ощущает очень сильное тепловое воздействие. Интенсивность же теплового облучения на расстоянии 1 м от источника теплоты на горновых площадках доменных печей и у мартеновских печей при открытых заслонках достигает 11,6 кВт/м².

Допустимый для человека уровень интенсивности теплового облучения на рабочих местах составляет 0,35 кВт/м² (ГОСТ 12.4.123-83 «ССБТ. Средства защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования»).

В связи с тем, что микроклимат оказывает большое влияние на самочувствие, здоровье и работоспособность человека, установлены санитарно-гигиенические требования к параметрам микроклимата в рабочей зоне. *Рабочая зона* – пространство высотой до 2 метров над уровнем пола или площадки, где находятся места постоянного или переменного пребывания работающих.

Постоянное рабочее место – место, на котором работающий находится большую часть (более 50% или более 2 часов непрерывно) своего рабочего времени. Если при этом работа осуществляется в различных пунктах рабочей зоны, постоянным рабочим местом считается вся рабочая зона.

Вне постоянных рабочих мест параметры микроклимата могут отличаться от нормируемых в рабочей зоне.

Нормирование микроклимата

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 установлены *оптимальный* и *допустимый* микроклимат рабочей зоны.

Оптимальный микроклимат – это такое сочетание параметров микроклимата, которое обеспечивает полный тепловой комфорт и высокую производительность труда.

Допустимый микроклимат – это такие условия, которые могут приводить к некоторому тепловому дискомфорту и даже временному снижению производительности труда, но не выходят за рамки адаптивных возможностей человека.

В действующем ГОСТ 12.1.005-88 параметры микроклимата регламентированы в зависимости от периодов года, категории тяжести выполняемой работы и наличия избытков тепла.

ГОСТом установлены два периода года: *теплый* и *холодный*.

Теплый периода года – когда среднесуточная температура наружного воздуха выше +10 °С.

Холодный периода года – среднесуточная температура наружного воздуха ниже +10 °С.

В зависимости от энергозатрат все работы делятся на три категории (таблица 4.1):

I – лёгкие; II – средней тяжести; III – тяжёлые.

Таблица 4.1. Категории тяжести работ

Категория работ	Энергозатраты, ккал/ч	Характеристика работы
Легкая – Ia	до 120	Работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением
Легкая – Ib	121–150	Работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением
Средний тяжести – IIa	151–200	Работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения
Средней тяжести – IIб	201–250	Работы, связанные с ходьбой. Перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением
Тяжелая – III	> 250	Работы, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий

При подведении итогов исследования необходимо проверить соответствие параметров микроклимата оптимальным значениям. В случае отклонения измеренных величин от оптимальных значений по ГОСТ 12.1.005-88 рекомендовать технические средства, обеспечивающие оптимальные параметры микроклимата.

Нормализация параметров микроклимата

Создание оптимальных метеорологических условий в производственных помещениях является сложной задачей, решение которой идет в следующих направлениях.

Рациональные объёмно-планировочные и конструктивные решения производственных зданий. Горячие цехи размещают по возможности в одноэтажных одно- и двухпролетных зданиях. Внутренние дворы располагают так, чтобы обеспечивалось их хорошее проветривание. По периметру здания не рекомендуется размещать пристройки, мешающие поступлению свежего воздуха. Само здание располагают так, чтобы продольная ось аэрационного фонаря составляла с направлением господствующего летнего ветра угол в 90–60°. Для защиты от поступления в производственные помещения холодного воздуха входы оборудуют шлюзами, дверные проемы – воздушными завесами. Используют двойное остекление окон, утепляют ограждения, полы и т. п.

Рациональное размещение оборудования. Основные источники теплоты желательно располагать непосредственно под аэрационным фонарем, у наружных стен здания и в один ряд на таком расстоянии друг от друга, чтобы тепловые потоки от них не перекрещивались на рабочих местах. Нельзя размещать остывающие материалы на путях притока свежего воздуха. Для охлаждения горячих изделий следует предусматривать отдельные помещения. Наилучшим решением является размещение оборудования, излучающего тепло, в изолированных помещениях или на открытых площадках.

Механизация и автоматизация производственных процессов. В этом направлении сейчас делается многое. Внедряются механическая загрузка печей в металлургии, трубопроводный транспорт для жидкого металла, установки непрерывной разливки стали и т. п.

Дистанционное управление и наблюдение позволяет во многих случаях вывести человека из неблагоприятных условий. Примером может служить дистанционное управление грузоподъемными кранами в горячих цехах.

Внедрение более рациональных технологических процессов и оборудования. Например, замена горячего способа обработки металла холодным, пламенного нагрева – индукционным, кольцевых печей в производстве кирпича – туннельными и т. п.

Рациональная тепловая изоляция оборудования. Существует много различных видов теплоизоляционных материалов. К *неорганическим материалам* относятся: диатомит, асбест, асбоцемент, совелит, слюда, вермикулит, минеральная вата и войлок, стекловата и стеклоткань, пеностекло, ячеистый бетон, пенобетон, керамзит, пемза и др.

Органическими изоляционными материалами являются пробковые, торфоизоляционные и древесноволокнистые плиты, древесные опилки, пенопласт и др.

Эффективность тепловой изоляции во многом зависит от правильного ее выбора. При температуре теплоизлучающей поверхности 500–600 °С применяют асбест, совелитовый порошок, минеральную вату; при температуре 800–900 °С – асбозурит, диатомитовый кирпич; при температуре более 1000 °С – вермикулит, специальные керамические плитки и т. п.

Защита работающих различными видами экранов. Применяют экраны для экранирования источников теплового излучения и для экранирования рабочих мест. Защитные экраны бывают однослойные, многослойные, прозрачные, непрозрачные, с воздушной или водяной прослойкой. По принципу действия оградительные устройства бывают теплоотражательные,

теплоотводящие, теплопоглощающие и комбинированные (ГОСТ 12.4.123-83). Хорошей защитой от теплового излучения являются водяные завесы.

Вентиляция, отопление, кондиционирование. Они являются наиболее распространенными способами нормализации микроклимата в производственных помещениях. Для создания допустимого микроклимата на отдельных рабочих местах широко применяются воздушные души. Воздушный душ представляет собой поток воздуха, направляемый непосредственно на работающего. Температура и скорость движения воздуха при воздушном душировании регламентируются в зависимости от категории тяжести работы, интенсивности теплового облучения работающего и периода года.

Обеспечить нормальные тепловые условия в холодное время года в современных крупно объемных и облегченных промышленных зданиях очень трудно и экономически нецелесообразно. Наиболее перспективным в этом отношении является применение лучистого обогрева постоянных рабочих мест и отдельных участков. Для этого используют специальные газовые инфракрасные или электрические «темные» (до 500 °С) излучатели.

Рациональный режим труда и отдыха. Это достигается сокращением продолжительности рабочей смены, введением дополнительных перерывов, созданием условий для эффективного отдыха в помещениях с нормальными метеорологическими условиями. В ряде случаев такие комнаты оборудуют панелями радиационного охлаждения или обогрева. Если организовать отдельные помещения трудно, то создают в горячих цехах зоны отдыха – «оазисы», где средствами вентиляции обеспечивается нормальная температура и подвижность воздуха.

Для работающих на открытом воздухе в зимних условиях оборудуют комнаты обогрева, где температуру поддерживают несколько выше комфортной.

Использование средств индивидуальной защиты: спецодежды, спецобуви, средств защиты рук и головных уборов.

Для защиты от воздействия высокой и низкой температур, облучения, пламени, отлетающих искр, окалины и брызг расплавленного металла в зависимости от условий труда применяется термозащитная спецодежда разных видов. При небольшой интенсивности теплооблучения используются хлопчатобумажные ткани с огнестойкой пропиткой, в более жестких условиях (при большом теплооблучении) применяют сукно, асбестовые или металлизированные ткани. Часто применяют спецодежду из комбинированных тканей или делают защитные нашивки из искростойкой ткани на местах,

которые могут подвергаться воздействию искр и брызг расплавленных веществ.

Для кратковременной работы в условиях очень высоких температур (до 500 °С) разработаны специальные теплозащитные пневмокомбинезоны и скафандры с подачей воздуха для дыхания с помощью шланга от источника питания. Спецодежда для защиты от низкой температуры, ветра и атмосферных осадков в зависимости от условий труда изготавливается из хлопчатобумажных и смешанных тканей с водоотталкивающими и другими пропитками, из искусственного меха и синтетических утеплителей.

Комплект спецодежды должен обязательно дополняться эффективными средствами для защиты от холода ног, рук и головы. Особенно большое значение имеет качество спецодежды для работы на открытом воздухе в условиях Крайнего Севера.

Кроме традиционных комплектов утепленной спецодежды, разработаны электрообогревающие комплекты «Пингвин», «Енот» и др.

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в таблице 4.2, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Таблица 4.2. Оптимальные микроклиматические условия

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

Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины: таблица 4.3.

Таблица 4.3. Допустимые значения параметров микроклимата в рабочей зоне

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более	Температура поверхностей, °С
Холодный	Ia (до 139)	20–26	15–75	0,1	19–26
	Iб (140–174)	19–25	15–75	0,2	18–25
	IIa (175–232)	17–24	15–75	0,3	16–24
	IIб (233–290)	15–23	15–75	0,4	14–23
	III (более 290)	13–22	15–75	0,4	12–22
Теплый	Ia (до 139)	21–29	15–75	0,2	20–29
	Iб (140–174)	20–29	15–75	0,3	19–29
	IIa (175–232)	18–28	15–75	0,4	17–28
	IIб (233–290)	16–28	15–75	0,5	15–28
	III (более 290)	15–27	15–75	0,5	14–27

Условия, методы и приборы для определения параметров микроклимата.

Описание лабораторной установки

На рисунке 4.1 представлена лабораторная установка, которая включает: 1 – психрометр Ассмана; 2 – вентилятор; 3 – психрометр Августа; 4 – корпус установки; 5 – барометр-анероид; 6 – датчик анемометра чашечного; 7 – датчик анемометра крыльчатого.

Лабораторная установка является моделью рабочей зоны, где имеется возможность изменять скорость движения воздуха посредством различных оборотов двигателя вентилятора.

Остальные параметры микроклимата принимаются по значениям фактических условий в помещении лаборатории.

Для экспериментального исследования метеорологических характеристик при проведении лабораторной работы применяется комплекс приборов, измеряющих температуру, относительную влажность, подвижность воздуха и атмосферное давление.

Для измерения температуры воздуха применяют следующие термометры: обычные, максимальные, минимальные, парные, электрические и термографы.

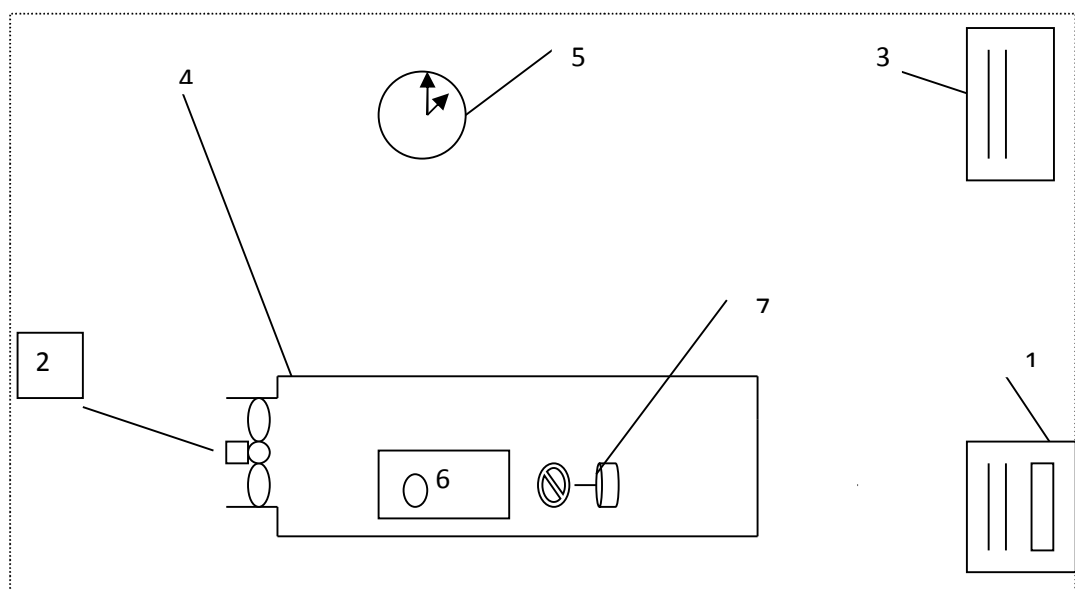


Рисунок 4.1. Лабораторная установка

Для измерений температуры выше 0°C следует применять ртутные термометры, т. к. ртуть при нагревании равномерно расширяется.

При температуре ниже -39°C ртуть замерзает, поэтому для измерения низких температур необходимо пользоваться спиртовыми термометрами.

Для измерения температуры в помещениях с тепловыми излучениями применяют парный термометр, состоящий из двух ртутных термометров, у одного из которых резервуар посеребрен, а у другого – зачернен. Зачерненный термометр поглощает направленные на него тепловые лучи, посеребренный отражает их.

Термографы служат для регистрации температуры окружающего воздуха по времени. Приемной частью термографов является изогнутая биметаллическая пластина, связанная при помощи рычага и стрелки с пером. Запись производится на ленте, опоясывающей барабан, который приводится в движение часовым механизмом.

Влажность воздуха измеряется психрометрами Августа и Ассмана, волосяными гигрометрами и гигрографами.

Психрометр – (от греч. *psychros* – холодный, и *metreo* – измеряю) прибор для измерения температуры и влажности воздуха, состоящий из двух термометров, у одного из которых (смоченного) резервуар обернут смоченным батистом. Психрометр Августа состоит из двух укрепленных на панели спиртовых термометров – сухого и влажного (рисунок 4.2, б). Резервуар влажного термометра обернут тонкой тканью, конец которой опущен в сосуд с водой.

Принцип действия психрометра Августа и Ассмана основан на разности показаний двух расположенных рядом термометров, резервуар одного из них обернут увлажненной тканью.

Аспирационный психрометр Ассмана состоит из двух одинаковых ртутных термометров, закрепленных в специальной оправе, имеющей заводной механизм с вентилятором (рисунок 4.2, в). Вентилятор, помещенный в верхней части корпуса, приводится в движение и просасывает воздух. Через 4–5 минут после запуска вентилятора можно снимать показания термометров.

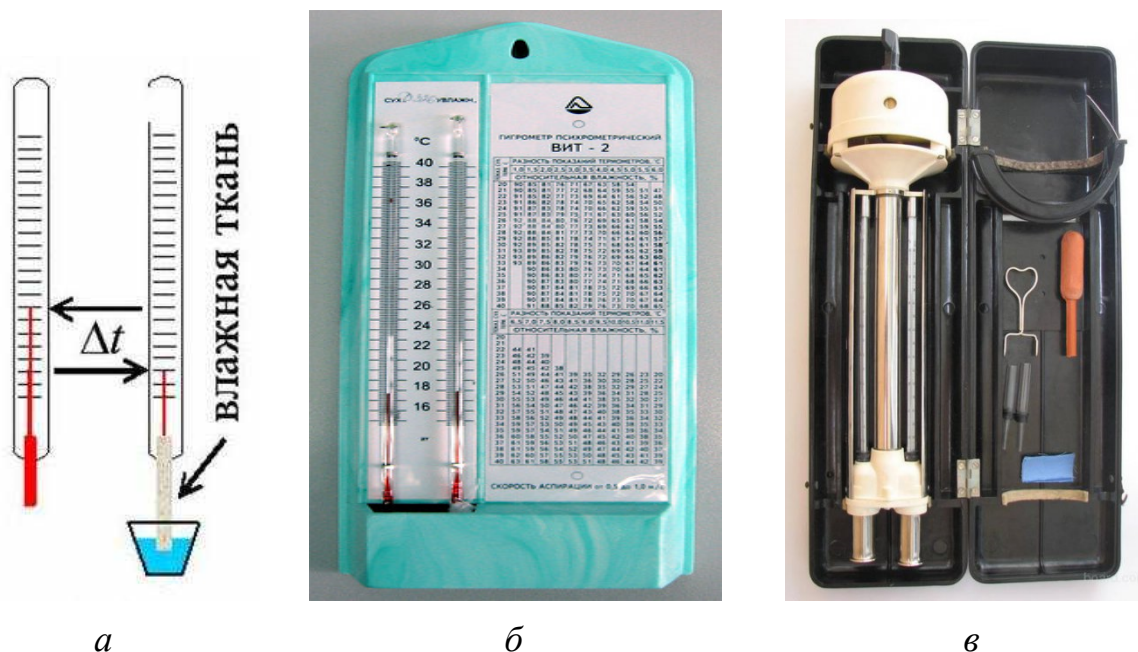


Рисунок 4.2. Психрометр Августа (б) и психрометр Ассмана (в)

Резервуар влажного термометра обертывают тонкой тканью и смачивают водой. Вода, испаряясь, охлаждает поверхность термометра вследствие чего показания влажного термометра всегда ниже показаний сухого. Эта разница тем больше, чем ниже относительная влажность, приближенную величину которой находят из психрометрической таблицы, представленной на шкале психрометра лабораторной установки.

Относительную влажность можно определить также по таблицам и номограммам, прилагаемым к приборам.

Для прямого определения относительной влажности служат гигрометры и гигрографы (рисунок 4.3). Волосяные гигрометры основаны на способности человеческого волоса (благодаря гигроскопичности) удлиняться во влажном воздухе и укорачиваться в сухом воздухе (рисунок 4.4).

Гигрографы используются для регистрации по времени изменений относительной влажности воздуха. Приемной частью служит пучок специально обработанных волос, укрепленных в рамке прибора. Изменение длины пучка волос под влиянием влажности передается стрелке с пером, заполненным чернилами, пишущим на специальной ленте, надетой на барабан, приводимый в движение часовым механизмом (рисунок 4.5).



а



б

Рисунок 4.3. Гигрометр (*а*) и термогигрограф (*б*)



Рисунок 4.4. Волосной гигрометр:
1 – волос; 2 – стрелка; 3 – ролик; 4 – груз

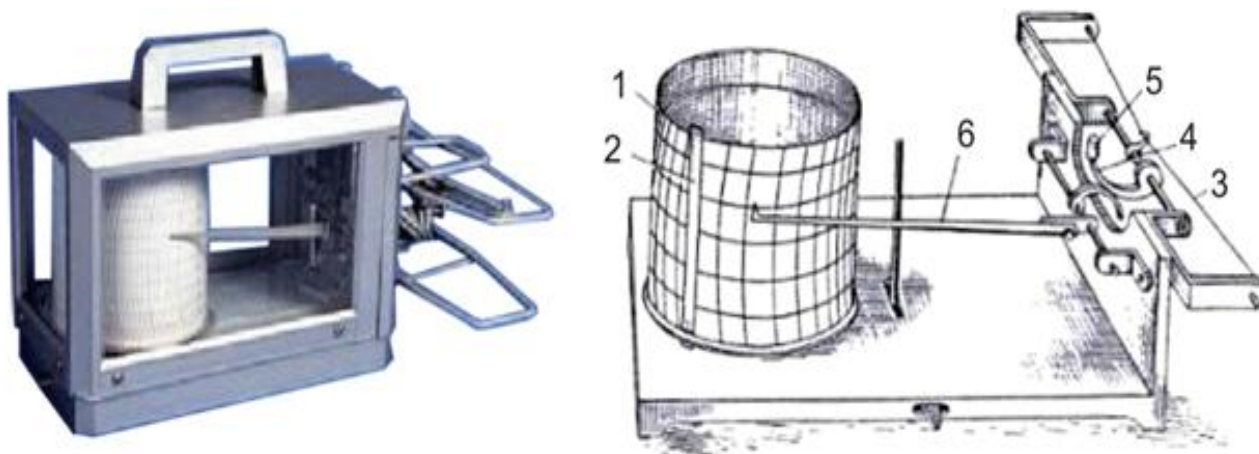


Рисунок 4.5. Гигрографы:

1 – вращающийся барабан; 2 – движущаяся лента; 3 – приемная часть прибора; 4 – металлическая изогнутая упругая трубка, наполненная спиртом или эфиром и наглухо запаянная; 5 – винт; 6 – перо

Для измерения скорости движения воздуха применяются анемометры чашечные и крыльчатые, кататермометры (рисунки 4.6, 4.7, 4.8, 4.9).

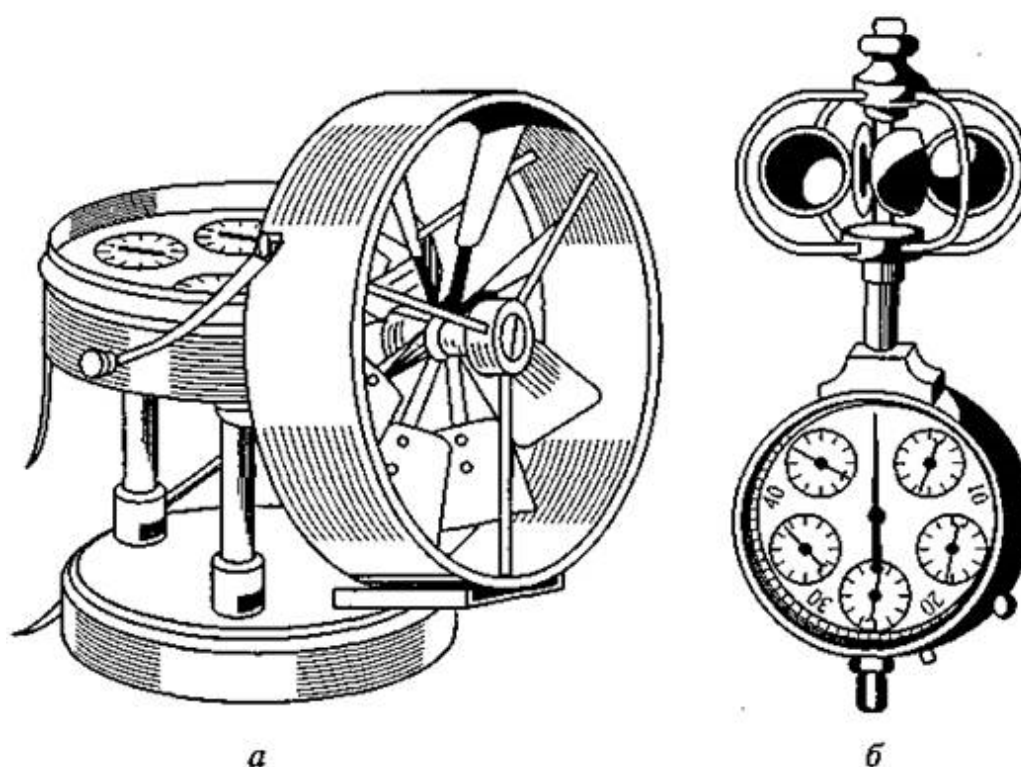


Рисунок 4.6. Анемометры:
а – крыльчатый; б – чашечный

Крыльчатый ручной анемометр применяется при замерах скоростей от 0,2 до 10 м/с. Приемной частью анемометра служит легкая крыльчатка,

посаженная на трубную ось, внутри которой проходит стальная струна. С помощью червячной передачи вращение крыльчатки передается на стрелки приборов. При замерах ось крыльчатого анемометра должна быть перпендикулярной к направлению движения воздушного потока.

В чашечном анемометре приёмной частью служит крестовина с четырьмя полушариями, укрепленная на вертикальной оси. Под действием ветра полушария вращаются, что отмечается счетчиком, включаемым арретиром. Пределы измерения от 1 до 30 м/с.

К каждому прибору прикрепляются тарифовочные (тарифование – градуировка измерительных приборов и устройств) графики для получения истинной скорости движения воздуха.

Кататермометр применяется для измерения малых скоростей движения воздуха (до 1 м/с). Он представляет собой спиртовой термометр с шаровым или цилиндрическим резервуаром. Резервуар переходит в капилляр с расширением верхней части. Шкала прибора проградуирована на 7 °С (от 33 до 40 °С) для шарового и на 4 °С (от 35 до 38 °С) для цилиндрического кататермометра. Применение прибора основано на зависимости скорости охлаждения его резервуара от метеорологических условий.

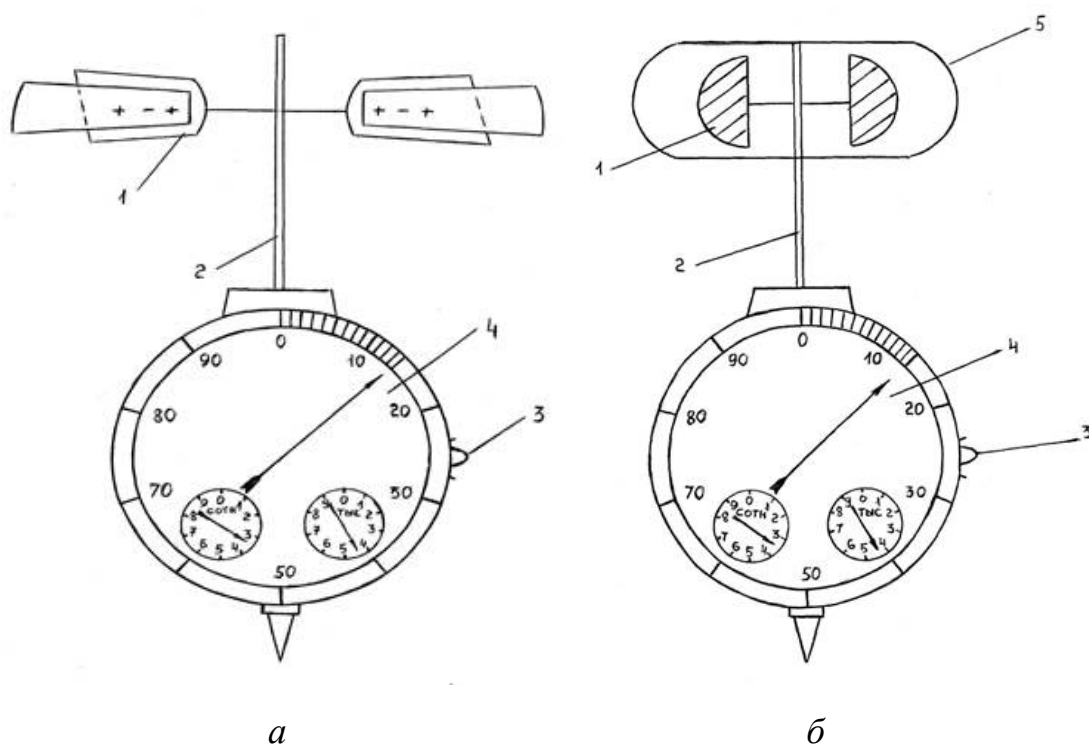


Рисунок 4.7. Крыльчатый анемометр (а):

1 – крыльчатка, 2 – ось, 3 – арретир (фиксатор), 4 – счетчик оборотов.

Чашечный анемометр (б):

1 – чашечка; 2 – ось; 3 – арретир (фиксатор); 4 – счетчик оборотов



Рисунок 4.8.
Электронный
анемометр
со встроенной
крыльчаткой

Атмосферное давление, сведения о котором необходимы для точного расчета относительной влажности воздуха, измеряют при помощи барометра-анероида (рисунок 4.9), барографа.

Измерение интенсивности теплового излучения производится актинометром, действие которого основано на неодинаковой поглощающей способности черных и белых полосок алюминиевой пластинки, расположенной на его задней рабочей стенке.

Таблица 4.4. Технические характеристики электронного анемометра со встроенной крыльчаткой

Технические характеристики		
Диапазон измерений	температуры	от 0 °С до +50 °С
	скорости воздуха	от +0,3 м/с до +20 м/с
	объемного расхода воздуха	от 0 м ³ /ч до +99 999 м ³ /ч
Разрешение	температуры	0,1 °С
	скорости воздуха	0,01 м/с
	объемного расхода воздуха	0,1 м ³ /ч
Рабочая температура	от 0 °С до +50 °С	
Температура хранения	от -40 °С до +85 °С	
Габариты	277 × 105 × 45 мм	
Вес	230 г	

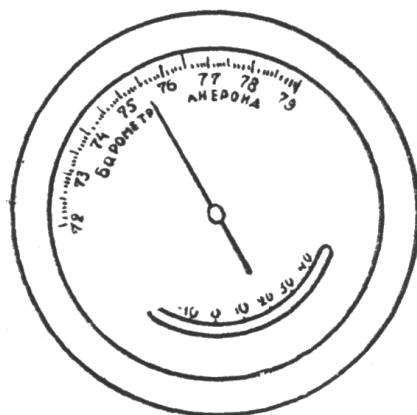


Рисунок 4.9. Барометр-анероид

Порядок выполнения работы

Необходимо исследовать метеорологические условия производственного помещения и сопоставить их с нормативными (см. таблицы 4.2, 4.3). Для этого следует измерить температуру воздуха снаружи и внутри помещения, определить относительную влажность и скорость движения воздуха при заданных оборотах вентилятора.

Затем для заданной категории работ определить оптимальные и допустимые параметры микроклимата. На основе проведенных исследований сделать заключение о соответствии микроклимата в обследуемом помещении нормативным требованиям и, с точки зрения его воздействия на организм (комфортный, дискомфортный), разработать рекомендации по нормализации микроклиматических параметров.

Задание 1. Измерение температуры воздуха

Ход работы:

1. Снимите показания термометра на высоте 0,1 м и 1,0 м при работе сидя; 0,1 м и 1,5 м – при работе стоя. Данные занесите в таблицу 4.12.
2. Снимите показания термометра на высоте 1,5 м от пола в 3 точках по диагонали на расстоянии 0,2 м от наружной стены, в центре и 0,25 м от внутреннего угла помещения. Термометр устанавливают на 15 мин в каждой точке.
3. Вычислите среднюю температуру воздуха в помещении.
4. Определите перепад температур по вертикали.

Задание 2. Измерение относительной влажности воздуха

Ход работы:

1. Конец влажного термометра, обернутого материей, смочите водой с помощью пипетки.
2. Заведите ключом вентилятор.
3. Через 3–4 мин после начала работы вентилятора на высоте 1,0 м сидя и 1,5 м стоя от пола снимите показания сухого (t_c) и влажного (t_b) термометров.
4. Измерение относительной влажности воздуха при помощи психрометра Августа:

Расчет абсолютной влажности произведите по формуле Ренье:

$$A = f_{MB} - K(t_c - t_b) P, \quad (4.1)$$

где A – абсолютная влажность, г/м³;

$f_{\text{мв}}$ – максимальная напряжение водяных паров при температуре влажного термометра (определяется по таблице 4.5);

t_c – температура сухого термометра;

t_b – температура влажного термометра;

P – барометрическое давление в момент исследования (755 мм рт. ст. – среднее значение);

K – психрометрический коэффициент.

Величина коэффициента K выбирается в зависимости от скорости движения воздуха: неподвижный воздух – 0,00128; очень слабое (неощутимо) движение со скоростью 0,2 м/с – 0,00110; едва заметное движение со скоростью 0,3 м/с – 0,00100; при измерении на открытом воздухе и кажущемся отсутствии ветра (движение воздуха не более 0,5 м/с) – 0,0009, а при умеренном его движении (2 м/с) – 0,00074.

Для большинства жилых помещений можно пользоваться коэффициентом 0,0011.

Таблица 4.5. Упругость водяных паров при разной температуре

Температура, +°C	Упругость, мм. рт. ст.	Температура, +°C	Упругость, мм. рт. ст.	Температура, +°C	Упругость, мм. рт. ст.
10	9,14	18	14,93	26	24,96
11	9,77	19	16,32	27	26,47
12	10,43	20	17,36	28	28,07
13	11,14	21	18,47	29	29,74
14	11,88	22	19,63	30	31,51
15	12,67	23	20,86	31	33,37
16	13,51	24	22,05	32	35,32
17	14,40	25	23,52	33	37,37

Рассчитайте относительную влажность воздуха по формуле:

$$R = A / f_{\text{мс}} \times 100, \quad (4.2)$$

где R – относительная влажность воздуха (в %);

A – абсолютная влажность (г/м³);

$f_{\text{мс}}$ – максимальная влажность воздуха при температуре сухого термометра (по таблице 4.6).

Для ускоренного расчета составлены психрометрические таблицы, по которым на основании показаний сухого и влажного термометров определяется относительная влажность воздуха (таблица 4.6).

Таблица 4.6. Вычисление относительной влажности воздуха по показаниям психрометра Августа при скорости движения воздуха 0,2 м/с (извлечение)

Сухой термометр, °С	Влажный термометр, °С											
15	9,2	9,6	9,7	10,0	10,5	10,9	11,4	11,8	12,2	12,6	13,0	13,4
16	9,4	9,9	10,3	10,8	11,3	11,8	12,2	12,6	13,1	13,5	14,0	14,4
17	10,2	10,7	11,2	11,6	12,1	12,6	13,0	13,5	13,9	14,4	14,9	15,3
18	10,9	11,4	11,9	12,4	12,9	13,4	13,9	14,4	14,8	15,3	15,7	16,2
19	11,7	12,2	12,7	13,2	13,8	14,3	14,8	15,3	15,7	16,2	16,7	17,2
20	12,4	12,9	13,4	14,0	14,5	15,1	15,6	16,1	16,6	17,1	17,6	18,1
21	13,1	13,6	14,2	14,8	15,3	15,9	16,5	17,1	17,5	18,0	18,6	19,1
22	13,8	14,4	15,1	15,7	16,0	16,7	17,3	17,9	18,4	18,9	19,5	20,0
23	14,4	15,1	15,7	16,4	17,0	17,6	18,2	18,8	19,3	19,8	20,4	20,9
24	15,2	15,9	16,5	17,1	17,8	18,4	19,0	19,6	20,1	20,7	21,3	21,9
25	15,9	16,6	17,2	17,9	18,5	19,2	19,8	20,5	21,2	21,7	22,2	22,8
Относительная влажность (%)	–	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80

Зеркальный гигрометр представляет собой коробочку, одна из поверхностей которой зеркальная и окружена таким же зеркальным ободком. В коробочку заливается эфир, который быстро испаряется за счет продувания воздуха. При этом температура коробочки понижается и ее зеркальная поверхность покрывается мельчайшими капельками воды (запотевает) – «выпадает роса». Температура, при которой водяные пары, находящиеся в воздухе, становятся насыщенными, т. е. «выпадает роса», называется точкой росы. Чем меньше влажность, тем ниже точка росы. Давление насыщенных паров при точке росы, определяемое по таблице, дает значение абсолютной влажности А (таблица 4.7).

Таблица 4.7. Определения точки росы в зависимости от температуры и относительной влажности воздуха

Температура воздуха	Точка росы при относительной влажности воздуха													
	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
–10 °С	–23,2	–21,8	–20,4	–19,0	–17,8	–16,7	–15,8	–14,9	–14,1	–13,3	–12,6	–11,9	–10,6	–10,0
–5 °С	–18,9	–17,2	–15,8	–14,5	–13,3	–11,9	–10,9	–10,2	–9,3	–8,8	–8,1	–7,7	–6,5	–5,8
0 °С	–14,5	–12,8	–11,3	–9,9	–8,7	–7,5	–6,2	–5,3	–4,4	–3,5	–2,8	–2,0	–1,3	–0,7
+2 °С	–12,8	–11,0	–9,5	–8,1	–6,8	–5,8	–4,7	–3,6	–2,6	–1,7	–1	–0,2	–0,6	+1,3
+4 °С	–11,3	–9,5	–7,9	–6,5	–4,9	–4,0	–3,0	–1,9	–1,0	+0,0	+0,8	+1,6	+2,4	+3,2
+5 °С	–10,5	–8,7	–7,3	–5,7	–4,3	–3,3	–2,2	–1,1	–0,1	+0,7	+1,6	+2,5	+3,3	+4,0
+6 °С	–9,5	–7,7	–6,0	–4,5	–3,3	–2,3	–1,1	–0,1	+0,8	+1,8	+2,7	+3,6	+4,5	+5,3
+7 °С	–9,0	–7,2	–5,5	–4,0	–2,8	–1,5	–0,5	+0,7	+1,6	+2,5	+3,4	+4,3	+5,2	+6,1
+8 °С	–8,2	–6,3	–4,7	–3,3	–2,1	–0,9	+0,3	+1,3	+2,3	+3,4	+4,5	+5,4	+6,2	+7,1
+9 °С	–7,5	–5,5	–3,9	–2,5	–1,2	+0,0	+1,2	+2,4	+3,4	+4,5	+5,5	+6,4	+7,3	+8,2

Продолжение таблицы 4.7

+10 °C	-6,7	-5,2	-3,2	-1,7	-0,3	+0,8	+2,2	+3,2	+4,4	+5,5	+6,4	+7,3	+8,2	+9,1
+11 °C	-6,0	-4,0	-2,4	-0,9	+0,5	+1,8	+3,0	+4,2	+5,3	+6,3	+7,4	+8,3	+9,2	+10,1
+12 °C	-4,9	-3,3	-1,6	-0,1	+1,6	+2,8	+4,1	+5,2	+6,3	+7,5	+8,6	+9,5	+10,4	+11,7
+13 °C	-4,3	-2,5	-0,7	+0,7	+2,2	+3,6	+5,2	+6,4	+7,5	+8,4	+9,5	+10,5	+11,5	+12,3
+14 °C	-3,7	-1,7	-0,0	+1,5	+3,0	+4,5	+5,8	+7,0	+8,2	+9,3	+10,3	+11,2	+12,1	+13,1
+15 °C	-2,9	-1,0	+0,8	+2,4	+4,0	+5,5	+6,7	+8,0	+9,2	+10,2	+11,2	+12,2	+13,1	+14,1
+16 °C	-2,1	-0,1	+1,5	+3,2	+5,0	+6,3	+7,6	+9,0	+10,2	+11,3	+12,2	+13,2	+14,2	+15,1
+17 °C	-1,3	+0,6	+2,5	+4,3	+5,9	+7,2	+8,8	+10,0	+11,2	+12,2	+13,5	+14,3	+15,2	+16,6
+18 °C	-0,5	+1,5	+3,2	+5,3	+6,8	+8,2	+9,6	+11,0	+12,2	+13,5	+14,2	+15,3	+16,2	+17,1
+19 °C	+0,3	+2,2	+4,2	+6,0	+7,7	+9,2	+10,5	+11,7	+13,0	+14,2	+15,2	+16,3	+17,2	+18,1
+20 °C	+1,0	+3,1	+5,2	+7,0	+8,7	+10,2	+11,5	+12,8	+14,0	+15,2	+16,2	+17,2	+18,1	+19,1
+21 °C	+1,8	+4,0	+6,0	+7,9	+9,5	+11,1	+12,4	+13,5	+15,0	+16,5	+17,2	+18,1	+19,1	+20,0
+22 °C	+2,5	+5,0	+6,9	+8,8	+10,5	+11,9	+13,5	+14,8	+16,0	+17,0	+18,0	+19,0	+20,0	+21,0
+23 °C	+3,5	+5,7	+7,8	+9,8	+11,5	+12,9	+14,3	+15,7	+16,9	+18,1	+19,1	+20,0	+21,0	+22,0
+24 °C	+4,3	+6,7	+8,8	+10,8	+12,3	+13,8	+15,3	+16,5	+17,0	+19,0	+20,1	+21,1	+22,0	+23,0
+25 °C	+5,2	+7,5	+9,7	+11,5	+13,1	+14,7	+16,2	+17,5	+18,8	+20,0	+21,1	+22,1	+23,0	+24,0
+26 °C	+6,0	+8,5	+10,6	+12,4	+14,2	+15,8	+17,2	+18,5	+19,8	+21,0	+22,2	+23,1	+24,1	+25,1
+27 °C	+6,9	+9,5	+11,4	+13,3	+15,2	+16,5	+18,1	+19,5	+20,7	+21,9	+23,1	+24,1	+25,0	+26,1
+28 °C	+7,7	+10,2	+12,2	+14,2	+16,0	+17,5	+19,0	+20,5	+21,7	+22,8	+24,0	+25,1	+26,1	+27,0
+29 °C	+8,7	+11,1	+13,1	+15,1	+16,8	+18,5	+19,9	+21,3	+22,5	+22,8	+25,0	+26,0	+27,0	+28,0
+30 °C	+9,5	+11,8	+13,9	+16,0	+17,0	+19,7	+21,3	+22,5	+23,8	+25,0	+26,1	+27,1	+28,1	+29,0
+34 °C	+12,5	+15,2	+17,2	+19,2	+21,4	+22,8	+24,2	+25,7	+27,0	+28,3	+29,4	+31,1	+31,9	+33,0
+36 °C	+14,6	+17,1	+19,4	+21,5	+23,2	+25,0	+26,3	+28,0	+29,3	+30,7	+31,8	+32,8	+34,0	+35,1
+38 °C	+16,3	+18,8	+21,3	+23,4	+25,1	+26,7	+28,3	+29,9	+31,2	+32,3	+33,5	+34,6	+35,7	+36,9
+40 °C	+17,9	+20,6	+22,6	+25,0	+26,9	+28,7	+30,3	+31,7	+33,0	+34,3	+35,6	+36,8	+38,0	+39,0

5. Измерение относительной влажности воздуха при помощи аспирационного психрометра Ассмана:

Абсолютная влажность воздуха вычисляется по формуле:

$$A = f_{\text{МВ}} - 0,5(t_{\text{с}} - t_{\text{в}}) P / 755, \quad (4.3)$$

где A – абсолютная влажность, г/м³;

$f_{\text{МВ}}$ – максимальная напряжение водяных паров при температуре влажного термометра (определяется по таблице 4.5);

$t_{\text{с}}$ – температура сухого термометра;

$t_{\text{в}}$ – температура влажного термометра;

P – барометрическое давление в момент исследования (755 мм рт. ст. – среднее значение);

0,5 – психрометрический постоянный коэффициент.

Величина $P/755$ является очень близкой к 1, поэтому ее обычно опускают. В этом случае уравнение приобретает более простой вид:

$$A = f_{\text{MB}} - 0,5(t_c - t_b). \quad (4.4)$$

Для вычисления относительной влажности при работе с психрометром Ассмана также имеются готовые таблицы (таблица 4.8).

Таблица 4.8. Психрометрическая таблица

Показания сухого термометра, °C	Разность показаний сухого и влажного термометров, °C										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность, %										
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	—
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33

Точное значение относительной влажности воздуха с учетом барометрического давления определяют расчетным путем:

$$B_p = \frac{f_{\text{MB}} - K(t_c - t_b)P}{f_{\text{MC}}} \cdot 100\%, \quad (4.5)$$

где f_{MC} , f_{MB} – максимальная влажность воздуха при температуре «сухого» и «влажного» термометра соответственно, г/м³;

t_c , t_b – показания соответственно «сухого» и «влажного» термометров психрометра, °C;

P – барометрическое давление, мм рт. ст.;

K – психрометрический коэффициент, $K = 1,4 \cdot 10^{-3}$

Определение индекса тепловой нагрузки среды (ТНС-индекса)

1. Индекс тепловой нагрузки среды (ТНС-индекс) является эмпирическим показателем, характеризующим сочетанное действие на организм человека параметров микроклимата (температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового облучения).

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

3. Температура внутри зачерненного шара измеряется термометром, резервуар которого помещен в центр зачерненного полого шара; $t_{ш}$ отражает влияние температуры воздуха, температуры поверхностей и скорости движения воздуха. Зачерненный шар должен иметь диаметр 90 мм, минимально возможную толщину и коэффициент поглощения 0,95. Точность измерения температуры внутри шара $\pm 0,5$ °С.

4. ТНС-индекс рассчитывается по уравнению:

$$ТНС = 0,7 t_{вл} + 0,3 t_{ш}. \quad (4.6)$$

5. ТНС-индекс рекомендуется использовать для интегральной оценки тепловой нагрузки среды на рабочих местах, на которых скорость движения воздуха не превышает 0,6 м/с, а интенсивность теплового облучения – 1200 Вт/кв. м.

6. Метод измерения и контроля ТНС-индекса аналогичен методу измерения и контроля температуры воздуха.

7. Значения ТНС-индекса не должны выходить за пределы величин, рекомендуемых в таблице 4.9.

Таблица 4.9. Рекомендуемые величины интегрального показателя тепловой нагрузки среды (ТНС-индекса) для профилактики перегревания организма

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

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

В целях защиты работающих от возможного перегревания или охлаждения, при температуре воздуха на рабочих местах выше или ниже допустимых величин, время пребывания на рабочих местах (непрерывно или суммарно за рабочую смену) должно быть ограничено величинами, указанными в таблицах 4.10 и 4.11. При этом среднесменная температура воздуха, при которой работающие находятся в течение рабочей смены на рабочих местах и местах отдыха, не должна выходить за пределы допустимых величин температуры воздуха для соответствующих категорий работ, указанных в таблице 4.11.

Таблица 4.10. Время пребывания на рабочих местах при температуре воздуха выше допустимых величин

Температура воздуха на рабочем месте, °С	Время пребывания, не более, при категориях работ, ч		
	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 4.11. Время пребывания на рабочих местах при температуре воздуха ниже допустимых величин

Температура воздуха на рабочем месте, °С	Время пребывания, не более, при категориях работ, ч				
	Ia	Iб	IIa	IIб	III
6	—	—	—	—	1
7	—	—	—	—	2
8	—	—	—	1	3

Продолжение таблицы 4.11

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	—	—	—	—

Среднесменная температура воздуха (t_b) рассчитывается по формуле:

$$t_b = t_{b1} \times r1 + t_{b2} \times r2 + \dots + t_{bн} \times rн / 8, \quad (4.7)$$

где $t_{b1}, t_{b2}, \dots, t_{bн}$ – температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на соответствующих участках рабочего места;

$r1, r2, \dots, rн$ – время (ч) выполнения работы на соответствующих участках рабочего места;

8 – продолжительность рабочей смены (часы).

Остальные показатели микроклимата (относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, температура поверхностей, интенсивность теплового облучения) на рабочих местах должны быть в пределах допустимых величин настоящих Санитарных правил.

Задание 3. Измерение скорости движения воздуха

Ход работы:

1. Записать показания данных счетчиков, чашечного и крыльчатого анемометров (тысячные – по наименьшему значению, сотые – по наименьшему значению, десятые), – V_1 .

2. Включить вентилятор и установку соответствующими тумблерами.

3. Включить счетчики, переместив арретир (фиксатор) вниз на 100 с.

4. Через 100 с выключить счетчики анемометров, установив арретир (фиксатор) в верхнем положении.

5. Записать показания данных счетчиков, чашечного и крыльчатого анемометров (тысячные – по наименьшему значению, сотые – по наименьшему значению, десятые), – V_2 .

Скорость движения воздуха определяем по формуле:

$$V_{\text{ч}} = (V_2 - V_1) : t, \quad (4.8)$$

$$V_{\text{к}} = (V_2 - V_1) : t, \quad (4.9)$$

где $V_{\text{ч}}$ – скорость движения воздуха по показаниям чашечного анемометра;
 $V_{\text{к}}$ – скорость движения воздуха по показаниям крыльчатого анемометра;
 V_2 – показания анемометра через 100 с работы,
 V_1 – показания анемометра до работы,
 t – время работы анемометра (100 с).

Скорость движения воздуха, м/с, рассчитываем по графикам перевода показаний счётчика крыльчатого анемометра в показания скорости движения воздуха (рисунки 4.10, 4.11).

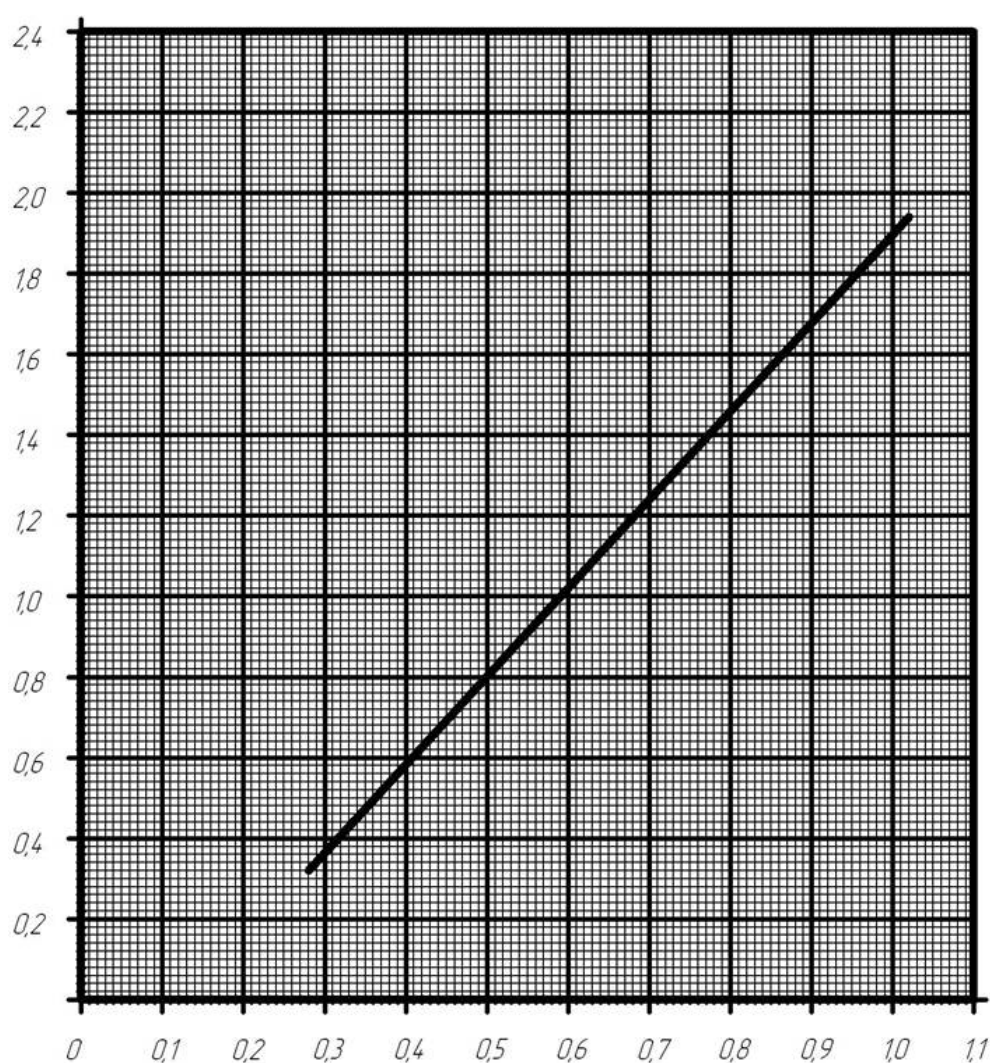


Рисунок 4.10. График перевода показаний счётчика крыльчатого анемометра в показания скорости движения воздуха

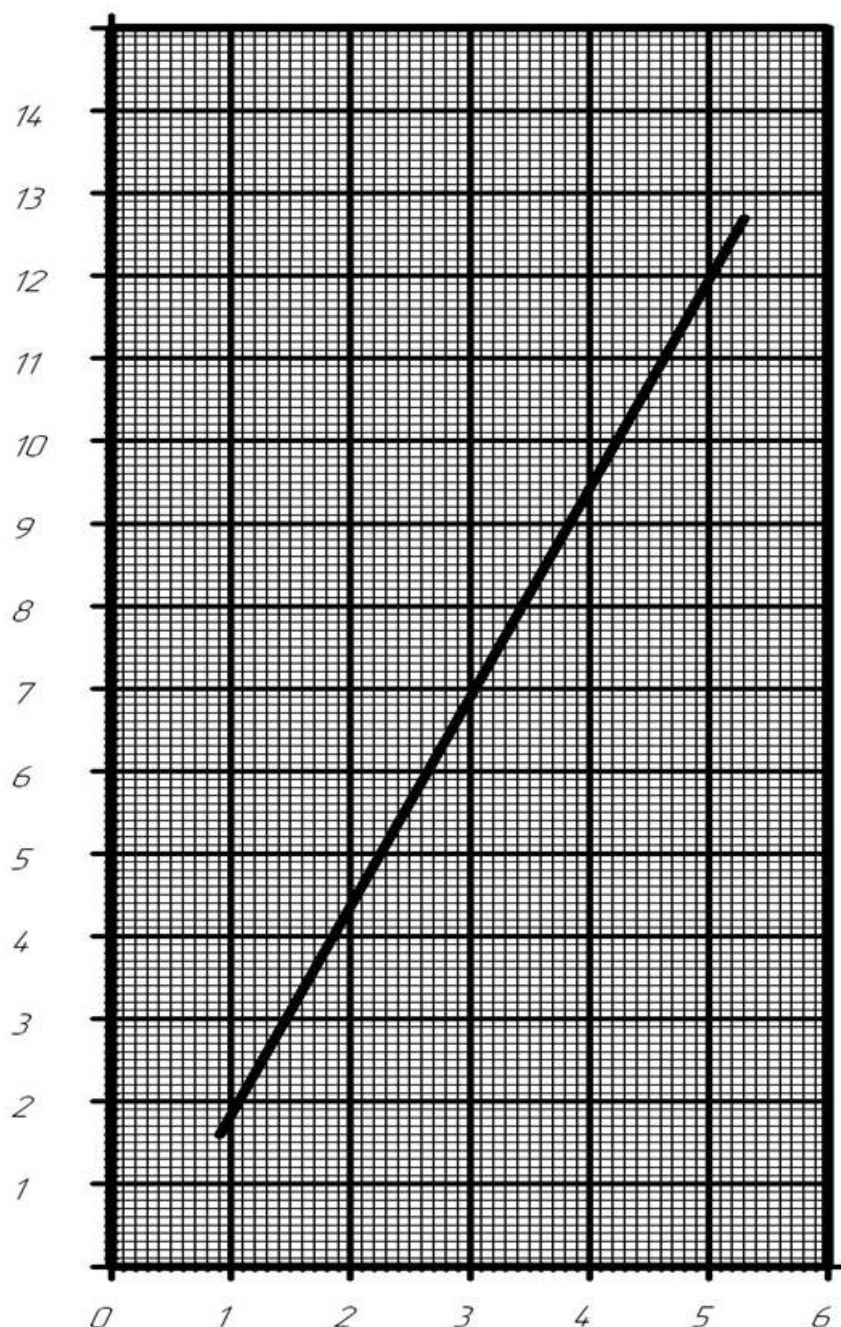


Рисунок 4.11. График перевода показаний счётчика чашечного анемометра в показания скорости движения воздуха

Дождавшись установления стабильных оборотов вентилятора (3–5 с), провести измерение по термоанемометру ТКА-ПКМ. Для этого включить прибор. На дисплее появится значение напряжения питания и обратный отсчет. По его окончании прибор готов к работе. Далее кнопкой «Измерение» выбрать нужный параметр ($V_{\text{ср}}$, м/с) и считать с дисплея измеренное значение.

По таблицам 4.2 и 4.3 определить оптимальные и допустимые параметры микроклимата для заданной категории работы и занести их в заключительную

таблицу отчета 4.12. Туда же внести данные результатов произведенных измерений и расчетов.

Полученные данные занесите в таблицу 4.12.

Таблица 4.12. Результаты измерений

№ п/п	Место проведения измерений	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Время суток проведения измерений	Температура воздуха, °С (сидя 0,1 м; 1,0 м / стоя 0,1 м и 1,5 м от пола)		Относительная влажность воздуха, % (сидя 1,0 м / стоя 1,5 м от пола)		Скорость движения воздушного потока, м/с (сидя 0,1 м; 1,0 м / стоя 0,1 м и 1,5 м от пола)				
				фактическое значение параметров	допустимая по нормам	фактическое значение параметров	допустимая по нормам	фактическое значение параметров				допустимая по нормам
								Ео	Ен	Мех	Р.м.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Примечание:

Ео – естественная организованная вентиляция – аэрация;

Ен – естественная неорганизованная вентиляция;

Мех – механическая приточно-вытяжная вентиляция;

Р.м. – рабочее место.

1. Используя полученные данные, дайте оценку микроклимата.

2. Разработайте мероприятия по нормализации микроклимата.

Изучение вентиляционного режима аудитории

Вентиляционный режим учебной аудитории позволяет относительно стабилизировать в течение дня уровень химического и бактериального загрязнения. Варианты заданий указаны в таблице 4.15.

Задание 4. Определение коэффициента аэрации (K)

Ход работы:

1. Осмотрите все вентиляционные отверстия. Проверьте с помощью листа тонкой бумаги, действуют ли они.
2. Определите общую площадь всех рабочих вентиляционных отверстий и фрамуг.
3. Рассчитайте коэффициент аэрации по формуле:

$$K_a = S_{\text{во}} / S_{\text{п}}, \quad (4.10)$$

где $S_{\text{во}}$ – площадь всех вентиляционных отверстий;

$S_{\text{п}}$ – площадь пола.

4. Понаблюдайте, как проводится проветривание помещений.

Обработка результатов и выводы

Полученный результат занесите в таблицу 4.13.

Таблица 4.13. Коэффициент аэрации помещения

Помещение	K_a		Частота проветривания	
	полученный результат	норма	полученный результат	санитарно-гигиеническая норма
Учебное		1/50		10–15
Рекреация				не реже 1 раза в час

Задание 5. Определение эффективности вентиляции

Ход работы:

1. Определите необходимый вентиляционный объем воздуха ($V_{\text{вент.}}$, м³/ч), т. е. объем свежего воздуха, который надо подавать в помещение на одного человека, чтобы содержание CO₂ не превысило допустимого уровня (0,1%):

$$V_{\text{вент.}} = K/P - g \times 3/4, \quad (4.11)$$

где K – количество CO₂, выделяемое за один час, л/ч (ребенок при умственной работе выделяет столько литров CO₂, сколько ему лет; если студенту больше 19 лет, то берется показатель 22 л/ч);

P – предельно допустимое содержание CO₂ в воздухе учебного помещения (0,1% или 1 л/м³);

g – содержание CO₂ в атмосферном воздухе (0,03% или 0,3 л/м³);

3/4 часа – продолжительность занятия.

2. Определите по формуле (4.12) кратность обмена воздуха – число, показывающее, сколько раз в течение 1 часа воздух помещения должен

смениться наружным, чтобы содержание CO₂ не превысило допустимого уровня:

$$Д = V_{\text{вент.}} / V,$$

где Д – кратность обмена воздуха;

$V_{\text{вент.}}$ – вентиляционный объем воздуха;

V – объем воздуха на одного человека в помещении.

Обработка результатов и выводы

1. Полученные результаты занесите в таблицу 4.14.

Таблица 4.14. Норма вентиляционного объема

Помещение	Кратность обмена воздуха	
	полученный результат	санитарно-гигиеническая норма
Учебная аудитория		6,0–3,0

2. На основании полученных данных сделайте вывод о вентиляционном режиме помещения.

3. Разработайте мероприятия по нормированию показателей микроклимата.

Варианты заданий

Таблица 4.15

Параметры	Значения по вариантам				
	1	2	3	4	5
Вид помещения	Научная лаборатория	Литейный цех	Сборочный участок	Прокатный цех	Склад
Число оборотов вентилятора, об/мин	150	2200	1450	700	500
Категория работ	Ia	III	IIб	IIa	Iб
Период года	теплый	холодный	теплый	холодный	теплый
Параметры	Значения по вариантам				
	6	7	8	9	10
Вид помещения	Библиотека	Гальванический цех	Кондитерский цех	Ювелирная мастерская	Упаковочный цех
Число оборотов вентилятора, об/мин	100	2000	1250	600	300
Категория работ	Ia	III	IIб	IIa	Iб
Период года	теплый	холодный	холодный	теплый	теплый

Контрольные вопросы

1. Что такое микроклимат на рабочем месте?
2. Какие физические процессы участвуют в передаче тепла от тела человека в окружающую среду? От чего зависит их интенсивность?
3. Что понимается под оптимальными и допускаемыми параметрами микроклимата?
4. От чего зависят оптимальные параметры микроклимата?
5. Какие категории работ вы знаете? Их характеристики.
6. Какие механизмы терморегуляции есть у организма человека?
7. Каковы последствия перегрева, переохлаждения организма человека?
8. Нормирование параметров микроклимата.
9. Какими приборами измеряют температуру, относительную влажность, атмосферное давление, скорость движения воздуха?
10. Какие технические мероприятия служат для поддержания оптимальных параметров микроклимата на рабочем месте?
11. Понятие абсолютной и относительной влажности.
12. Температура точки росы.
13. Принцип работы психрометра.

Задачи

1. Испарение воды в адиабатных условиях происходит во влажный воздух с параметрами $t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 10\%$ и давлением, близким к атмосферному. Определить влагосодержание воздуха в конце процесса испарения, если его температура понизилась до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. Влажный воздух с параметрами $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 60\%$ и давлением, близким к атмосферному, нагревается до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определить количество тепла, затраченного на нагревание 1 кг воздуха.
3. В сушильную камеру поступает воздух, который первоначально подогревают от 10 до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $d = 6\text{ г/кг}$. В сушильной камере окончательная влажность воздуха 100% . Сколько влаги примет каждый килограмм воздуха в процессе сушки?
4. Термометр зеркального гигрометра показывает температуру $8,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ в тот момент, когда он запотеваает. Определите относительную влажность воздуха, если температура воздуха $16,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Литература

1. ГОСТ 12.1.005-88. Межгосударственный стандарт. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Москва: Изд-во стандартов, 1988.
2. ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. Москва: Изд-во стандартов, 1991.
3. ГОСТ 12.3.002-75. ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности. Москва: Изд-во стандартов, 1975.
4. ГОСТ 8.524-85 ГСИ. Таблицы психрометрические. Построение, содержание, расчетные соотношения. Москва: Изд-во стандартов, 1985.
5. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование: Госстрой России, 2003.
6. Андреева Н. Д., Наумова Н. Н., Сидельникова Г. Д., Соломин В. П. Практикум по экологии: учеб.-метод. пособие. Санкт-Петербург: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2000. 50 с.
7. Белов С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (Техносферная безопасность): учебник для вузов. Москва: Юрайт, 2016. 701 с.
8. Гладких С. Н., Гладких Ю. Н. Безопасность жизнедеятельности в условиях производства (Охрана труда): учеб. пособие. Новгородский гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. Великий Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2006. 176 с.
9. Хван Т. А., Хван П. А. Безопасность жизнедеятельности: практикум. Ростов на Дону: Феникс, 2006. 317 с.

Приложение

Таблица для определения относительной влажности воздуха по аспирационному психрометру Ассмана (%)

Температура по сухому термометру	Температура по влажному термометру (°C)												
(°C)	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
8.0	29	34	40	45	51	57	63	69	75	81	87	94	100
8.5	25	30	35	41	46	52	58	63	69	75	81	87	94
9.0	21	26	31	36	42	47	53	58	64	70	76	82	88
9.5	17	22	27	32	38	43	48	54	59	65	70	76	82
10.0	14	19	24	29	34	39	44	49	54	60	65	71	76
10.5		16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	66	71
11.0			17	21	26	30	36	39	44	49	53	58	63
11.5			14	19	23	28	32	37	42	47	52	57	62
12.0				16	20	24	29	33	38	43	48	53	57
12.5					17	21	26	30	35	39	44	49	53
13.0					14	18	23	27	31	36	40	45	49
13.5						16	20	24	28	32	37	41	46
14.0							17	21	25	29	33	38	42
14.5							14	18	22	26	30	35	39
15.0								16	20	23	27	32	36
15.5								13	17	21	25	29	32
16.0									15	18	22	26	30
16.5									12	16	20	23	27
17.0										14	17	21	24
17.5											15	19	22
18.0											13	16	20
18.5												14	17
19.0													15
19.5													13

Продолжение таблицы определения относительной влажности воздуха по аспирационному психрометру (%)

Температура по сухому термометру	Температура по влажному термометру (°C)										
(°C)	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5
8.5	100										
9.0	94	100									
9.5	88	94	100								
10.0	82	88	94	100							
10.5	77	83	88	94	100						
11.0	68	77	83	88	94	100					
11.5	67	72	78	83	89	94	100				
12.0	62	68	73	78	83	88	94	100			
12.5	58	63	68	73	78	85	89	94	100		
13.0	54	59	64	69	74	79	84	89	95	100	
13.5	50	55	60	64	69	74	79	84	89	95	100
14.0	46	51	56	60	65	70	74	79	84	90	95
14.5	43	47	52	56	61	65	70	75	80	85	90
15.0	40	44	48	52	57	61	66	71	75	80	85
15.5	37	41	45	49	53	58	62	66	71	76	80
16.0	34	37	42	46	50	54	58	63	67	71	76
16.5	31	34	38	42	46	50	55	59	63	67	72
17.0	28	32	36	39	43	47	51	55	59	64	68
17.5	25	29	33	36	40	44	48	52	56	60	64
18.0	23	27	30	34	37	41	45	49	53	56	61
18.5	21	24	28	31	35	38	42	46	49	53	57
19.0	19	22	25	29	32	36	39	43	46	50	54
19.5	17	20	23	26	30	33	36	40	43	47	51
20.0	15	18	21	24	27	30	34	37	41	44	48
20.5		16	19	22	25	28	31	35	38	41	45
21.0		14	17	20	23	26	29	32	36	39	42
21.5			15	18	21	24	27	30	33	36	40
22.0			13	16	22	23	25	28	30	34	37
22.5				14	17	20	23	26	29	32	35
23.0				13	16	18	21	24	27	30	33
23.5					14	17	19	22	25	28	30
24.0					13	15	17	20	22	26	28
24.5						14	16	19	21	24	26
25.0									19	22	25

Продолжение таблицы определения относительной влажности воздуха по аспирационному психрометру (%)

Температура по сухому термометру	Температура по влажному термометру (°C)										
(°C)	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.5	19.0
14.0	100										
14.5	95	100									
15.0	90	95	100								
15.5	85	90	95	100							
16.0	81	85	90	95	100						
16.5	76	81	86	90	95	100					
17.0	72	77	81	86	90	95	100				
17.5	68	73	77	81	86	91	95	100			
18.0	65	69	73	77	82	86	92	95	100		
18.5	61	65	69	73	78	82	86	91	95	100	
19.0	58	62	66	70	74	78	82	86	91	95	100
19.5	54	58	62	66	70	74	78	82	87	91	95
20.0	52	55	59	63	66	70	74	78	83	87	91
20.5	48	52	56	59	63	67	71	75	79	83	87
21.0	46	49	53	56	60	64	67	71	75	79	83
21.5	43	46	50	53	57	60	64	68	71	75	79
22.0	40	44	47	50	54	57	61	64	68	72	76
22.5	38	41	44	48	51	54	58	61	65	68	72
23.0	36	39	42	45	48	51	55	58	62	65	69
23.5	34	36	40	42	46	49	53	55	59	62	66
24.0	31	33	37	39	43	46	49	52	56	58	63
24.5	30	32	35	38	41	44	47	50	54	56	59
25.0	27	30	33	35	38	41	44	47	50	53	57
25.5	26	28	31	33	37	39	43	45	48	51	55
26.0	24	26	29	31	34	36	40	42	46	48	52
26.5	22	24	27	30	33	35	38	40	44	46	50
27.0	21	22	25	27	30	32	36	38	41	43	47
27.5	19	21	24	26	29	31	35	36	39	42	45
28.0	18	19	22	24	27	29	32	34	37	39	42
28.5	16	18	21	23	26	27	30	32	35	37	41
29.0		17	19	21	24	26	28	30	33	35	38
29.5			18	20	23	24	27	29	32	34	37
30.0			17	18	21	23	25	27	30	32	34
30.5				17	20	21	24	26	28	30	33

Продолжение таблицы определения относительной влажности воздуха по аспирационному психрометру (%)

Температура по сухому термометру	Температура по влажному термометру (°C)										
(°C)	19.5	20.0	20.5	21.0	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5
19.5	100										
20.0	96	100									
20.5	91	97	100								
21.0	87	91	95	100							
21.5	83	88	91	97	100						
22.0	79	84	87	92	95	100					
22.5	76	80	84	88	92	98	100				
23.0	72	76	79	84	87	92	95	100			
23.5	69	73	76	81	84	89	92	97	100		
24.0	65	70	72	77	80	84	87	92	95	100	
24.5	63	67	69	74	77	81	84	89	92	97	100
25.0	59	63	66	70	73	77	80	84	87	92	95
25.5	57	61	63	68	70	74	77	82	84	89	92
26.0	54	58	60	64	67	71	73	78	80	85	88
26.5	52	56	58	62	64	68	71	75	76	82	85
27.0	49	52	55	58	61	65	67	71	73	78	81
27.5	47	51	53	56	59	63	65	69	70	75	78
28.0	44	48	50	53	56	59	62	65	67	72	74
28.5	43	46	48	51	54	57	60	63	64	69	72
29.0	40	43	45	49	51	54	57	60	61	66	69
29.5	39	42	44	47	49	52	55	58	59	64	66
30.0	36	39	41	44	46	50	52	55	56	61	63
30.5	34	38	39	43	45	48	50	53	54	59	61
31.0	32	36	37	40	41	45	47	50	51	56	58
31.5	31	34	36	39	40	44	46	49	51	54	56
32.0	29	32	34	37	39	41	43	46	48	51	53
32.5	28	31	32	35	37	40	42	45	47	50	52
33.0	27	30	31	33	35	38	40	42	45	47	49
33.5	26	28	29	32	34	36	37	41	43	46	48
34.0	23	26	28	30	32	34	36	39	41	43	45
34.5	23	25	27	29	31	33	35	37	39	42	44
35.0	22	24	26	28	30	32	35	36	38	41	43

Продолжение таблицы определения относительной влажности воздуха по аспирационному психрометру (%)

Температура по сухому термометру	Температура по влажному термометру (°C)								
(°C)	25.0	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
25.0	100								
25.5	97	100							
26.0	92	95	100						
26.5	89	92	97	100					
27.0	85	88	92	95	100				
27.5	82	85	90	92	97	100			
28.0	78	81	85	88	93	95	100		
28.5	76	79	83	86	90	93	97	100	
29.0	72	75	79	82	86	88	93	96	100
29.5	70	73	76	79	83	86	90	93	96
30.0	67	69	73	75	79	82	86	89	91
30.5	65	67	71	73	77	79	83	86	89
31.0	62	64	67	70	73	76	80	82	86
31.5	60	62	65	68	71	74	77	80	82
32.0	57	59	62	65	68	70	74	76	79
32.5	55	57	60	63	66	68	72	74	76
33.0	52	54	58	60	63	65	69	70	73
33.5	51	53	56	58	61	63	66	69	71
34.0	48	50	53	55	58	60	64	66	68
34.5	47	49	52	53	56	59	62	64	65
35.0	45	47	50	52	55	57	60	62	65

Окончание таблицы определения относительной влажности воздуха по аспирационному психрометру (%)

Температура по сухому термометру	Температура по влажному термометру (°C)					
(°C)	16.5	17.0	17.5	18.0	18.5	19.0
31.0	19	22	24	27	28	31
31.5	18	21	23	25	27	30
32.0	17	20	21	24	25	28
32.5		19	20	23	24	27
33.0		17	19	21	23	25
33.5		16	18	20	22	24
34.0		15	16	19	20	22
34.5				18	19	21
35.0				17	18	20

5. Исследование освещенности рабочих мест. Оценка освещенности рабочего места. Нормализация освещенности

В методических указаниях рассмотрены способы измерений, методы расчета и контроля освещенности рабочих мест.

Цель работы: ознакомление с приборами и методами определения фактической и расчетной освещенности и сравнение результатов с принятыми нормами освещенности.

Основные теоретические сведения

Освещение – использование световой энергии солнца и искусственных источников света для обеспечения зрительного восприятия окружающего мира. Свет является естественным условием жизни человека, необходимым для здоровья и высокой производительности труда.

Недостаточное освещение снижает зрительное восприятие, вызывает утомление глаз (основная информация об окружающем мире – около 90% – поступает через зрительное восприятие, основанное на работе зрительного анализатора, самого тонкого и универсального органа чувств), развивает близорукость, головную боль, влияет на центральную нервную систему. Неправильно организованное освещение снижает производительность труда, качество работы, может служить причиной производственных травм. Длительная работа в условиях недостаточной освещенности приводит к профессиональному заболеванию глаз – миопии (близорукости).

Именно поэтому гигиенически рациональное производственное освещение имеет огромное положительное значение.

С точки зрения физики, свет – это видимые глазом электромагнитные волны оптического диапазона длиной 380–760 нм, воспринимаемые сетчатой оболочкой зрительного анализатора. Лучше всего глазом воспринимаются лучи с длиной волны 555 нм (желто-зеленого цвета).

Освещенность E – это поверхностная плотность светового потока в данной точке. За единицу освещенности принят люкс (лк). 1 лк – это равномерная освещенность одного квадратного метра поверхности S световым потоком Φ в 1 люмен (лм):

$$E = \frac{F}{S}. \quad (5.1)$$

Под рациональным освещением понимают достаточную освещенность рабочих поверхностей, равномерное ее распределение, отсутствие в поле зрения резких теней и бликов.

Рабочая поверхность – поверхность стола, верстака, части оборудования или изделия, на которой производится работа и нормируется или измеряется освещенность.

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

Нормативная освещенность – освещенность, которую необходимо создать на рабочей поверхности для того, чтобы работа могла производиться с наименьшим утомлением глаз. Нормативная освещенность задана в СНиП 23-05–95 «Естественное и искусственное освещение».

Системы и виды освещения

При освещении производственных помещений используют:

1 – *естественное освещение* – создается прямыми солнечными лучами и рассеянным светом небосвода; меняющимся в зависимости от географической широты, времени года и суток, степени облачности и прозрачности атмосферы;

2 – *искусственное освещение* – создается электрическими источниками света;

3 – *совмещенное освещение* (смешанное) – когда недостаточное по нормам естественное освещение дополняют искусственным.

Конструктивно *естественное освещение* подразделяют на:

– боковое (одно- и двухстороннее), осуществляемое через световые проемы в наружных стенах;

– верхнее – через световые проемы (фонари) в кровле и перекрытиях;

– комбинированное – сочетание верхнего и бокового освещения.

Искусственное освещение по конструктивному исполнению может быть рабочим.

Рабочее освещение подразделяется на: *общее; местное (локальное); комбинированное.*

Систему общего освещения применяют в помещениях, где по всей площади выполняются однотипные работы (литейные, сварочные, гальванические цехи), а также в административных, конторских и складских помещениях. Различают общее равномерное освещение, (световой поток распределяется равномерно по всей площади без учета расположения рабочих мест) и общее локализованное освещение (с учетом расположения рабочих мест).

При выполнении точных зрительных работ (например, слесарных, токарных, контрольных) в местах, где оборудование создает глубокие, резкие тени или рабочие поверхности расположены вертикально (штампы, гильотинные ножницы), наряду с общим освещением применяют *местное*. Совокупность местного и общего освещения называют *комбинированным освещением*.

Применение одного местного освещения внутри производственных помещений не допускается, поскольку образуются резкие тени, зрение быстро утомляется и создается опасность производственного травматизма.

Виды искусственного освещения

По функциональному назначению искусственное освещение подразделяют на:

1) *рабочее* – предназначено для обеспечения нормального выполнения производственного процесса, прохода людей, движения транспорта и является обязательным для всех производственных помещений;

2) *аварийное* – устраивают для продолжения работы в тех случаях, когда внезапное отключение рабочего освещения (при авариях) и связанное с этим нарушение нормального обслуживания оборудования могут вызвать взрыв, пожар, отравление людей, нарушение технологического процесса и т. д. Минимальная освещенность рабочих поверхностей при аварийном освещении должна составлять 5% нормируемой освещенности рабочего освещения, но не менее 2 лк;

3) *эвакуационное* – предназначено для обеспечения эвакуации людей из производственного помещения при авариях и отключении рабочего освещения; организуется в местах, опасных для прохода людей: на лестничных клетках, вдоль основных проходов производственных помещений, в которых работают более 50 чел. Минимальная освещенность на полу основных проходов и на ступеньках при эвакуационном освещении должна быть не менее 0,5 лк, на открытых территориях – не менее 0,2 лк;

4) *охранное* – устраивают вдоль границ территорий, охраняемых специальным персоналом. Наименьшая освещенность в ночное время 0,5 лк;

5) *сигнальное* – применяют для фиксации границ опасных зон; оно указывает на наличие опасности либо на безопасный путь эвакуации.

Основные требования к производственному освещению. Основной задачей производственного освещения является поддержание на рабочем месте освещенности, соответствующей характеру зрительной работы.

6) *дежурное* – для освещения помещений в ночное время (офисы, магазины и др.).

Нормирование производственного освещения

Естественное (ЕО) и искусственное (ИО) освещение в помещениях **нормируются** СНиП 23-05-95 *в зависимости от:*

- характера зрительной работы;
- системы и вида освещения;
- фона;
- контраста объекта с фоном.

Характеристика зрительной работы определяется наименьшим размером объекта различения (например, при работе с приборами – толщиной линии градуировки шкалы, при чертежных работах – толщиной самой тонкой линии). В зависимости от *размера объекта различения* все виды работ, связанные со зрительным напряжением, делятся на *восемь разрядов*, которые в свою очередь в зависимости от фона и контраста объекта с фоном делятся на четыре подразряда. В основу первых семи разрядов положен размер объекта различения. Восьмой разряд не требует большой точности и служит для наблюдения за ходом технологического процесса.

Искусственное освещение нормируется количественными (минимальной освещенностью E_{min}) и *качественными показателями* (показателями ослепленности и дискомфорта, коэффициентом пульсации освещенности K_e). Принято раздельное нормирование искусственного освещения в зависимости от применяемых источников света и системы освещения. Нормативное значение освещенности для газоразрядных ламп при прочих равных условиях из-за их большей светоотдачи выше, чем для ламп накаливания. При комбинированном освещении доля общего освещения должна быть не менее 10% нормируемой освещенности. Эта величина должна быть не менее 150 лк для газоразрядных ламп и 50 лк для ламп накаливания.

Естественное освещение зависит от времени года, времени суток, погоды. Поэтому в качестве критерия оценки естественного освещения принята относительная величина – *коэффициент естественной освещенности КЕО*, выраженная в процентах:

$$КЕО (e) = (E_{вн} / E_{нар}) \cdot 100\%, \quad (5.2)$$

где $E_{вн}$ – освещенность горизонтальной поверхности внутри помещения, лк;
 $E_{нар}$ – освещенность снаружи, лк.

Естественное освещение

Если естественное освещение создается оконными проемами, то нормативная освещенность должна обеспечиваться в точке, находящейся на расстоянии 1 м от противоположной окну стены помещения.

Требуемый по нормам КЕО должен быть учтен при проектировании или реконструкции здания.

Помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь *естественное освещение*.

Рекомендуемые значения КЕО зависят от характера выполняемой работы и изменяются от 2,5 до 7%. Если величина естественной освещенности ниже допустимого уровня, требуется искусственное освещение.

При наличии бокового естественного освещения с учетом характеристик помещения приближенное *расчетное значение* КЕО равно (%):

$$e_p = (100 \cdot S_0 \cdot \tau_0 \cdot r_1) / (S_{\text{п}} \cdot K_3 \cdot \eta_0 \cdot K_{\text{зд}}), \quad (5.3)$$

где S_0 – площадь световых проемов (окон) в свету, м^2 ;

$S_{\text{п}}$ – площадь пола помещения, м^2 ;

K_3 – коэффициент запаса (для учебного помещения равен 1,2);

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

$K_{\text{зд}} = 1$;

η_0 – световая характеристика окон (см. Приложение, таблица 1);

r_1 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию (см. Приложение, таблица 2);

τ_0 – общий коэффициент светопропускания:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5, \quad (5.4)$$

где τ_1 – коэффициент светопропускания материала (стекла) (см. Приложение, таблица 3);

τ_2 – коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема (см. Приложение, таблица 4);

τ_3 – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях, при боковом освещении $\tau_3 = 1$;

τ_4 – коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах (жалюзи, шторах) (см. Приложение, таблица 5);

τ_5 – коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке фонарей, при боковом освещении $\tau_5 = 1$.

Нормированное значение КЕО:

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (5.5)$$

где e_H – значение КЕО (см. Приложение, таблица 6);

m_N – коэффициент светового климата (см. Приложение, таблица 7).

Искусственное освещение

Этот вид освещения создается на рабочих поверхностях с помощью источников искусственного света: ламп накаливания или газоразрядных, размещенных в специальной арматуре, осветительных приборах (светильниках и прожекторах). Освещенность рабочей поверхности при искусственном освещении определяется мощностью источников света, их количеством, расстоянием до рабочей поверхности.

Выбор системы освещения исходит из учета ряда факторов, в том числе и из конструктивных соображений. Расчет системы освещения производят различными методами: коэффициента использования светового потока, точечным, по удельной мощности.

Контроль освещенности рабочего места при искусственном освещении наряду с измерениями произведем *точечным методом*.

Определяем высоту подвеса h_p источника света над рабочей поверхностью (столом) и расстояние d от перпендикуляра, опущенного от центра светильника на горизонтальную поверхность, до интересующей нас точки. Определяем:

$$\operatorname{tg} \alpha = d / h_p. \quad (5.6)$$

Угол $\alpha = 15^\circ, 35^\circ, 45^\circ$; $d = 0,5 \text{ м}, 1 \text{ м}, 1,5 \text{ м}$.

Тогда $\operatorname{tg} \alpha_1 = 0,5 / 1,5 = 0,33$ (для $\alpha = 15^\circ$);

$\operatorname{tg} \alpha_2 = 1 / 1,5 = 0,66$ (для $\alpha = 35^\circ$);

$\operatorname{tg} \alpha_3 = 1,5 / 1,5 = 1,0$ (для $\alpha = 45^\circ$).

По таблице 8 Приложения определим силу света I_α светильника (с условной лампой с потоком 1000 лм) в данном направлении (соответствующую углу α), кд.

Условная освещенность от одиночного светильника (лк):

$$E_y = I_\alpha \cos^3 \alpha / h_p^2. \quad (5.7)$$

Значения $\cos^3 \alpha$:

$\cos^3 15 = 0,96^3 = 0,88$;

$\cos^3 35 = 0,82^3 = 0,55$;

$\cos^3 45 = 0,7^3 = 0,34$;

Если светильников несколько, то

$$E_y = \sum E_{yi} \cdot K, \quad (5.8)$$

где E_{yi} – условная освещенность от i -того светильника, лк;

K – коэффициент, учитывающий влияние отраженного света и удаленных светильников, $K = 1,2$ – $1,5$.

Расчетная освещенность в интересующей нас точке (лк):

$$E_p = E_y \cdot F_{\text{л}} \cdot n / 1000, \quad (5.9)$$

где $F_{\text{л}}$ – световой поток источника света (лампы), лм (см. Приложение, таблица 9);
 n – количество ламп в светильнике, шт.

Нормированное значение освещенности E_n рабочей поверхности приведено в таблице 6 Приложения.

Расчет искусственного освещения методом коэффициента использования светового потока

Метод коэффициента использования светового потока применим при условии, если выдержаны рекомендуемые соотношения расстояния между светильниками к высоте их подвеса. Световой поток лампы определяется по формуле (лм):

$$F_{\text{л}} = \frac{E_n \cdot k \cdot S \cdot z}{\eta \cdot N \cdot n}, \quad (5.10)$$

где $F_{\text{л}}$ – световой поток каждой лампы, лм;

E_n – номинальная нормируемая освещенность для данного разряда работ, лк;

k – коэффициент запаса (принимается по таблице 5.1);

S – площадь помещения, м²;

z – коэффициент неравномерности освещения (отношение средней освещенности к минимальной);

η – коэффициент использования светового потока (в долях единицы);

N – число светильников общего освещения, шт;

n – число ламп в светильнике (для люминесцентных ламп).

Для перехода к определению потребного количества светильников число их в начале подбирают по конфигурации помещения при наивыгоднейшем их расположении. Затем в порядок расчета входит определение *индекса помещения* (геометрических размеров помещения и коэффициентов отражения светового потока: от потолка – $\rho_{\text{пот}}$, от стен – $\rho_{\text{ст}}$, от пола – $\rho_{\text{пола}}$).

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h_{\text{рас}} \cdot (A + B)}, \quad (5.11)$$

где S – площадь помещения, м²;

$h_{\text{рас}}$ – расчетная высота (расстояние от светильника до рабочей поверхности), м;

A, B – длина и ширина помещения, м.

На величину коэффициента использования светового потока и тех же значениях h оказывает влияние отражающая способность потолка, стен, рабочей поверхности и пола, характеризуемая соответственно коэффициентами отражения. Фактическое значение этих коэффициентов определять трудоемко и сложно, поэтому рекомендуется применять ориентировочные значения.

Обычно руководствуются следующей оценкой:

- коэффициент отражения побеленного потолка $\rho_{\text{пот}} = 70\%$;
- коэффициент отражения покрашенных в светлые тона стен при незавешенных окнах $\rho_{\text{ст}} = 50\%$;
- коэффициент отражения серой поверхности рабочих столов и пола $\rho_{\text{пола}} = 30\%$.

Таблица 5.1. Значение коэффициента запаса k

Освещаемые объекты	Коэффициент запаса	
	при газоразрядных лампах	при лампах накаливания
Производственные помещения при содержании в воздухе пыли, дыма и др., мг/м ³ :		
> 10 – темной	2	1,7
> 10 – светлой	1,8	1,5
5–10 – темной	1,8	1,5
5–10 – светлой	1,6	1,4
< 5	1,5	1,3
Помещения с особым режимом по чистоте при светильниках нижнего обслуживания	1,3	1,5
Вспомогательные помещения с нормальной средой и помещения общественных и жилых зданий	1,5	1,3
Территория городов и предприятий	1,5	1,3

Входящий в формулу (5.10) коэффициент z , характеризующий неравномерность освещения, является функцией многих переменных. В наибольшей степени он зависит от отношения расстояния между светильниками L к расчетной высоте $h_{\text{рас}}$, с увеличением которого сверх рекомендуемых значений z резко возрастает. Можно принять $z = 1,15$ для ламп

накаливания и дуговых ртутных ламп (ДРЛ); $z = 1,1$ – для люминесцентных ламп.

Рассчитаем количество необходимых светильников для общего освещения по формуле

$$N = \frac{E_n \cdot k \cdot S \cdot z}{F_{\text{л}} \cdot \eta \cdot n} \quad (5.12)$$

Для определения коэффициента использования светового потока η находим индекс помещения по формуле (5.11), где A – длина помещения, $A = 11,5$ м; B – ширина помещения, $B = 5,6$ м; $h_{\text{рас}}$ – высота светильника до рабочей поверхности, которая определяется по формуле

$$h_{\text{рас}} = H_{\text{пом}} - h_{\text{св}} - h_{\text{раб. пов}}, \quad (5.13)$$

где $H_{\text{пом}}$ – высота помещения, $H_{\text{пом}} = 3$ м;

$h_{\text{св}}$ – высота светильника до перекрытия, $h_{\text{св}} = 0,1$ м;

$h_{\text{раб. пов}}$ – высота рабочей поверхности от пола, $h_{\text{раб. пов}} = 0,8$ м.

Тогда $h_{\text{рас}} = 3 - 0,1 - 0,8 = 2,1$ (м).

$$i = \frac{A \cdot B}{h_{\text{рас}} \cdot (A + B)} = \frac{11,5 \cdot 5,6}{2,1 \cdot (11,5 + 5,6)} = \frac{64,4 \text{ м}^2}{2,1 \text{ м} \cdot 17,1} = \frac{64,4}{35,9} = 1,8.$$

Для помещений практически не ограниченной длины можно считать $i = B/H$. Для упрощения определения i служит таблица 5.2. В одной из трех верхних строк, в зависимости от оцененного отношения $A : B$, находится значение h , ближайшее к заданному, движением вниз по столбцу находятся два значения площади, между которыми заключено заданное значение, а двигаясь вправо до столбца «индексы», находится значение i .

Таблица 5.2. Таблица для определения индекса помещения

Форма помещения		Расчетная высота, $h_{\text{рас}}$, м					
A : B	1–1,5	1,8	2,0	2,2	2,4	и т. д.	I
	1,5–2,5	1,7	1,9	2,1	2,3	и т. д.	
	2,5–3,0	1,6	1,8	1,9	2,1	и т. д.	
S, м ²		4	5	6	7	и т. д.	0,5
		14,6	17,6	22	26	и т. д.	1,0
		18	23	27	33	и т. д.	1,1
		25	31	37	45	и т. д.	1,5
		35	43	52	62	и т. д.	1,75
		47	57	69	83	и т. д.	1,75
		60	73	84	107	и т. д.	2,0

Итак, по таблице 5.2 находим $i = 1,75$, $h_{\text{рас}} = 2,1$ м, отношение $A : B = 11,5$ м: $5,6$ м = 2, т. е. выбираем строку (1,5–2,5), $h_{\text{рас}} = 2,1$ м, S – площади помещения = $64,4 \text{ м}^2$ (ближайшее значение по таблице 69 м^2 , что соответствует табличному значению $i = 1,75$ (по расчету $i = 1,8$). Берем табличное значение.

По таблице значение $0,5 \leq i \leq 5$.

Определим коэффициенты отражения: от потолка $\rho_{\text{пот}} = 70\%$, от стен $\rho_{\text{ст}} = 50\%$, от пола $\rho_{\text{пола}} = 30\%$.

$$\eta = f(i, \rho_{\text{пот}}, \rho_{\text{ст}}, \rho_{\text{пола}}). \quad (5.14)$$

Таблица 5.3. Коэффициенты использования светового потока для светильников с люминесцентными лампами

Тип светильника	Светильники восьмой группы				
$\rho_{\text{пот}}, \%$	70	70	50	50	0
$\rho_{\text{ст}}, \%$	50	50	50	30	0
$\rho_{\text{пола}}, \%$	30	10	10	10	0
i	Коэффициенты использования $\eta, \%$				
0,5	23	20	20	17	10
...					
1,0	41	38	35	31	23
...					
1,5	49	45	42	38	30
1,75	50	47	44	41	32
2,0	52	49	45	42	33

И так далее до значения $i = 5$.

В нашем случае при $i = 1,75$, $\rho_{\text{пот}} = 70\%$, $\rho_{\text{ст}} = 50\%$, $\rho_{\text{пола}} = 30\%$, $\eta = 50\%$ (0,5).

В качестве светильников для общего освещения принимаем ЛПО (02) 40 с напряжением 220 В, частотой 50 Гц – светильники люминесцентные, потолочные для общего освещения, двухламповые. В качестве источника света используем люминесцентную лампу ЛБ 40-4 (световой поток $F_{\text{л}} = 2850$ лм).

По формуле (5.12) находим число светильников. Принимаем для расчета:

$E_{\text{ном}} = 400$ лк для разряда зрительных работ высокой точности IIIa (размер объекта различения от 0,3 до 0,5 мм);

световой поток лампы $F_{\text{л}} = 2850$ лк (из таблицы 9 Приложения);

коэффициент запаса $k = 1,5$ (из таблицы 5.1);

коэффициент неравномерности освещения $z = 1,1$;
количество ламп в светильнике $n = 2$.

$$N = \frac{E_n \cdot k \cdot S \cdot z}{F_d \cdot \eta \cdot n} = \frac{400 \cdot 1,5 \cdot 64,4 \cdot 1,1}{2850 \cdot 0,5 \cdot 2} = \frac{42\,604}{2850} = 14,3.$$

Принимаем 15 штук.

Размещаем 15 светильников в 3 ряда по 5 светильников в каждом ряду по длине помещения. Расстояние от стен (внутренней и наружной), а также между рядами светильников составляет 1400 мм. Расстояние от боковых стен до первых светильников каждого ряда составляет 1000 мм, расстояние между светильниками в каждом ряду составляет 800 мм.

Описание системы освещения и измерительных устройств

Помещение лаборатории имеет совмещенное освещение (естественное и искусственное).

Естественное освещение – боковое (оконные проемы). Переплеты для окон деревянные, двойные раздельные. Стекло листовое двойное. Солнцезащитные устройства – жалюзи.

Общее искусственное освещение выполнено с применением люминесцентных ламп ЛБ 40-4 и светильников типа ЛПО (02) 40.

Используемый прибор для измерения освещенности – люксметр Ю 116. Питание прибора осуществляется преобразованной световой энергией. Прибор имеет двойную шкалу измерений и снабжен датчиком и набором светофильтров для увеличения диапазона измерения. Градации шкалы: 10:1; 100:1; 1000:1. Например, при использовании светофильтра 100:1 показания прибора следует увеличить в 100 раз. К датчику прилагается полусфера. Рулетка необходима для измерения размеров окон и помещения.

Порядок выполнения работы

1. Для приведения люксметра в рабочее положение на датчик установить светофильтр (для начала рекомендуется 10:1) и полусферу.

2. Произвести измерения освещенности при естественном освещении.

Освещенность внутри помещения $E_{вн}$ измеряется на уровне поверхности стола (рабочего места) на расстоянии 1 м от противоположной окнам стены. Замеры произвести на четырех рабочих местах.

Наружная горизонтальная освещенность $E_{\text{нар}}$ должна измеряться с наружной стороны окон на том же уровне, что и $E_{\text{вн}}$. Если измерение $E_{\text{нар}}$ с наружной стороны затруднено, допускается измерить $E_{\text{нар}}$ с внутренней стороны окна (при этом показания прибора следует увеличить ориентировочно в 2 раза).

3. С помощью рулетки определить площадь S_0 проемов окон, длину A , глубину (ширину) помещения B , высоту от уровня рабочей поверхности стола до верхней границы окна h , удаление расчетной точки от наружной стены L .

4. Определить по формулам (5.2), (5.3) и (5.5) фактический КЕО (e), расчетный e_p , нормированный e_N .

5. Сравнить фактический и расчетный КЕО с нормируемым и сделать вывод о достаточности освещенности рабочего места при естественном освещении. Закрыв окна жалюзи и включив электрическое освещение, произвести измерения фактической освещенности E рабочего места при искусственном освещении. Замеры выполнить в двух точках (смещение точек принять в плоскости, поперечной люминесцентной лампе).

7. Измерить с помощью рулетки высоту подвеса h_n и расстояния d до расчетных точек.

8. По формулам (5.6), (5.7), (5.8) и (5.9) вычислить в итоге расчетную освещенность E_p в заданных точках.

9. Фактическую и расчетную освещенность сравнить с нормированной E_n и сделать вывод о достаточности освещенности рабочего места при искусственном освещении.

10. Выключить электрическое освещение и убрать жалюзи.

11. Сдать измерительные приборы преподавателю.

12. Оформить и представить преподавателю отчет о проделанной работе.

Содержание отчета

1. Титульный лист.

2. Цель работы.

3. Краткое описание систем освещения и измерительных приборов.

4. Результаты измерений и вычислений в табличной форме (таблицы 5.4, 5.5).

5. После каждой таблицы – соответствующие расчеты.

6. Выводы.

Таблица 5.4. Естественное освещение

№ раб. Мест	$E_{вн},$ лк	$E_{нар},$ лк	$L_n,$ М	$A,$ М	$B,$ м	$h,$ м	КЕО(е), %	$e_p,$ %	$e_N,$ %
1									
2									
3									
4									

Таблица 5.5. Искусственное освещение

№ точек	$h_p,$ м	$d,$ м	$\alpha,$ град	$I_a,$ кд	$E_y,$ лк	$E_{факт},$ лк	$E_p,$ лк	$E_n,$ лк

Контрольные вопросы

1. Назовите системы освещения.
2. Назовите виды искусственного освещения.
3. Назовите виды естественного освещения.
4. Как определяется характеристика зрительной работы?
5. Сколько разрядов зрительных работ существует?
6. В чем заключается сущность расчета электрического освещения методом коэффициента использования светового потока?
7. Каков принцип действия и устройство люксметра?
8. Как осуществляется нормирование освещения?
9. Что такое коэффициент естественной освещённости КЕО, в какой точке помещения нормируется минимальное значение КЕО?

Литература

1. СНиП 23-05–95. Естественное и искусственное освещение. Москва: ФГУП ЦПП, 2003.
2. Справочная книга для проектирования электрического освещения / под ред. Г. М. Кнорринга. Санкт-Петербург: Энергоатомиздат, 1992. 448 с.
3. Безопасность жизнедеятельности. Ч. 2: Инженерные решения при проектировании условий, обеспечивающих безопасность деятельности: учеб. пособие / под ред. А. А. Шайдорова, И. А. Ланцева; Новгородский гос. ун-т им.

Ярослава Мудрого. Великий Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого НовГУ им. Ярослава Мудрого, 1995. 120 с.

4. Белов С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (Техносферная безопасность): учебник для вузов. Москва: Юрайт, 2016. 701 с.

5. Гладких С. Н., Гладких Ю. Н. Безопасность жизнедеятельности в условиях производства (Охрана труда): учеб. пособие. Новгородский гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. Великий Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2006. 176 с.

Приложение

Таблица 1. Значения световой характеристики η_0 окон при боковом освещении

L_n / B	Значение η_0 при B/h			
	1,5	2	3	4
3	8	8,5	9	10
2	9	9,5	10,5	11,5
1,5	10,5	13	15	17
1	15	16	18	21
0,5	23	31	37	45

Таблица 2. Значения коэффициента r_l при боковом освещении (при средневзвешенном коэффициенте отражения потолка, стен и пола $\rho_{cp} = 0,4$)

B/h	L/B	r_l при L_n / B		
Более 1,5 до 2,5	0,5	1,5	1,35	1,2
	0,7	1,7	1,6	1,3
	1	2,8	2,4	1,8
Более 2,5 до 3,5	0,6	1,6	1,45	1,3
	0,7	1,9	1,7	1,4
	0,8	2,4	2,2	1,55
	0,9	2,9	2,45	1,9
	1	3,6	3,1	2,4

Таблица 3. Значения коэффициента τ_l

Вид светопропускающего материала	τ_l
1. Стекло оконное листовое: – одинарное; – двойное; – тройное	0,9 0,8 0,75
2. Стекло витринное толщиной 6–8 мм	0,8
3. Стекло листовое армированное	0,6
4. Стекло листовое узорчатое	0,65

Таблица 4. Значения коэффициента τ_2

Вид переплета	τ_2
Переплеты для окон жилых и общественных зданий:	
1. Деревянные:	
– одинарные;	0,8
– спаренные;	0,7
– двойные раздельные	0,6
2. Металлические:	
– одинарные;	0,9
– спаренные;	0,8
– двойные раздельные	0,8

Таблица 5. Значения коэффициента τ_4

Солнцезащитные устройства	τ_4
1. Убирающиеся регулируемые жалюзи и шторы	1
2. Стационарные жалюзи с защитным углом не более 45° при расположении пластин жалюзи под углом 90° к плоскости окна:	
– горизонтальные;	0,65
– вертикальные	0,75

Таблица 6. Выдержка из требований к освещению помещений жилых, общественных и административно-бытовых зданий (СНиП 23-05-95)

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Относительная продолжительность работы при направлении зрения на рабочую поверхность, %	Естественное боковое освещение КЕО (e_n), лк	Искусственное освещение на рабочей поверхности от системы общего освещения E_n , лк
Различение объектов при фиксированной и нефиксированной линии зрения: очень высокой точности	0,15–0,3	A	1	≥ 70	1,5	500
			2	< 70	1,2	400
высокой точности	0,3–0,5	B	1	≥ 70	1,0	300
			2	< 70	0,7	200
средней точности	$> 0,5$	B	1	≥ 70	0,5	150
			2	< 70	0,5	100

Таблица 7. Коэффициент светового климата для Новгородской области (СНиП 23-5-95)

Расположение световых проемов	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта	m_N
В наружных стенах зданий	С, СВ, СЗ, З, В	1,1
	Ю, ЮВ, ЮЗ	1,0

Таблица 8. Сила света светильников I_α , отнесенная к потку ламп 1000 лк

I_α , кд при светильнике типа								
α , град	с лампами накаливания				с люминесцентными лампами (в поперечной плоскости)			
	УМП-15, Астра-1, 11, 12	ППД-100 (200)	НСП02 НСП03	НПП01	ШОД	ОЛС-3 (одна лампа)	УСП	ЛПО02
0	238	177	62	124	172	89	194	160
5	229	178	58	124	170	91	192	160
15	215	190	58	119	164	97	184	164
25	204	190	72	111	148	105	172	166
35	195	172	69	100	134	110	154	159
45	164	160	72	90	102	113	121	135
55	145	137	73	80	68	113	95	86
65	122	114	74	73	48	111	70	67
75	76	44	70	63	39	106	45	57
85	7	7	66	54	38	99	24	51
90	3	1	64	46	38	96	—	52

Таблица 9. Световой поток ламп

Типы ламп	Мощность, Вт	Длина лампы, мм	Диаметр, мм	Световой поток, F_λ , лм
Лампы накаливания				
В	25	107	61	220
Б	40	114	61	400
Б	60	114	61	715
Б	100	129	66	1350
БК	100	105	61	1450
Г	150	175	81	2100
Г	200	175	81	2800
Г	300	240	112	4600
Г	500	240	112	8300
Люминесцентные лампы				
ЛДЦ 40-4	40	1213	40	1995
ЛД 40-4	40	1213	40	2225
ЛБ 40-4	40	1213	40	2850
ЛДЦ 65-4	65	1514	40	2900
ЛТБ 65-4	65	1514	40	3780
ЛДЦ 80-4	80	1514	40	3380
ЛД 80-4	80	1514	40	3865
ЛХБ 150	150	1524	40	8000

6. Анализ производственного шума. Оценка шума на рабочем месте. Борьба с шумом. Защита от акустических колебаний

Цель работы: ознакомить студентов с действием шума на организм человека, с санитарными нормами по ограничению шума, с приборами и методикой исследования производственного шума, способами и средствами защиты от его воздействия на человека в производственных условиях.

В результате выполнения работы студент должен знать: приборы измерения шума, правила пользования ими, изменение шума при применении экранов, перегородок, кожухов, изменение интенсивности шума при изменении расстояния от источника шума до мест замера, нормы шума.

Студент должен уметь: правильно пользоваться контрольно-измерительной аппаратурой, правильно производить измерения, дать оценку защитным мероприятиям и правильно выбрать эффективный способ и средство защиты от шума.

Содержание работы:

1. Изучить приборы для измерения шума.
2. Произвести измерения шума:
 - а) без звукоизолирующих перегородок;
 - б) со звукоизолирующими перегородками;
 - в) со звукоизолирующим кожухом.
3. Результаты замера сравнить с санитарными нормами и сделать вывод.
4. Определить расчётным путём звукоизолирующую способность кожуха или ограждающей перегородки и сравнить с результатом замера.

Основные теоретические сведения

Шум представляет собой сочетание звуков разной интенсивности и высоты, беспорядочно изменяющихся во времени и оказывающих вредное или раздражающее влияние на организм человека. Для понимания физических основ образования и распространения шума, его восприятия человеком и влияния на организм следует рассматривать звук как составную часть всякого шума, включая производственный, коммунальный, бытовой и т. д. Шум в производственных помещениях ухудшает условия труда, снижает его производительность, приводит к профессиональным заболеваниям, увеличивает вероятность травматизма. Действие шума зависит от силы, частоты и продолжительности звука. Человек воспринимает в виде звука колебания с частотой от 20 до 20 000 Гц при интенсивности 20–130 дБ.

Человек с нормальным слухом более интенсивный звук, т. е. с большей энергией, воспринимает как громкий, менее интенсивный – как тихий. Международной организацией по стандартизации (ИСО) приняты минимальные значения энергии (J_0) и звукового давления (P_0), которые воспринимает орган слуха человека. Такими минимальными значениями на пороге слухового восприятия (называется *порог слышимости*) для силы звука (J_0) является величина, равная 10–12 Вт/м² на частоте 2000 Гц, и соответствующее ей звуковое давление (P_0) – $2 \cdot 10^{-5}$ Па ($2 \cdot 10^{-5}$ Н/м²). Разница в энергии или давлении звуков, определяемых ухом человека, огромна и выражается величиной, в 10 раз больше, чем норма слышимости. По закону Вебера – Фехнера восприятие нарастает пропорционально не силе раздражения, а логарифму его силы. Поэтому для оценки условия силы звука (шума) пользуются не физическими (давление, энергия), а относительными величинами, основанными на субъективном слуховом восприятии звуков.

Такой величиной в настоящее время является единица бел (Б) – степень логарифмической шкалы: таблица 6.1.

Как видно из таблицы, каждое увеличение силы звука (звукового давления) в 10 раз воспринимается как возрастание интенсивности восприятия на единицу. Как было сказано, диапазон звукового давления, воспринимаемый ухом, очень большой.

Таблица 6.1. Зависимость между силой звука и интенсивностью восприятия человеком громкости

Сила звука	Интенсивность восприятия	Сила звука	Интенсивность восприятия
1	0	10^7	7
10	1	10^8	8
10^2	2	10^9	9
10^3	3	10^{10}	10
10^4	4	10^{11}	11
10^5	5	10^{12}	12
10^6	6	10^{13}	13
		10^{14}	14

От едва различаемого (порога слышимости) до величин, вызывающих неприятные болевые ощущения (порог болевых ощущений), – 13–14 бел. Поэтому для практических целей пользуются не единицами бел, а величиной, в 10 раз меньше, называемой децибел (дБ). Уровень силы звука, выраженный в децибелах, ещё не позволяет судить о физиологическом ощущении громкости

звука, т. к. наши органы слуха не одинаково чувствительны к звукам различных частот. Так, звуки, равные по силе, но разной частоты, могут сказаться не одинаково громкими. Поэтому введено понятие уровня громкости, который измеряется в фонах. При частоте 1000 Гц уровень громкости, измеряемый в фонах, и уровень звука, измеряемый в децибелах (дБ), равны.

Частота в 1000 Гц названа стандартной, и её используют как эталонную для оценки уровня громкости шума. Таким образом, децибел – это условная единица, показывающая, насколько данный звук в логарифмических значениях больше условного порога слышимости.

Для сравнения, в качестве примера приводятся относительные величины интенсивности звуков от разных источников:

- шепотная речь – 20 дБ;
- звук часов – 30 дБ;
- нормальный разговор – 60 дБ;
- мотоцикл, поезд метро – 100 дБ (уровень 80 дБ – опасный);
- громкая музыка – 110 дБ;
- сирена воздушной тревоги – 130 дБ (уровень 120–130 дБ – порог болевых ощущений);
- реактивный самолёт (при взлёте) – 150 дБ;
- шумовое оружие 190 дБ (смертельный уровень – 180 дБ).

Допустимые уровни звукового давления установлены санитарными нормами (Приложение 1). Как видно из таблицы 2 приложения 1, параметрами шума являются уровни в децибелах среднеквадратичных звуковых давлений в активных полосах частот со среднегеометрическими частотами: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц, определённые по формуле 6.1:

$$L = 20 \lg \frac{P}{P_0} \frac{\text{н/м}^2}{\text{н/м}^2}, \quad (6.1)$$

где L – допустимый уровень шума в децибелах;

P – измеренный уровень звукового давления;

P_0 – пороговая величина звукового давления (порог слышимости), равный $2 \cdot 10^{-5}$ н/м².

Интервал частот, заключённый между двумя граничными частотами, из которых верхняя вдвое больше нижней, называется октавой. Октава может быть разделена на более мелкие интервалы частот 1/3, 1/6 октавы и т. д.

Средней частотой октавной полосы является среднегеометрическая частота, вычисляемая по выражению:

$$f_{cp} = \sqrt{f_1 \cdot f_2}, \quad (6.2)$$

где f_1 и f_2 – верхняя и нижняя граничные частоты октавной полосы.

Борьба с производственными шумами производится следующими основными методами:

1. Устранение причин шума или ослабление его в источнике.
2. Поглощение шума на пути его распространения в помещении.
3. Изоляция источников образования шума.
4. Виброглушащие устройства.

Первый метод борьбы с шумом является наиболее рациональным, но его применение связано с изменением конструкций оборудования или заменой технологических процессов.

В процессе конструирования машины необходимо предусматривать замену металлических деталей деталями из пластмассы, более тщательное статическое и динамическое уравнивание вращающихся деталей и узлов машин, замену ударных процессов безударными. Эффективное снижение шума достигается при применении специальных приспособлений и устройств.

Второй метод: в замкнутых помещениях звуковые волны, многократно отражаясь от стен, потолка, пола, оборудования, увеличивают шум в помещении от источника на 10–15 дБ, по сравнению с шумом от того же источника на открытом воздухе. Поэтому снижение уровня шума в помещении достигается применением звукопоглощающих материалов, которыми покрывают внутренние поверхности стен, а также оборудования. Звукопоглощающие качества материалов и конструкций характеризуются величиной коэффициента звукопоглощения, который показывает отношение поглощенной звуковой энергии к энергии падающего на материал звука:

$$\alpha = \frac{E_{пад} - E_{отр}}{E_{пад}} = \frac{E_{полг}}{E_{пад}}. \quad (6.3)$$

Коэффициент поглощения определяется экспериментально по стандартной методике в реверберационной камере в диффузионном (рассеянном, отражённом) звуковом поле.

Его величина колеблется в широких пределах от $\alpha = 0,01$ для листового железа до $\alpha = 1$ для открытого окна.

Третий метод – применение звукоизолирующих ограждений. Сущность звукоизоляции состоит в том, что шумное помещение отгораживается от тихого (или наоборот) перегородкой или стеной, не пропускающей звуковые волны, а

также с применением многослойных перегородок со сплошными воздушными промежутками, а также использование гибких связей между слоями, а также применение материалов с большим внутренним трением.

Для строительных одностенных конструкций звукоизолирующая способность ограждения R приблизительно может быть рассчитана по весу конструкции:

$$R = 13,5 \lg G + 13, \text{ дБ}, \quad (6.4)$$

где G – вес 1 м² ограждения, кг.

Формула (6.4) справедлива для материалов, у которых $G < 200$ кг/м².

Для ограждений с $G > 200$ кг/м² можно пользоваться формулой:

$$R = 23 \lg G - 9, \text{ дБ}. \quad (6.5)$$

В практике работы часто приходится применять звукоизолирующие кожуха. Кожух изготавливается из кровельного железа, досок, войлока, и т. д. Рекомендуются использовать в качестве изолирующих материалов стекловату или шлак.

Ослабление шума кожухом приблизительно определяется по формуле:

$$\Delta L = 20 \lg m f + 10 \lg \alpha - 60, \text{ дБ}, \quad (6.6)$$

где m – масса кожуха, кг (Приложение 2, таблица 3);

α – коэффициент звукопоглощения материала (Приложение 2, таблица 2);

f – частота звуковой энергии, Гц.

Четвёртый метод – применение упругих материалов в качестве прокладок с большим внутренним трением, а также демпфирования для поглощения вибраций.

Таким образом, с помощью вышеуказанных методов можно уменьшить шум в помещении.

В данной работе рассматривается уменьшение шума методом звукоизоляции.

В нашей стране наиболее распространены шумомеры типа: ВШВ-003 (Таганрогского завода), шумомеры: точный импульсный шумомер, 00 024, 00 017, 00 023 (Германия) и фирмы Брюль и Кьер (Дания), фирмы CEL (Англия), портативные шумомеры: Октава-10А (г. Санкт-Петербург, а/я 127).

Частотный состав шума измеряют путём подключения к шумомеру 00 024 октавного фильтра 01 016 (фирма «Роботрон», Германия). В шумомере 00 017 встроен октавный фильтр.

В данной работе используется точечный импульсный шумомер 00 024 (фирмы «Роботрон», Германия) и шумомер ВШВ – 003 (Таганрогского завода), специальный стенд с источниками шума. Имеется описание работы шумомера 00 017.

Порядок проведения измерений

а) Подготовка к работе шумомера 00 024

1. Заложить в прибор две 9-вольтовые батарейки типа «Крона», «NH-MNMM» и другого типа.
2. Присоединить измерительный микрофон.
3. Переключатель диапазонов – в положение 20 дБ.
4. Включить шумомер нажатием кнопки 0/1. Контроль за напряжением батарей осуществляется нажатием кнопки +/-.
5. Переключатель (приведения) поставить в положение «А» (для измерения по стандартной частоте 1000 Гц).
6. Переключателем диапазонов, отработывая влево до начала движения стрелки индикатора. Если требуется зафиксировать максимальное значение (при импульсных звуках), следует одновременно нажать кнопку S/F и J (кнопка 0/1 при этом должна быть нажата). Гашение показаний осуществляют нажатием кнопки Loschen (гашение). Если требуется медленное движение стрелки, кнопка S/F и J – отпущены, если требуется быстрое реагирование, кнопка S/F должна быть нажата, а кнопка J – отпущена.

Измеренная величина уровня шума (дБ) равна арифметической сумме показаний переключателя (20–120 дБ) и индикатора (0+10 дБ).

7. Левым (отрицательным) участком шкалы от 0 до 5 дБ следует пользоваться только при измерении шума меньше 30 дБ.

8. Измерительный микрофон шумомера должен быть на минимальном расстоянии 1 м от стен и более крупных отражающих поверхностей, на высоте 1,5 м от пола и направлен в сторону источника шума. Держать прибор необходимо за корпус в горизонтальном положении. Запрещается брать руками за микрофон, а также ставить прибор на торец.

б) Подготовка к работе шумомера ВШВ – 003

1. Подключить прибор к эл/сети: $U = 220 \text{ В}$.
2. Подключить микрофон при помощи принадлежащего к комплектации кабеля с разъёмом к 5-контактному входному гнезду шумомера.
3. Переключателем (род работы) из положения «Откл.» поставить в положение +/- (включение). При этом стрелка индикатора должна указывать во

внутри зелёной полосы индикатора, т. о. мы проверяем наличие эл/питания прибора.

4. Переключатель (фильтр) поставить в положение «А».

5. Для проведения измерений переключатель (род занятий) поставить в положение «S» (медленно).

6. Переключатель диапазонов от (20–80 дБ) отрабатывать влево до начала движения стрелки индикатора и установки на определённое значение по шкале индикатора (0+10 дБ).

7. Измеренная величина уровня шума (дБ) равна арифметической сумме показания по верхней шкале (в дБ) и индикатора (0+10 дБ).

8. Прибор установлен на верхней полке испытательного стенда, и находится в специальной сумке, микрофон уже подключен к гнезду шумомера, эл/вилка с проводом для подключения к эл/сети находится в специальном гнезде сумки.

9. Проведение исследований и обработку данных производить, как указано в разделе 4 (прибор можно использовать как образец шумомера отечественного производства для лабораторных работ по измерению уровня шума).

в) Подготовка к работе шумомера 00 017

Подготовка к работе шумомера изложена в эксплуатационных указаниях.

1. Переключатель Frequenz bewertung (частотное приведение) снабжён положениями LIN (без приведения), A, B, C, и D, OKT FILTER (октавный фильтр) для измерений со встроенным октавным фильтром и EXT FILTR для измерений с внешними фильтрами.
2. Переключатели BEREICH 1, BEREICH 2 (диапазон 1 и 2)
3. Установочный диск «Anzeigereich» (диапазон отсчёта) служит для изменения положения измерительного диапазона в пределах 10 и 180 дБ в зависимости от подключенного типа микрофона. У нас используется микрофон MV201, установочный диапазон отсчёта указывается в окошечке между переключателями диапазонов. Чёрные цифры относятся к шкале дБ.
4. Переключатель «Zeitbewertung» (временное приведение) имеет положение S (Slow = медленно), F (Fast = быстро), I (Impuls = импульс), HALTEN (удержание импульса), SPITZE Halten (удержание пика), +/-Δ контроль напряжения батареи и 0 (выкл.).

5. Переключатель OKTAVFILTER (октавный фильтр) служит для включения срединных частот октав от 31,5 Гц до 63 кГц. В положении 0 октавный фильтр выключен.
6. Клавиша Löschen (гашение). Нажатие клавиши Löschen (гашение) возвращает стрелку в исходное положение.
7. Выключатель BEHEIZUNG (обогрев) служит для включения и выключения микрофона, если установлен на 0 (без обогрева), и на 1 только в случае, когда желателен дополнительный обогрев микрофона, например при влажной атмосфере. Микрофон должен храниться при влажности не более 80% и температуре не более 26 °С.
8. Переключатель «untere Grenzfrequenz» (нижняя граничная частота) имеет положение 2 Гц и 20 Гц. 2 Гц – для измерений напряжений, вибраций и акустических измерений при низких октавных средних частотах. 20 Гц – для большинства акустических измерений.
9. Гнездо служит для подключения микрофонного кабеля.
10. Лампочка готовности. Её мерцание указывает на включенное состояние прибора.
11. Калибровочный регулятор служит для точной установки отсчёта на значение шкалы.
12. а) Батарейный режим: используют для питания 5 моноэлементов R20 или 5НК-аккумуляторов по 1,2 вольт каждый.
б) Сетевой режим: используется сетевой блок ZE 321, который закладывается в батарейную ванну.
13. Подключение микрофона.
Микрофон подключается при помощи принадлежащего к комплектации кабеля к 5-контактному входному гнезду «→» точного импульсного шумомера 00 017.
14. Измерение шумового уровня при частотных приведениях A, B, C, D, LIN.

– Перекл. BEREICH 1 и BEREICH 2 (диапазон) на максимальный поддиапазон (ручка переключателя установлена на Δ (положение)).
Установочный диапазон отсчёта указывает в окошечке между переключателями диапазонов 180 дБ.

– Перкл. «Frequenzbewertung» (частотное приведение) на положение «A»
– Перекл. «Zeitbewertung» (временное приведение) на требуемое измерительным предписанием приведение «Slow» (медленно)
– Перекл. «Untere Grenzfrequenz» (нижняя граничная частота) на 20 Гц.



Лампочка готовности мерцает, что указывает на состояние готовности прибора.



При сохранении последовательности переключ. BEREICH 1 и BEREICH 2 поворачивать направо до получения на индикаторе хорошо отсчитываемого указания.



Отсчитать результат измерения (сумма цифрового значения измерительного поддиапазона – чёрные цифры – и указания на шкале дБ индикатора). Результат измерения следует обозначить о приведениях – временном и частотном.

Пример. При измерении уровня шума, проведённого при временном приведении S и частотном приведении A, переключатель поддиапазонов находится на 80 дБ (80 дБ видны в указательном окошечке). Максимальное указание на индикаторе составляет 6 дБ.

Результат измерения $L = 86$ дБ.

Порядок проведения исследований и обработка полученных данных

1. Используются шумомеры: ВШВ – 003, 00 024, 00 017.
2. Ознакомиться с экспериментальным стендом.
3. Изучить работу шумомера (порядок проведения измерения, как указано в п. 3 для шумомеров ВШВ – 003, 00 024, 00 017).
4. Подключить аппаратуру по схеме.
5. Из камеры стенда удалить звукоизолирующие перегородки, включить источники шума поочерёдно:
 - электрический звонок;
 - мотоциклетный сигнал и замерить общий уровень шума. Результаты замера занести в таблицу 2, допустимый уровень звукового давления на рабочем месте по санитарным нормам СН.2.2.412.1.8.562-96 с актуализацией 2017 г. взять из таблицы 1 на частоте 1000 Гц.

6.1. Стенд для измерения уровней шума. Схема подключения источника шума

Геометрически представляет прямоугольный параллелепипед, выполненный из материала (ДВП). Он разделён на две части:

- помещение с источниками шума (электрический звонок, мотоциклетный сигнал);
- тихое помещение с отверстием под микрофон шумомера;

Эти помещения разделены проёмом для установки звукоизолирующих перегородок.

Схема подключения источника шума:

а) электрический звонок: электрическая сеть $U \approx 220 \text{ В} \rightarrow$ выключатель \rightarrow источник шума.

б) мотоциклетный сигнал: электрическая сеть $U \approx 220 \text{ В} \rightarrow$ выпрямитель \rightarrow источник шума.

6.2. Проведение замеров уровня шума

Включить источник шума, поочерёдно установить в проём камеры заданные звукоизолирующие конструкции, применяемые для исследования в лаборатории.

Ст. лист – $3,3 \text{ кг/м}^2$.

Фанера – $8,8 \text{ кг/м}^2$.

Фанера со звукоизолирующим материалом (войлок) – 10 кг/м^2 .

Поролон – $1,1 \text{ кг/м}^2$.

Полистирол – $0,55 \text{ кг/м}^2$.

Произвести замеры уровня шума.

Результаты занести в таблицу 6.5.1.

6.3. Аналитический расчет снижения уровня шума

1. Произвести аналитический расчет снижения уровня шума (дБ), используя формулу 6.4, взяв вес 1 м^2 заданных конструкций (п. 6.2).

2. Применяя в качестве звукоизолирующего кожуха конструкцию стенда, произвести аналитический расчёт снижения шума по формуле (6.3.1):

$$m = G \cdot S, \quad (6.3.1)$$

где m – масса кожуха;

G – вес 1 м^2 конструкции (Приложение 2, таблица 1).

S – площадь всех граней конструкции, м^2 .

Толщина материала = 17 мм, соответственно вес 1 м^2 фанеры прессованной = 13,6 кг. Соответственно масса кожуха $\approx 23 \text{ кг}$.

f – частота 1000 Гц, α – коэффициент звукопоглощения (Приложение 2, таблица 2). Фанера 8 мм = 0,09. Результат расчёта записать в таблицу 2.

6.4. Определение снижения уровня шума на удаление 1 м от кожуха

Практически определить снижение уровня шума: на удалении 1 м от кожуха и на высоте 1,5 м от пола, предварительно закрыв отверстие под микрофон (без перегородок). Результат измерения уровня шума сравнить с результатом расчёта по формуле (6.3.1) и сделать выводы и предложения.

6.5. Оформление результатов исследования

Отчёт о выполненной работе

Отчёт должен содержать:

1. Цель работы и её содержание.
2. Описание схемы установки и оборудования.
3. Порядок проведения работы.
4. Аналитический расчёт звукоизолирующей способности перегородок.
5. Результаты исследования оформить, как показано в таблице 6.5.1.
6. Выводы и предложения.

Таблица 6.5.1 Протокол замеров

№ замера	Общий уровень без перегородок, дБ	Допустимый уровень по СН	Превышение общего уровня над допустимым, дБ	Общий уровень с перегородками	Снижение уровня шума за счёт перегородок, дБ	Аналитический расчёт снижения уровня шума, дБ

Правила безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Ознакомиться с данными методическими указаниями, с ходом выполнения работы.
2. Проверить исправность и целостность электропроводки для шумомера В Ш В – 003, 00 017, 00 024 и экспериментального стенда.
3. Включить лабораторную установку в сеть, только с разрешения преподавателя и в его присутствии.
4. Приборы лабораторного стенда держать под напряжением только во время эксперимента, а в перерывах и по окончании работы выключать.
5. О всех неисправностях в работе приборов стенда немедленно сообщить преподавателю.
6. При появлении дыма или запаха немедленно отключить установку из сети.

Контрольные вопросы

1. Что такое шум?
2. Чем опасен шум?
3. От чего зависит действие шума?
4. Диапазон частот, который воспринимает человек.
5. Что такое порог слышимости?
6. Единицы измерения шума.
7. Порог болевых ощущений.
8. Единица измерения громкости.
9. Методы борьбы с шумом.

Литература

1. ГОСТ 12.1.050-86. Методы измерения шума на рабочих местах. Москва: Стандартинформ, 2007.
2. Инструкция по обслуживанию. Точный импульсный шумомер 00 024, фирма «Роботрон», ГДР, 1988. 51 с.
3. Инструкция по обслуживанию. Точный импульсный шумомер 00 017, фирма «Роботрон», ГДР, 1988. 76 с.
4. СН.2.2.412.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Москва: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2017.
5. Белов С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (Техносферная безопасность): учебник для вузов. Москва: Юрайт, 2016. 701 с.
6. Гладких С. Н., Гладких Ю. Н. Безопасность жизнедеятельности в условиях производства (Охрана труда): учеб. пособие. Новгородский гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. Великий Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2006. 176 с.
7. Чижевский М. П., Черемных Н. И. Методическое руководство по борьбе с шумом в деревообрабатывающей промышленности. Москва: Минлеспром СССР, 1975. 208 с.
8. Шайдоров А. А. Анализ производственного шума: метод. указания к лабораторной работе. Великий Новгород, 1988. 20 с.

Приложения

Приложение 1

Допустимые уровни звукового давления и уровни звука на постоянных рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий, и на территории жилой застройки (Санитарные нормы СН 2.2.412.1.8.562-96)

Таблица 1. Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест

№ п/п Вид трудовой деятельности, рабочее место	Среднегеометрические частоты, Гц									Уровни звука, (дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1. Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приёма больных 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 в помещениях цехового управленческого аппарата	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60
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, в кабинетах и помещениях наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону, в помещениях мастеров, в залах обработки информации на вычислительных машинах	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Продолжение таблицы 1

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, в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
5. Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных в п.п. 1–4 и аналогичных им) на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
6. Рабочие места водителей и обслуживающего персонала грузовых автомобилей	100	95	87	82	78	75	73	71	69	80
7. Рабочие места водителей и обслуживающего персонала (пассажиров легковых автомобилей и автобусов)	93	87	79	72	68	65	63	61	59	70
8. Рабочие места водителей и обслуживающего персонала тракторов самоходных шасси, прицепных и навесных сельскохозяйственных машин, строительно-дорожных и др. аналогичных машин	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Таблица 2. Допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки

№ п/п, назначение помещений или территорий	Время суток	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука L _A , дБА	Максимальные уровни звука, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1. Палаты больниц и санаториев, операционные больниц	с 7 до 23 час	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
	с 23 до 7 час	64	51	39	31	24	20	17	14	13	25	40
2. Кабинеты врачей поликлиник, амбула- торий, диспансеров, больниц, санаториев		79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
3. Классные помеще- ния, учебные кабинеты, учительские комнаты, аудитории школ и дру- гих учебных заведений, конференц-залы, читальные залы библиотек		79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
4. Жилые комнаты квартир, жилые поме- щения домов отдыха, пансионатов, спальные помещения в детских дошкольных учрежде- ниях и школах- интернатах	с 7 до 23 час	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
	с 23 до 7 час	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45
5. Номера гостиниц и жилые комнаты общежитий	с 7 до 23 час	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
	с 23 до 7 час	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
6. Залы кафе, рестораны, столовые		90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
7. Торговые залы мага- зинов, пассажирские залы аэропортов и вокзалов, приемные пункты предприятий бытового обслуживания		93	79	70	69	59	55	53	54	49	60	75

Продолжение таблицы 2

8. Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больниц и санаториев	с 7 до 23 час	83	67	57	45	44	40	37	35	33	45	60
	с 23 до 7 час	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
9. Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, зданий амбулаторий, диспансеров, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых инвалидов, детских дошкольных учреждений и других учебных заведений, библиотек	с 7 до 23 час	90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
	с 23 до 7 час	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
10. Территории, непосредственно прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий	с 7 до 23 час	93	79	70	63	59	55	53	51	49	60	75
	с 23 до 7 час	86	71	61	54	49	45	42	40	35	50	65
11. Площадки отдыха на территории больниц и санаториев		76	59	48	40	34	30	27	23	25	35	50
12. Площадки отдыха на территории микро-районов и групп жилых домов, домов отдыха, пансионатов, домов интернатов для престарелых и инвалидов, площадки детских учреждений, школ и др. учебных заведений		83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60

Таблица 3. Поправки к октавным уровням звукового давления в зависимости от длительности воздействия шума и его характера

Суммарная длительность воздействия за смену (рабочий день)	Поправки, дБ или дБА, при шуме	
	широкополосном	тональном или импульсном
4 + 8 ч	0	-5
1 + 4 ч	+6	+1
1/4 + 1 ч	+12	+7
5 + 15 мин	+18	+13
5 мин	+24	+19

Примечания

1. Допустимые уровни шума от внешних источников в помещениях устанавливаются при условии обеспечения нормативной вентиляции помещений (для жилых помещений, палат, классов – при открытых форточках, фрамугах, узких створках окон)
2. Эквивалентные и максимальные уровни звука в дБА для шума, создаваемого на территории средствами автомобильного, железнодорожного транспорта в двух метрах от ограждающих конструкций первого эшелона шумозащитных типов жилых зданий, зданий гостиниц, общежитий, обращённых в сторону магистральных улиц общегородского и районного заселения, железных дорог, допускается принимать на 10дБА выше (поправка $\Delta = +10$ дБА), указанных в позициях 9.10 в таблице 2 Приложения 1.
3. Уровни звукового давления в октавных полосах частот в дБ, уровни звука и эквивалентные уровни звука в дБА для шума, создаваемого в помещениях и на территориях, прилегающих к зданиям, системами кондиционирования воздуха, воздушного отопления и вентиляции и др., инженерно-технологическим оборудованием, следует принимать на 5 дБА ниже (поправка $\Delta = -5$ дБА), указанных в таблице 3.
4. Для тонального и импульсного шума следует принимать поправку –5 дБА.
5. Норма шума:
 - При работе вентиляции в учебных кабинетах для студентов – 35 дБА.
 - Для работы с вытяжным шкафом – 75 дБА.
 - В лабораторных кабинетах, где отсутствует вентиляция – 50 дБА.

Таблица 1. Звукоизоляция корпусных конструкций из различных материалов, дБ

Материал	Толщина материала, мм	Вес 1 м ² , кг	Средние частоты октавных полос, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Сталь	1	7,8	12	16	20	24	29	33	36	34
	2,0	15,6	16	20	24	29	33	36	34	34
	3,0	23,4	19	23	27	31	35	37	30	34
Алюминиево-магние- вые сплавы	1,0	2,8	6	10	14	18	22	26	29	27
	2,0	5,6	10	14	18	22	26	29	27	25
	3,0	8,4	12	16	20	24	28	31	22	30
Стеклопластик	3,0	5,1	9	13	17	21	25	29	31	32
	5,0	8,5	12	16	20	24	28	31	31	34
	8,0	13,0	15	19	23	27	30	31	33	37
	10,0	17,0	17	21	25	28	31	31	34	38
Фанера, прессованные плитки ДВП	5,0	4,0	9	13	17	21	25	28	26	26
	10,0	8,0	13	17	21	25	28	25	29	33
	12,0	9,6	18	19	23	26	28	26	30	34

Таблица 2. Коэффициенты звукопоглощения некоторых материалов

№ п/п	Материал	Частота, Гц					
		125	250	500	1000	2000	4000
1	Фанера 8 мм 3 мм	0,28	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11
		0,2	0,28	0,26	0,19	0,12	0,11
2	Войлок 1,25 мм 2,5 мм	0,05	0,08	0,17	0,48	0,52	0,51
		0,15	0,22	0,54	0,08	0,06	0,51
3	Стальной лист	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
4	Стекло	0,05	0,12	0,35	0,81	—	—
5	Стены, покрытые масляной краской	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
6	Штукатурка алебастровая	0,02	0,03	0,04	0,05	0,03	0,02

Таблица 3. Вес некоторых конструктивных материалов

№ п/п	Материал или конструкция	Толщина конструкции, см	Вес одного м ² конструкции, кг
1	Картон в несколько слоёв	2	12
2	Войлок	2,5	8
3	Стенка кирпичная толщиной: – в 1/2 кирпича; – в 1 кирпич; – в 1,5 кирпича	12 25 38	250 470 690
4	Дюралюминий	0,05	1,6
5	Железо листовое	0,2	15,6
6	Оргстекло	0,6	3,75
7	Штукатурка	2	38
8	Засыпка теплоизоляционная из шлака	10 20	100 200
9	Плиты гипсовые	10	70–100
10	Древесно-стружечные пластины	01,5	6
11	Фанера	0,5	3
12	Засыпка из древесных опилок	50	12,5
13	Сосновые брусья	15 18 20	82,5 99
14	Деревянная перегородка	(0,2 · 2,5)	110
15	Оштукатуренная с обеих сторон	(общая толщина 9)	90
16	Засыпка из сухого песка	10	160

Таблица 4. Звуковая мощность установленных групп станков в цехе

Наименование и тип оборудования	Среднегеометрические частоты, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Сверлильные (20 ст.)	94	95	98	103	102	94	91	90
Токарные (30 ст.)	96	97	100	101	97	100	98	93
Фрезерные (25 ст.)	86	89	94	96	105	100	99	98
Прессы (4 шт.)	104	110	114	108		98	97	96

Учебное издание

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Учебно-методическое пособие

Авторы-составители:

Гладких Светлана Николаевна
Виноградова Ольга Николаевна

Редактор *Е. В. Ефимова*

Компьютерная верстка *И. В. Люля*

Подписано в печать 02.12.2022. Бумага офсетная. Формат 60×84 1/16.

Гарнитура Times New Roman. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 9,3. Уч.-изд. л. 10,0. Тираж 500 экз. Заказ № 02122022.

Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого.
173003, Великий Новгород, ул. Б. Санкт-Петербургская, 41.

Отпечатано: ООО «СЛАВЯНСКАЯ», 394016, г. Воронеж,
ул. 45 Стрелковой дивизии, д. 226, кв. 175.